

ALAT DAUR ULANG BOTOL PET MENJADI BAHAN BAKU FILAMEN UNTUK 3D PRINTER

Bambang Supriyanto¹, Deni Andriyansyah^{2*}

¹Program Studi D-III Teknik Elektronika Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

²Program Studi D-III Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

*Email: deni.andriyansyah@sttw.ac.id

ABSTRAK

Botol plastik yang berbahan *Polyethylene Terephthalate (PET)* banyak dipakai sebagai kemasan air mineral. Penggunaan material tersebut berujung banyaknya limbah jenis plastik yang berdampak buruk bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan benar. Botol plastik kemasan tersebut hanya direkomendasikan satu kali pemakaian. Botol plastik yang berbahan PET dapat diolah dan dijadikan material bahan untuk 3D printer. Pengolahan botol plastik ini menggunakan teknologi microcontroller yang dibuat untuk mengatur besaran suhu untuk memanaskan material botol berbahan PET tersebut, juga untuk mengendalikan butaran motor servo yang digunakan untuk mendorong dan menarik bahan di penggulangan. Metode kontrol yang digunakan menggunakan teorema PID yang diatur secara manual *trial and error*, dimana penelitian ini hanya menguji seberapa besar suhu yang dibutuhkan dan kecepatan tarik motor (RPM) sehingga menghasilkan bahan baku untuk 3D printer. Diameter yang diharapkan dari hasil prosesnya sudah ditentukan dengan ukuran diameter *nozzle* yang dipakai yaitu 1,7 mm. Dari hasil uji coba setelah alat dibuat, botol plastik yang telah dipotong seperti pita dengan lebar 1 mm, diperlakukan pemanasan 170°C dengan kecepatan tarik dengan mengatur kecepatan 20,8% dan 40,8% mendapatkan hasil yang terbaik secara visual, halus, bening dan kerekatan cukup baik.

Kata kunci: botol PET; bahan baku untuk 3D Printer; alat daur ulang; suhu; kecepatan.

ABSTRACT

Plastic bottles made from Polycarbonate (PC) are widely used for mineral water packaging. The use of these materials results in a large amount of plastic-type waste, which is bad for the environment if not handled properly. The plastic bottle packaging is only recommended for one-time use. Plastic bottles made from PET can be processed and used as raw material for 3D printers. The processing of these plastic bottles uses microcontroller technology, which is made to adjust the temperature for heating the PET bottle material, as well as to control the rotation of the servo motor used to push and pull the rolling material. The control method used uses the PID theorem, which is regulated manually by trial and error, where this research only tests how much temperature is needed and the motor pull speed (RPM) to produce raw materials for 3D printers. The expected diameter of the process results has been determined with the size of the nozzle diameter used, which is 1.7 mm. From the test results after the tool was made, plastic bottles that had been cut like ribbons with a width of 1 mm, a heating treatment of 170°C with a tensile speed by adjusting the speed of 20.8% and 40.8% got the best results visually, smooth, clear and bonding is pretty good.

Keywords: PET bottles; raw materials for 3D Printers; recycling tools; temperature; speed.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan plastik karena sifatnya yang praktis, tahan terhadap korosi, kuat, serta memiliki sifat insulasi/mengurangi laju perpindahan panas yang baik inilah yang menyebabkan penggunaan plastik sulit untuk dipisahkan dari kehidupan. Metode daur ulang merupakan proses menjadikan suatu bahan bekas menjadi bahan baru dengan tujuan mencegah adanya sampah. Dengan melakukan proses daur ulang ini, diharapkan limbah botol plastik dapat dimanfaatkan menjadi bahan yang dapat digunakan kembali dan dapat membantu mengurangi limbah yang ada [1]. Salah satu pemanfaatan limbah botol plastik berbahan PET yaitu dapat di daur ulang dijadikan bahan baku untuk 3D Printer. Yang mana bahan baku untuk 3D Printer mempunyai harga yang cukup mahal tergantung jenis dan kualitasnya yang dijual di pasaran. Dengan pembuatan bahan baku untuk 3D Printer dari bahan daur ulang limbah botol plastik, maka akan mengurangi limbah botol plastik yang ada, di samping itu juga dapat memenuhi besarnya kebutuhan bahan baku untuk proses cetak 3D Printer.

Sistem kontrol dan otomasi sudah lazim digunakan pada kehidupan sehari-hari baik dari skala rumah tangga hingga untuk memenuhi kebutuhan industri. Sistem otomasi berperan dalam mempermudah cara kerja sebuah sistem. Pemanfaatan sistem otomasi biasanya menggunakan mikrokontroler [2][3], maupun Programmable Logic Control (PLC) [4].

Dalam suatu perencanaan pembuatan alat diperlukan referensi agar ketika proses pembuatan dapat berjalan dengan baik, maka dilakukan sitasi dari beberapa hasil dari penelitian dan yang telah diurnalkan. Penelitian yang dibuat Hanafi [5] dalam jurnal yang berjudul “Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik *Polypropylene* dan *Polyethylene Terephthalate* untuk Menghasilkan Filamen 3D Printing” dalam karya ilmiahnya tersebut menjelaskan tentang desain mesin ekstruder dengan sistem transmisi menggunakan puli dan rantai dimana cara kerja alat ekstruder ini dengan menyalakan *heater* dan mengatur temperatur *melting* pada jenis plastik yang digunakan, kemudian menyalakan motor listrik dan putaran diteruskan menggunakan puli, *gearbox*, *sproket* dan rantai menuju *screw*, sehingga *screw* akan mentransfer material plastik menuju *nozzle*. Variasi temperatur untuk plastik *polyethylene terephthalate* (PET) pada rentangan 210°C, 220°C, 230°C dan 240°C. Temperatur terbaik dari percobaan menggunakan plastik PET kestabilan diameter cukup baik terjadi pada temperatur 210°C, sedangkan pada temperatur 230°C merupakan titik *melting point* terbaik.

Penelitian yang dibuat Alfajri, A., & Muskhir, M [6] dalam jurnal yang berjudul “Sistem Kontrol Temperatur Metode PID *Heatbed* Dan Ekstruder Pada Printer Tiga Dimensi” dalam karya ilmiahnya tersebut menjelaskan mengenai *Hotend*, Input data PID didapat dari Thermistor 100K Ohm yang dihubungkan pada 5 pin analog mikrokontroler melalui sebuah *shield printer* 3 dimensi. Outputnya berupa sinyal PWM dari mikrokontroler ke elemen pemanas melalui sebuah mosfet yang nantinya elemen pemanas ini dipasangkan pada *Hotend*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, sistem kontrol suhu dengan metode PID ini dapat mampu mengontrol suhu secara optimal dengan *Error* 0,5% pada *Hotend*, hal ini lebih baik dari pada metode *On-Off* dengan *Error* 2,5%.

Penelitian yang dibuat Mahfud, R. [7] dalam jurnal yang berjudul “Rancang Bangun Mesin *Filament Extruder* Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Metode Penarik Dan Penggulung Otomatis” dalam karya ilmiahnya tersebut menjelaskan bahwa perbandingan kecepatan (motor DC pada penarik dan penggulung) dan suhu antara filamen PLA dan ABS menjadi faktor yang sangat berpengaruh. Perbedaan suhu dan kecepatan pada proses melelehkan PLA dan ABS dikarenakan karakteristik biji plastik PLA lebih mudah meleleh dibandingkan dengan biji plastik ABS. Pada suhu tertinggi

yang digunakan untuk melelehkan PLA, filamen yang dihasilkan tidak dapat diteruskan pada alat penarik karena hasilnya mencair.

Dari hasil penelitian jurnal yang telah diuraikan di atas, dapat ditarik kesimpulan pengembangan dan perbedaan, bahwa dalam pembuatan laporan praktek keinsinyuran ini mengembangkan penelitian yang memanfaatkan limbah botol plastik PET yang digunakan sebagai bahan baku untuk 3D Printer. Perbedaan dengan penelitian jurnal yang telah diuraikan yaitu menggunakan *Heating Block* atau *Hotend* sebagai media pelelehan, dengan sistem kontrol suhu dan *motor DC Gearbox* sebagai penarik dan pengguling yang dikontrol menggunakan mikrokontroler jenis Arduino Nano.

Penelitian ini melakukan desain pembuatan alat untuk mengolah limbah botol plastik PET berbasis mikrokontroler untuk menjadi bahan 3D printer dan bagaimana cara menentukan kondisi optimal untuk menghasilkan bahan 3D printer, serta mengetahui parameter-parameter dalam pengolahan botol plastik PET menjadi bahan baku untuk 3D printer.

2. METODE

2.1. Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)

PET adalah polimer termoplastik serbaguna yang termasuk dalam kelompok polimer poliester. Resin poliester sendiri dikenal dengan beberapa sifat unggulnya dalam segi mekanis, termal, dan juga resisten terhadap zat kimia. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting* dapat dilihat Gambar 1.

Thermoplastic adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai suhu tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya.

|  IDENTIFIKASI JENIS PLASTIK | | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|---|
| KODE | 1 PETE | 2 HDPE | 3 V | 4 LDPE | 5 PP | 6 PS |
| JENIS POLIMER | PETE atau PET (Polyethylene Terephthalate) | HDPE (High Density Polyethylene) | V atau PVC (Polyvinyl Chloride) | LDPE (Low Density Polyethylene) | PP (Polypropylene) | PS (Polystyrene) |
| PENGUNAAN | Botol plastik, botol minyak sayur, tempat makan awasap | Botol susu / jus yang berwarna putih, kemasan mentega | Botol deterjen / shampoo, pipa saluran | Kantong belanja (tenggol), pembungkusan makanan ringan, botol yang dapat didaurkan | Pembungkusan botol, botol minuman / obat, sedotan | Styrofoam, CD, wadah makanan beku / siap saji |
| REKOMENDASI | Sekali pakai | Sekali pakai | Sulit didaur ulang, berbahaya | Sulit didaur ulang tetapi tetap baik untuk tempat makanan | Pilih terbalik untuk bahan plastik pengemasan makanan dan minuman | Hindari |

Gambar 1. Identifikasi jenis plastik

Plastik jenis PET banyak digunakan sebagai botol air minum ringan dan botol minyak goreng, PET juga biasanya digunakan dalam *laminasi* (pelapisan), 7 terutama untuk bagian luar kemasan sehingga kemasan memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap kikisan dan sobekan. Botol Jenis PET/PETE ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Bila terlalu sering dipakai, apalagi digunakan untuk menyimpan air hangat apalagi panas, akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker), titik lelehnya 85°C, Queljoe, E. D., & Kandou, F. E. F. [8].

2.2. Heating Block

Heating Block adalah bagian dari *Hotend*, yang mana di *Heating Block* merupakan tempat *Nozzle*, *Heater Cartridge*, dan *Thermistor NTC*. *Heating Block* seperti Gambar 2 berfungsi sebagai blok panas yang digunakan untuk media melelehkan dan mengekstrusi bahan lapis demi lapis melalui *Nozzle*. Pada umumnya *Heating Block* terbuat dari aluminium karena memiliki konduktivitas panas yang baik, kepadatan rendah, biaya rendah, biaya pemesinan rendah, namun ada juga yang terbuat dari kuningan, tembaga, dan baja.

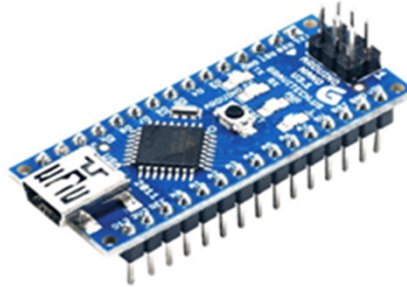


Gambar 2. Heating block

Pemilihan bahan konduktivitas panas dari blok pemanas terutama didasarkan pada panasnya kinerja disipasi, koefisien konduktivitas panas, kekerasan dan parameter lain untuk diputuskan. Umumnya, bahan blok pemanas termasuk aluminium, tembaga dan sebagainya. Bahannya bisa mentransfer lebih banyak panas di bawah gradien suhu yang sama ketika koefisien konduktif panas lebih besar Li, B., dkk [9].

2.3. Arduino Nano

Arduino merupakan sistem mikrokontroler yang relatif mudah dan cepat dalam aplikasi elektronika maupun robotika. *Hardware* maupun *software* Arduino adalah *open source*. Arduino menggunakan chip AVR ATmega168/328 yang memiliki fasilitas PWM, komunikasi serial, ADC, timer, interrupt, SPI, dan I2C, sehingga Arduino bisa digabungkan bersama modul atau alat lain dengan protokol yang berbeda-beda[10]. Walaupun bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C/C++, tetapi dengan penambahan library dan fungsi-fungsi standar membuat pemrograman Arduino lebih mudah dipelajari[11][12][13]. Penjelasan ini dapat dilihat pada Gambar 3.

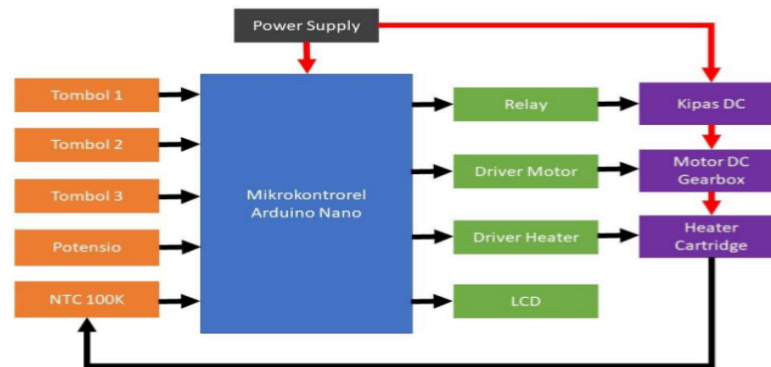


Gambar 3. Arduino Nano

2.4. Diagram Blok

Dalam pembuatan suatu alat diperlukan diagram blok, *flowchart*, desain alat dan *wiring* alat. Untuk menunjang keberhasilan dan mempermudah dalam memahami alur kerja dari alat yang akan dibuat. Dibawah ini yaitu gambaran diagram blok, *flowchart*, desain alat dan *wiring* alat dari Alat Daur Ulang Botol Plastik PET Menjadi Bahan Baku Untuk 3D Printer.

Gambar 4. Menunjukkan cara kerja dari diagram blok, dimana NTC akan membaca suhu pada *Heating Block* atau *Hotend* dan akan mengirimkan nilai data ke Arduino Nano kemudian akan ditampilkan ke LCD, apabila tombol 1 *High* atau ditekan maka Arduino Nano akan mengaktifkan *Driver Heater* melalui pin PWM yang akan mengontrol *Heater Cartridge* yang berada pada *Heating Block* atau *Hotend* sesuai *set point* yang telah ditentukan, dan NTC akan membaca suhu tersebut untuk dikirimkan ke Arduino Nano dalam bentuk nilai data yang akan diolah kembali sebagai kendali PWM yang akan mengendalikan *Driver Heater* untuk mengontrol *Heater Cartridge*.



Gambar 4. Diagram blok

Apabila tombol 2 *High* atau ditekan maka Arduino Nano akan mengaktifkan *Driver Motor* yang akan mengontrol *Motor DC Gearbox* melalui pin PWM, potensiometer tersebut berfungsi sebagai pengendali kecepatan *Motor DC Gearbox*, yang mana Potensiometer akan mengirimkan nilai data ke Arduino Nano lalu diolah sebagai kendali PWM yang akan mengendalikan *Driver Motor* untuk mengontrol *Motor DC Gearbox* secara cepat maupun lambat [14][15]. Apabila tombol 3 *High* atau ditekan maka Arduino Nano akan mengaktifkan *Relay* dan membuat Kipas DC aktif.

2.5. Desain Alat

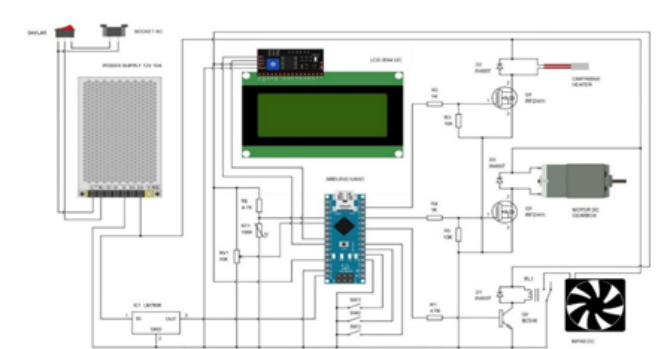
Gambar 5 menunjukkan sebuah desain sistem otomatisasi berbasis mikrokontroler yang dirancang untuk mengontrol pergerakan mekanik dengan menggunakan kombinasi motor, sensor, dan unit kendali. Komponen utama dalam sistem ini meliputi papan dasar berwarna putih yang berfungsi sebagai landasan untuk menjaga stabilitas seluruh perangkat. Di sisi kiri atas terdapat *reel* atau *pulley* yang berfungsi sebagai penggulung tali atau kawat, kemungkinan besar digunakan untuk menarik atau menggerakkan beban. Sebuah batang vertikal dengan komponen kecil di ujungnya menunjukkan adanya sensor posisi atau alat ukur ketinggian. Di dekatnya terdapat tombol darurat berwarna merah dan kuning, yang berfungsi untuk mematikan sistem secara manual saat terjadi kondisi berbahaya. Di bagian tengah sistem terdapat unit kontrol utama berupa kotak hitam yang dilengkapi layar LCD dan beberapa tombol, yang digunakan untuk mengatur, memantau, dan mengoperasikan seluruh sistem secara otomatis. Sementara itu, di sisi kanan terdapat motor penggerak kecil yang terhubung dengan *pulley* atau roda gigi, berfungsi mengendalikan pergerakan mekanik secara presisi. Selain itu, lubang di bagian tengah platform kemungkinan digunakan untuk sensor pengukuran gaya seperti *load cell*. Seluruh komponen ini didukung oleh kaki penyangga yang dapat disesuaikan, menjaga kestabilan sistem meskipun ditempatkan di permukaan yang tidak rata. Desain ini cocok digunakan sebagai modul edukatif atau sistem uji dalam bidang teknik mekatronika dan kendali otomatis.



Gambar 5. Desain daur ulang botol PET

2.6. Wiring Design

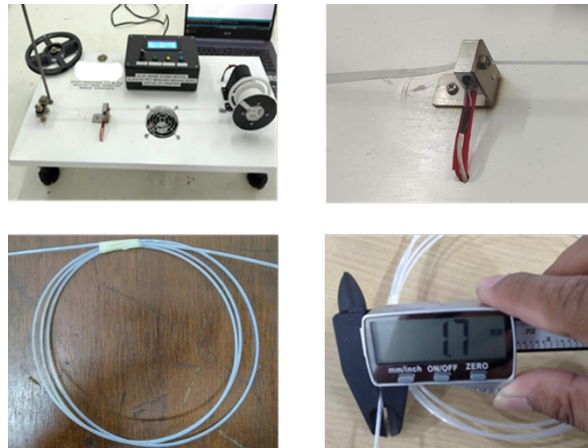
Gambar 6 menunjukkan diagram wiring dari sebuah sistem kontrol berbasis mikrokontroler Arduino Nano. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai komponen pendukung seperti modul LCD 16x2 yang berfungsi untuk menampilkan informasi sistem secara *real-time*, serta modul keypad sebagai antarmuka input pengguna. Terdapat juga driver motor L298N yang mengendalikan motor DC utama, dan kipas pendingin yang dikendalikan secara otomatis untuk menjaga suhu sistem tetap stabil. Power supply eksternal digunakan untuk memberikan tegangan ke motor dan komponen lain, sementara relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang menghubungkan atau memutuskan arus ke beban tertentu. Sensor-sensor yang terhubung, seperti sensor suhu atau sensor lainnya, memberikan masukan ke Arduino untuk pengambilan keputusan otomatis. Diagram ini menggambarkan integrasi antar komponen secara lengkap untuk menciptakan sistem otomatisasi yang terprogram dan efisien.



Gambar 6. Wiring desain alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 menunjukkan tahapan terakhir dalam proses pembuatan bahan baku untuk 3D Printer dari botol plastik jenis PET, yaitu memanaskan hasil potongan botol plastik yang berbentuk pita ke dalam *Heating Block* dan dikeluarkan melalui *Nozzle* yang mana komponen tersebut telah dimodifikasi sebelumnya. Kemudian hasil yang keluar dari *Nozzle* tersebut akan ditarik dan digulung dengan menggunakan komponen penggulung yang terdiri dari *Motor DC Gearbox*, dan pada saat proses pembuatan bahan baku untuk 3D Printer tersebut komponen pendingin berperan untuk mendinginkan hasil yang telah keluar.



Gambar 7. Proses daur ulang botol PET dan hasil bahan filamen 3D printer

Pada kisaran suhu rentang 140°C-150°C, dihasilkan filamen yang halus bening dan tingkat kerekatan material yang kurang baik. Pada kisaran suhu rentang 160°C-170°C, dihasilkan filamen yang cukup halus tetapi cenderung buram dan tingkat kerekatan yang cukup baik. Pada kisaran suhu 180°C, hasil berbeda tidak bisa tetap, kadang cukup halus kadang kasar, dapat dilihat pada Tabel 1.

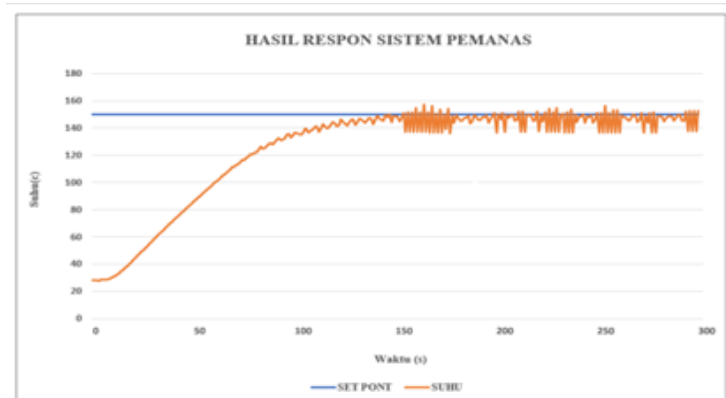
Di setiap rentang suhu, pengaruh kecepatan tarik material mempengaruhi hasil warna filamen yang cenderung buram atau bening. Pada kecepatan tarikan 60.4% dihasilkan warna filamen yang bening. Apakah demikian ini karena pengaruh pemanasan material yang tidak terlalu lama.

Tabel 1. Hasil pengujian pengaruh perbedaan suhu dan kecepatan

| No | Suhu (°C) | Kecepatan (%) | RPM | Hasil Diameter (mm) | Hasil Secara Visual |
|----|-----------|---------------|------|---------------------|---|
| 1 | 140 | 20,8 | 0,99 | 1,7 | Halus, bening, tingkat kerekatan kurang baik |
| 2 | 150 | 20,8 | 1 | 1,7 | Halus, bening, tingkat kerekatan kurang baik |
| 3 | 160 | 20,8 | 1,2 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan cukup baik |
| 4 | 170 | 20,8 | 1,2 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan cukup baik |
| 5 | 180 | 20,8 | 1,5 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan cukup baik |
| 6 | 140 | 40,8 | 2,3 | 1,7 | Cukup kasar, buram, tingkat kerekatan kurang baik |
| 7 | 150 | 40,8 | 2 | 1,7 | Halus, bening, tingkat kerekatan cukup baik |
| 8 | 160 | 40,8 | 2,3 | 1,7 | Halus, bening, tingkat kerekatan cukup baik |
| 9 | 170 | 40,8 | 2,4 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan baik |
| 10 | 180 | 40,8 | 1,9 | 1,7 | Cukup kasar, buram, tingkat kerekatan baik |
| 11 | 140 | 60,4 | - | - | Patah saat dalam proses penarikan dan penggulangan |
| 12 | 150 | 60,4 | 3,7 | 1,7 | Halus, bening, tingkat kerekatan kurang baik |
| 13 | 160 | 60,4 | - | - | Patah saat dalam proses penarikan dan penggulangan |
| 14 | 170 | 60,4 | 3,6 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan cukup baik |
| 15 | 180 | 60,4 | 4,2 | 1,7 | Cukup halus, bening cenderung buram, tingkat kerekatan cukup baik |

Hasil uji atau riset diatas menunjukkan bahwa ketidak stabilan hasil, dikarenakan sistem kontrol pengendali motor DC gearbox yang tidak dikontrol dengan metode yang lebih baik. Pengontrolan menggunakan teknik kontrol PID yang sederhana dan sifatnya trial dan error. Belum digunakan metode auto tuning pada konsep pengontrolan PID nya. Tetapi hasil riset menjelaskan bahwa, alat yang sederhana ini mampu untuk menghasilkan filament 3D printing dari limbah botol PET.

Gambar 8 menunjukkan Respon sistem pemanas yang bertujuan untuk mengetahui respon sistem pemanas pada saat menuju nilai set point yang telah ditentukan yaitu 150°C. Sistem pemanas ini menggunakan kontrol PID sebagai kendali pemanas dengan *tuning controller* Kp, Ki, dan Kd menggunakan metode *trial and error*.



Gambar 8. Grafik hasil respon sistem pemanas

Gambar 9 menunjukkan proses pengujian kecepatan pada motor yang bertujuan untuk mengetahui berapa RPM (*Revolution Per Minute*) pada *Motor DC Gearbox* apakah sudah sesuai dengan spesifikasi atau tidak, yaitu pada nilai tertinggi kecepatan 100% didapatkan RPM sebesar 12 RPM dengan pengukuran menggunakan *Tachometer digital*.



Gambar 9. Hasil pengukuran RPM

4. KESIMPULAN

Pembuatan bahan baku 3D printer dari botol plastik PET dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu pengolahan awal, pemotongan, dan pemanasan. Pada tahap awal, botol plastik dicuci, dipompa, dan dipanaskan. Selanjutnya, botol dipotong menjadi bentuk pita menggunakan alat pemotong, lalu pita tersebut ditarik dan digulung. Tahap akhir adalah pemanasan pita plastik untuk membentuk filamen, yang kemudian juga ditarik dan digulung. Proses ini didukung oleh alat daur ulang yang dirancang khusus, meliputi perancangan desain alat, wiring, dan layout PCB. Beberapa komponen mekanik seperti blok pemanas MK8, nozzle kuningan, bearing, dan baut dimodifikasi sesuai

kebutuhan. Setelah itu, dilakukan perakitan seluruh komponen, termasuk sistem pemanas, pemotong, penggulung, pendingin, serta rangkaian kontrol berbasis Arduino Nano yang diprogram menggunakan Arduino IDE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu optimal berada pada kisaran 160–170°C untuk menghasilkan filamen yang cukup halus dan memiliki daya rekat baik, dengan diameter yang konsisten sebesar 1,7 mm. Dari sisi kecepatan, penarikan dan penggulangan berjalan stabil pada kecepatan 20,8% dan 40,8%, sementara pada kecepatan 60,4% cenderung gagal dan menghasilkan RPM yang tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sofiana, “Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Alternatif Bahan Pelapis (Upholstery) pada Produk Interior,” *Humaniora*, vol. 1, no. 2, p. 331, 2010, doi: 10.21512/humaniora.v1i2.2874.
- [2] P. dkk Ramadhani, “Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Penggunaan Shower Mandi Otomatis Dan Jumlah Penggunaan Debit Air Berbasis Arduino,” *Din. Inform. 2017 Univ. PGRI Yogyakarta*, pp. 89–94, 2020.
- [3] M. A. N. Safani, “Perancangan Sistem Otomasi Dan Sirkulasi Minyak Goreng Pada Mesin Penggoreng Donat Otomatis,” 2017. [Online]. Available: https://repository.its.ac.id/48784/%0Ahttps://repository.its.ac.id/48784/1/2214030029-Non_Degree_Thesis.pdf
- [4] K. S. Putra and U. R. Sari, “Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup,” *Semin. Nas. Sist. Inf. dan Teknol. Inf.* 2018, pp. 1–6, 2018.
- [5] Hanafi, I. Sujana, and R. A. Wicaksono, “Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate Untuk Menghasilkan Filamen 3D Printing,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 20–26, 2022.
- [6] A. Alfajri and M. Muskhir, “Sistem Kontrol Temperatur Metode Pid Heatbed dan Ekstruder pada Printer Tiga Dimensi,” *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 5, no. 2, pp. 94–104, 2022, doi: 10.38035/rj.v5i2.462.
- [7] R. Mahfud, Y. Setyoadi, and A. Burhanudin, “RANCANG BANGUN MESIN FILAMENT EXTRUDER YANG BERBASIS ARDUINO MEGA2560 DENGAN METODE PENARIK DAN PENGULUNG OTOMATIS,” *Sci. Eng. Natl. Semin.*, vol. 5, no. Sens 5, pp. 544–553, 2020, [Online]. Available: <https://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1519/752>
- [8] E. de Queljoe and F. K. F. Ester, “PKM KELOMPOK IBU-IBU RAYON 1 DAN RAYON 2 DESA KOKA KABUPATEN MINAHASA TENTANG EDUKASI PENGURANGAN PENGGUNAAN KANTONG PLASTIK UNTUK MENDUKUNG GERAKAN INDONESIA DIET KANTONG PLASTIK,” *Pros. Semin. Nas. SAINS DAN Terap.* 2019, pp. 71–76, 2019.
- [9] B. Li, J. Liu, H. Gu, J. Jiang, J. Zhang, and J. Yang, “Structural Design of FDM 3D Printer for Low-melting Alloy,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 592, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/592/1/012141.
- [10] C.R Pahlevi, M. Bobby Kusnadi, dan M. Andik Setiawan, “Kontrol 3D printer berbasis Arduino,” *Pros. SNITT (Seminar Nas. Inov. Teknol. Ter.*, vol. 1, no. 01, pp. 1–33, 2021.
- [11] T. Ratnasari and A. Senen, “Perancangan Prototipe Alat Ukur Arus Listrik AC dan DC Berbasis Mikrokontroler Arduino Dengan Sensor Arus ACS-712 30 Ampere,” *J. Sutet*, vol. 7, no. 2, pp. 28–33, 2017.
- [12] M. N. Cholis, “Rancang Bangun Mesin Penetas dan Monitoring Telur Berbasis Arduino dan Telegram,” 2020.
- [13] K. Priambodo, “Desain Sistem Kontrol Suhu Hot Bed Menggunakan Kontroler

- PID Pada Printer 3D Berbasis Arduino Uno,” 2019. [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/176522/%0Ahttp://repository.ub.ac.id/176522/7/KukuhPriambodo.pdf>
- [14] J. Linggarjati, “Optimasi Penentuan Jenis Mosfet Pada Pengendali Elektronika Motor Bldc,” *J. Tek. Komput.*, vol. 20, no. 2, pp. 102–108, 2012.
- [15] I. C. Hernando, R. Alimin, Y. Christian, dan E. W. Susilo, "Perancangan Mesin Pembuat Filamen untuk Mesin Cetak 3D Fused Deposition Modeling Berbahan Dasar Botol Plastik Polyethylene Terephthalate Bekas," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 73–82, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.9744/jtm.21.2.73-82>.