

Optimasi Produksi Filamen 3D dari Sampah Plastik: Studi Eksperimental Suhu Heater

Amanda Putri Aulia¹, Zulkhairi², Ahmad Syaifudin³, Irwan Novianto⁴

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Informasi,
Universitas Nahdlatul Ulama, Yogyakarta

¹amandaputriaulia17@gmail.com, ²zulkhairi.jr@unu-jogja.ac.id,
³ahmadsyaifudin1999@gmail.com, ⁴irwannovianto@unu-jogja.ac.id

Abstrak

Pengelolaan sampah merupakan hal penting di Indonesia, dengan 18,3 juta ton, sekitar 70% sampah merupakan sampah organik dan 28% sisanya merupakan sampah non-organik. Pengolahan sampah organik dapat menghasilkan pupuk organik cair untuk keperluan pertanian, sedangkan sampah non-organik sulit diolah sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan dan dampak negatif bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi untuk mendaur ulang sampah non-organik salah satunya botol plastik jenis PET dan HDPE. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah botol jenis PET dan HDPE menjadi filamen untuk pencetakan 3D printing dengan menggunakan pengaturan suhu heater pada *extruder*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mendapatkan keluaran *extruder* dengan permukaan halus berdiameter 1,75 mm memerlukan suhu 66,6°C untuk jenis PET sedangkan untuk plastik jenis HDPE suhu yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan filamen yang bulat 1,75 mm adalah berkisar 62,8-64,7°C. Penelitian ini merupakan Langkah awal inovasi teknologi daur ulang untuk meminimalisir limbah botol plastik serta menghasilkan produk layak guna, seperti filamen untuk 3D printing.

Kata kunci: Sampah, PET, HDPE, 3D Printing

Abstract

Waste management is important in Indonesia, with 18.3 million tons, about 70% of waste is organic waste and the remaining 28% is non-organic waste. Processing organic waste can produce liquid organic fertilizer for agricultural purposes, while non-organic waste is difficult to process, causing environmental damage and negative impacts on human health. Therefore, technological innovation is needed to recycle non-organic waste, one of which is plastic bottles of PET and HDPE types. This research aims to process PET and HDPE bottles into filaments for 3D printing by using heater temperature settings on the extruder. The results showed that to get an extruder output with a smooth surface with a diameter of 1.75 mm requires a temperature of 66.6 ° C for PET type and a temperature of 62.8-64.7 ° C for HDPE type. This research is the first step of recycling technology innovation to minimize plastic bottle waste and produce usable products, such as filamen for 3D printing.

Keywords: Trash, PET, HDPE, 3D Printing

1. Pendahuluan

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Data Timbunan sampah tercatat mencapai 18,3 juta ton per tahun [1]. Data tersebut menjadi acuan bahwa kurangnya pengolahan sampah, pembuangan sampah akhir dan tingginya biaya untuk pengelolaan sampah hal ini disebabkan juga oleh pertumbuhan jumlah penduduk sehingga berakibat tingginya jumlah sampah yang dihasilkan [2].

Sampah yang dihasilkan terbagi menjadi sampah organik dan non-organik. Sampah organik yaitu sampah yang mudah terurai secara alami seperti kotoran hewan, kotoran manusia [3], daun-daunan, ranting pohon, dan makanan, sedangkan sampah non-organik sulit untuk terurai dan butuh waktu bertahun-tahun [4] bahkan butuh 400-450 tahun untuk terurai alami [5]. Sampah organik mencapai 70% dan 28% adalah sampah non-organik [6]. Pengolahan sampah organik dapat menjadi pupuk organik cair [7] untuk pertanian dan dapat dijadikan pakan ternak yang memiliki kandungan protein tinggi [8] sedangkan sampah non-organik memiliki kesulitan dalam pengolahannya sehingga upaya yang dilakukan dengan cara dipendam kedalam tanah atau dibakar. Hal tersebut berdampak pada kerusakan lingkungan, kesehatan manusia [9][10], serta menimbulkan banyak asap yang mengandung *hydrogen sianida* (HCN) dan *karbon monoksida* (CO) yang menyebabkan meningkatnya emisi gas rumah kaca dan pemanasan global pada atmosfer bumi [11].

Plastik memiliki fleksibilitas dan daya tahan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, isolasi terhadap listrik, dan memiliki kekuatan mekanik yang bervariasi [12]. Plastik yang beredar dan sering dijumpai memiliki beberapa jenis yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *Polystyrene* (PS) [13]. Plastik yang sering digunakan adalah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET), karena memiliki sifat transparan dengan kekakuan tinggi dan termoplastik semi kristal, daya tahan mekanik tinggi, serta ketahanan terhadap bahan kimia yang baik [14] sehingga banyak botol minuman ringan dan botol air, bahan souvenir, mainan, furniture, serat sintetis, kaset video dan audio, film fotografi, dan kemasan makanan yang dibuat menggunakan bahan PET [15]. Penggunaan bahan PET didunia sangat penting karena penggunaan plastik yang tidak ada habisnya dan dapat didaur ulang [16].

Teknologi 3D *printing*, atau juga dikenal sebagai teknologi manufaktur aditif, merupakan suatu kemajuan teknologi yang populer karena kemampuannya dalam kustomisasi massal, produksi berbagai desain *open source* di sektor pertanian, perawatan kesehatan, industri otomotif, industri lokomotif, dan industri penerbangan [17]. 3D printing bekerja dengan heater pada nozzle *extruder* sehingga filamen meleleh untuk memudahkan membentuk suatu produk atau objek [18].

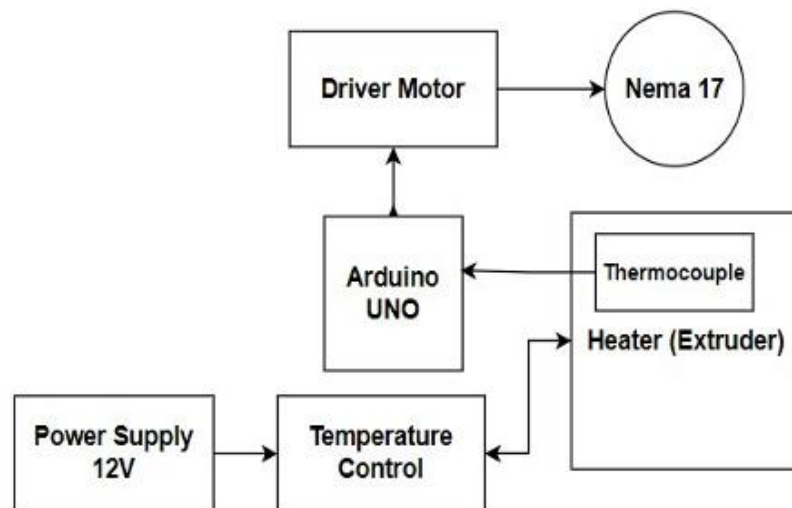
Penggunaan *extruder* untuk pengolahan sampah plastik memerlukan penyesuaian suhu *extruder* dengan jenis botol. Penyesuaian ini dilakukan untuk mencegah kerusakan pada saat proses ekstrusi. Oleh karena itu, penggunaan sensor NTC diperlukan untuk mengoptimalkan proses ekstrusi [19]. Penelitian ini akan mendaur ulang plastik sebagai bahan pembuatan filamen 3D printing, hal ini menjadi salah satu solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan dan menaikkan nilai sampah plastik di bidang ekonomi [20].

2. Metode Penelitian

Metode eksperimental merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini, dengan kendali kesesuaian suhu heater dalam mendapatkan hasil filamen yang baik [21][22], sehingga mendapatkan ukuran diameter dan kekuatan filamen sesuai dengan *nozzle* pada mesin 3D *printing*. Alur kerja sistem eksperimental penelitian ini dilakukan seperti pada Gambar 1.

2.1. Diagram Blok Sistem

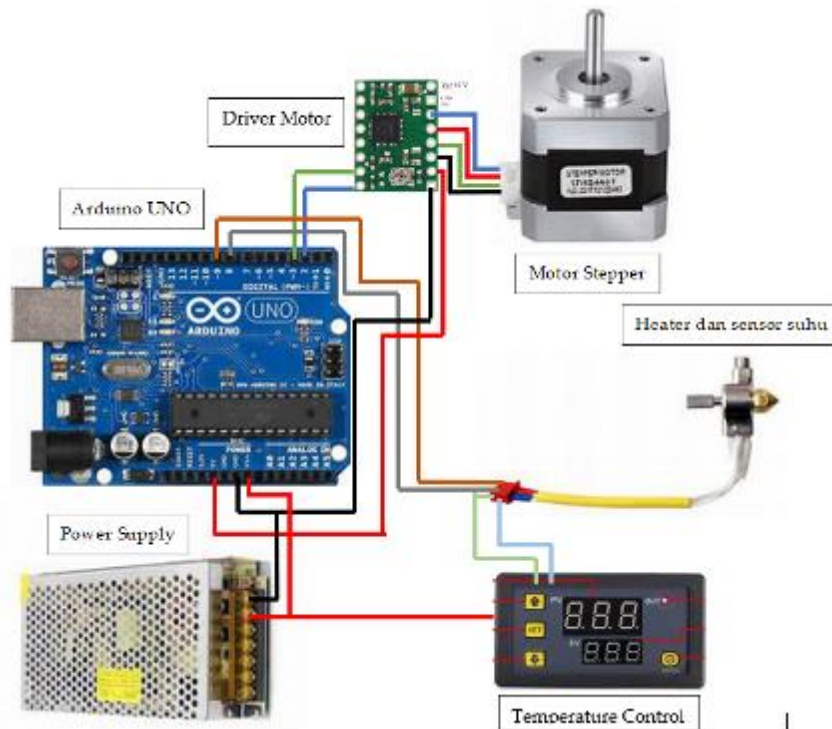
Pada blok diagram Gambar 1 menjelaskan bahwa pada alat ini Arduino digunakan sebagai pengontrol utama untuk mengontrol proses pencetakan filamen 3D. Arduino menggunakan algoritma PID untuk mengatur suhu selama ekstrusi filamen. Dalam hal ini, fungsi utama Arduino adalah memberikan kontrol suhu yang tepat, memastikan bahwa suhu memenuhi titik *set point* serta nilai proporsional, integral, dan derivatif yang diinginkan selama proses berlangsung. Pemanas digunakan untuk memberikan suhu yang diperlukan untuk proses ekstrusi filamen. Pemanas bertanggung jawab untuk memanaskan dan melelehkan bahan filamen menjadi bentuk yang sesuai untuk pencetakan 3D. Suhu pemanasan diatur dan dikendalikan oleh *temperature control* untuk mencapai kondisi optimal tergantung jenis plastik yang digunakan. *Thermocouple* digunakan sebagai sensor suhu untuk mengukur suhu sebenarnya selama proses ekstrusi. *Thermocouple* menghasilkan sinyal berupa data numerik yang mencakup informasi dari parameter suhu yang berasal dari pemanas (*heater*), Arduino menggunakan data dari sensor tersebut untuk diberikan umpan balik dan melakukan penyesuaian suhu sesuai kebutuhan. Penggunaan *thermocouple* membantu memastikan bahwa suhu yang diukur sesuai dengan suhu yang diperlukan selama proses pencetakan filamen 3D.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

2.2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem alat *extruder* yang dibuat merupakan sistem yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terhubung dan terintegrasi. Sistem ini dirancang untuk membuat proses ekstrusi filamen 3D lebih mudah dan efisien, kontrol suhu heater dan pemantauan suhu *heater* secara *realtime*. Diagram sistem alat *extruder* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Sistem Alat Extruder

Sistem yang dirancang pada diagram Gambar 2 terdapat 3 bagian yaitu input, proses dan output. Input dari sistem ini adalah sensor suhu NTC yang mengirim sinyal suhu heater ke modul *temperature control*, yang kedua adalah mengatur *set point* suhu heater menggunakan *temperature control*. Bagian proses terdiri dari Arduino uno yang berfungsi sebagai kendali kecepatan putaran motor *stepper* dari sistem alat *extruder*. Pada bagian *output* yang terdiri dari *heater* motor driver beserta motor *stepper* sebagai penarik dan penggulung pita botol plastik sebagai filamen 3D printing.

2.3. Pengujian Sistem

Pada tahap pengujian sistem alat yang dirancang telah selesai dibuat dan selanjutnya akan dilakukan uji coba untuk mengetahui fungsi dan program yang sudah dibuat. Uji coba pertama yaitu pengujian modul *input* sensor suhu NTC dan pengaturan suhu untuk panas *heater* dengan pengaturan *set point*. Kemudian motor driver akan mengirim sinyal kepada motor *stepper* untuk proses penggulangan filamen.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan mengamati hasil proses ekstrusi botol plastik HDPE dan PET. Proses pembuatan filamen ini memakan waktu sekitar 10 menit hingga 20 menit, dengan menggunakan botol plastik berkapasitas masing-masing 1 liter. Dari pengujian tersebut diperoleh hasil yang meliputi parameter suhu, respon plastik yang dihasilkan dalam bentuk diameter filamen, jenis plastik yang diuji, dan informasi tertulis yang diperoleh dengan mengamati proses pembuatan filamen.

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui hasil keluaran dari *nozzle extruder* menggunakan bahan botol berjenis HDPE dan PET sebagai bahan 3D *printing* dengan

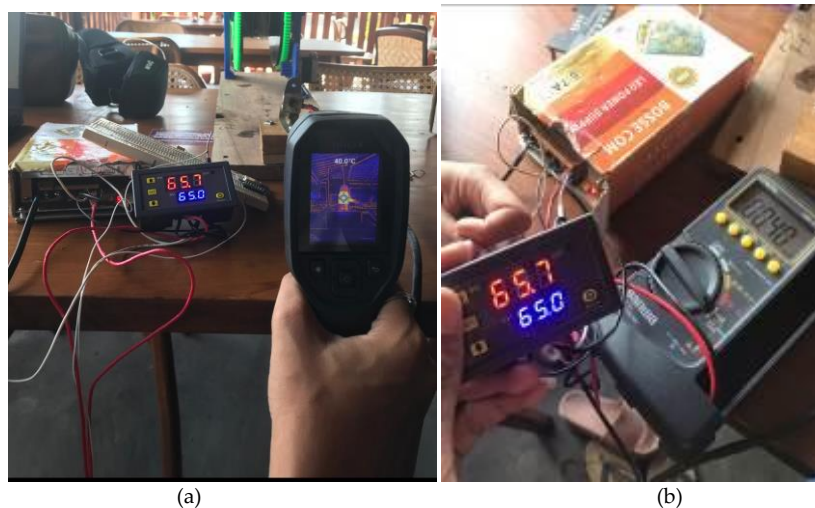
mengatur nilai *set point heater* dan kontrol PID arduino yang digunakan dalam pengujian ini adalah tetap yaitu $K_p = 20$; $K_d = 0,7$; dan $K_i = 80$.

3.1. HDPE Suhu Set Point 65,0°C

Pada pengujian ini, nilai *set point heater* dikontrol dengan nilai 65,0 °C dengan jenis botol plastik HDPE yang telah dipotong dengan lebar 1 cm.

Pada Gambar 3 (a), terlihat *thermalgun* membaca suhu 40,0°C pada nilai *set point temperature control* 65,0°C dengan proses ekstrusi yaitu 65,7°C, dan arus dipengujian suhu tersebut menggunakan multimeter pada Gambar 3 (b) yaitu terbaca 0,040 mA. Hasil filamen yang didapatkan dari berbentuk bulat sempurna dan tidak bening atau tidak transparan seperti terlihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 hasil filamen pada jenis botol HDPE dengan suhu *extruder* 65°C, didapatkan bentuk filamen yang bulat sempurna dan tidak transparan.



Gambar 3 (a) Hasil Pengukuran Suhu Thermalgun; (b) Arus Listrik Extruder untuk Hasil filamen bulat sempurna namun tidak bening/transparan pada botol HDPE



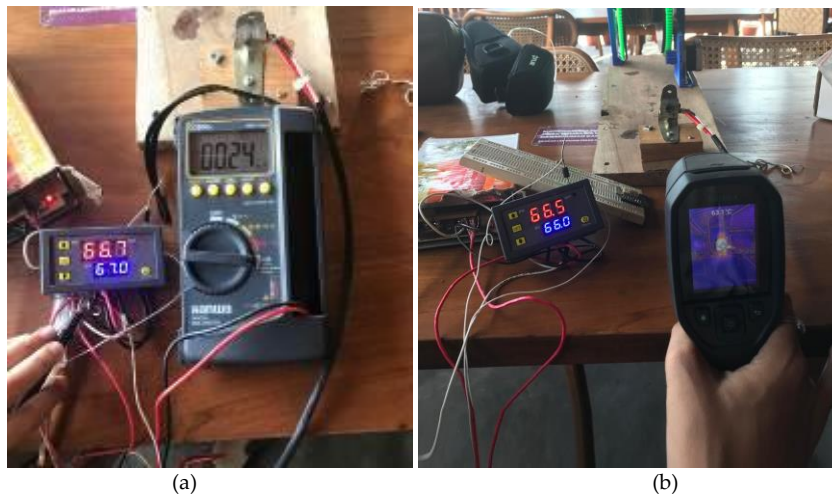
Gambar 4. Hasil botol HDPE Kontrol Set Point Suhu 65°C

3.2. HDPE Suhu Set Point 67°C

Pada pengujian ini nilai *set point heater* dikontrol pada suhu 67°C dengan menggunakan botol HDPE yang dipotong selebar 1 cm.

Pada Gambar 5 (a), terlihat pengujian arus listrik dengan menggunakan multimeter dengan nilai 0,024 mA, dan Gambar 5 (b) didapatkan nilai suhu sebesar 63,1°C pada *thermalgun* dengan nilai *set point* yang digunakan pada *temperature control* sebesar 66,5°C. Hasil filamen yang didapatkan bergelembung dan permukaan yang tidak rata, dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar 7 merupakan hasil *extruder* yang dilakukan menggunakan botol jenis HDPE.

Hasil filamen pada botol plastik HDPE dengan suhu 67°C yaitu filamen tidak bulat, bergelembung kasar dan terputus di tengah-tengah proses *extruder* seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5 (a) Arus Listrik Extruder untuk Hasil Filamen yang Begelembung dan tidak rata pada Botol HDPE; (b) Hasil Pengukuran Suhu Thermalgun



Gambar 6. Hasil botol HDPE Kontrol Set Point Suhu 67°C

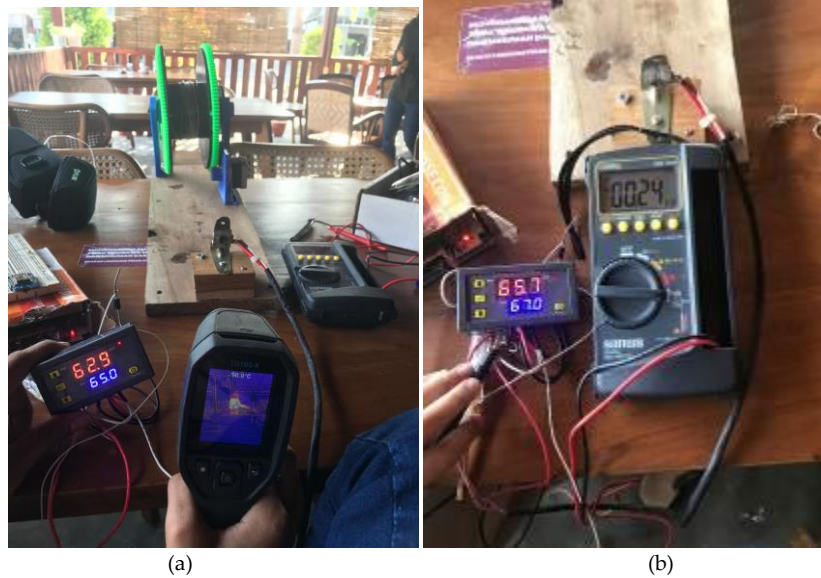
3.3. PET Suhu Set Point 65°C

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan botol jenis PET dengan nilai *set point heater* 65°C yang telah dipotong dengan lebar 1 cm.

Gambar 7(a) menunjukkan nilai hasil pengukuran suhu menggunakan *thermalgun* yaitu 90°C dengan *set point temperature control* adalah 65°C dan suhu saat ekstrusi sebesar

62,9^oC hingga 65,7^oC. Gambar 6 (b) terlihat nilai arus listrik pada saat ekstrusi adalah 0,024mA. Sehingga didapatkan hasil filamen seperti yang terdapat pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 merupakan hasil pengujian pada plastik PET dengan suhu *heater* 65^oC didapatkan permukaan filamen bergelembung dan tidak tidak transparan.



Gambar 7 (a) Hasil Pengukuran Suhu Thermalgun; (b) Pengukuran Arus



Gambar 8 Hasil botol PET Kontrol Set Point Suhu 65^oC

3.4. PET Suhu Set Point 67^oC

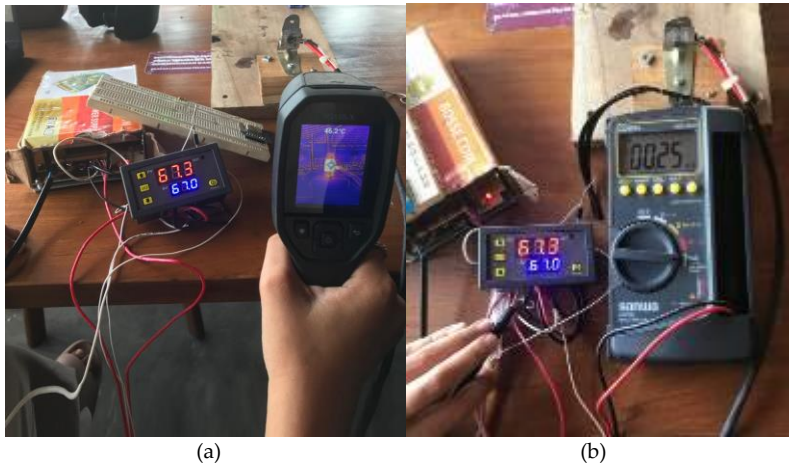
Pada pengujian ini nilai *set point heater* yang digunakan adalah 67^oC dengan menggunakan botol plastik jenis PET yang telah dipotong dengan ukuran lebar 1 cm.

Gambar 9(a) merupakan nilai hasil yang didapatkan pada panas heater *extruder* menggunakan *thermalgun* 46,2^oC untuk hasil filamen yang rusak dengan pengaturan *setpoint* pada *temperature control* sebesar 67,0^oC, sehingga suhu saat ekstrusi sebesar 67,3^oC. Sedangkan untuk Gambar 9(b) merupakan hasil pengukuran arus listrik pada

extruder yaitu 0,025mA. Hasil yang didapatkan dari proses *extruder* ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Pada Gambar 10 didapatkan hasil filamen jenis plastik PET dengan suhu 67°C yaitu tidak bulat dan mengalami patah karena kepanasan.

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat pengukuran lain yaitu *thermogun* dan multimeter untuk mengetahui perbedaan nilai antara pengukuran dan kontrol suhu.



Gambar 9 (a) Hasil Pengukuran Suhu dengan Thermogun ; (b) Arus listrik dengan botol PET.



Gambar 10 Hasil botol PET Kontrol Set Point Suhu 67°C

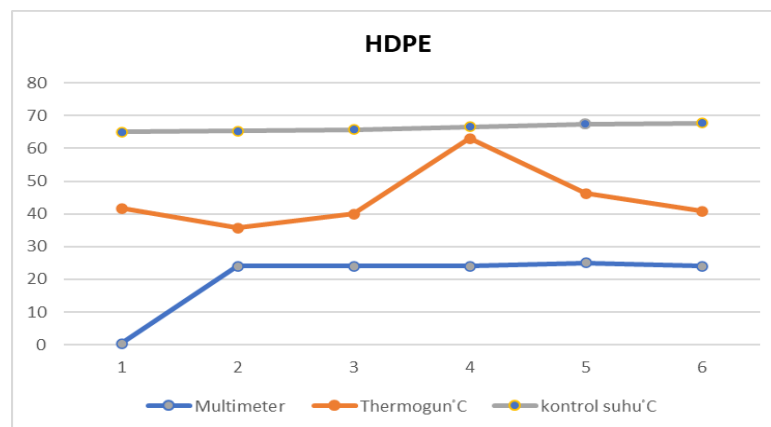
Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan grafik hasil arus keluaran *extruder* dan hasil pengukuran menggunakan alat ukur *thermalgun* dan multimeter dari botol jenis HDPE dan PET.

Pengujian pada jenis botol plastik HDPE dan botol plastik PET dilakukan dengan nilai kontrol *heater* yang berbeda-beda namun dari pengukuran tersebut menunjukkan adanya perbedaan suhu yang diukur menggunakan *thermalgun* dan *temperature control* serta nilai arus keluaran yang digunakan *extruder* pada *heater* juga mengalami perubahan. Perbedaan hasil ini disebabkan oleh perubahan suhu di sekitar *extruder* yang

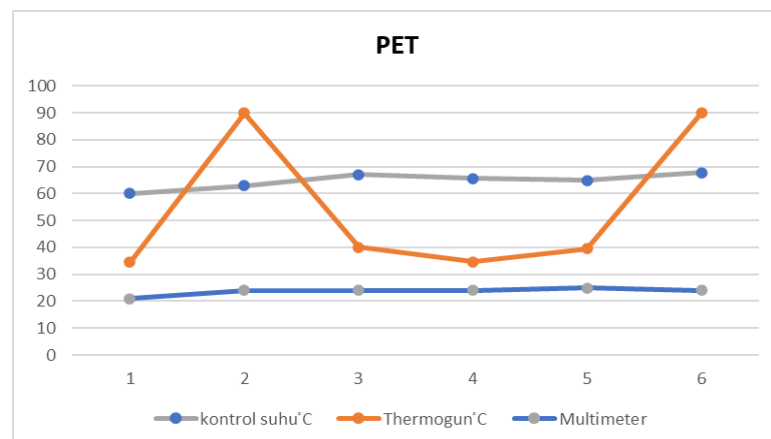
memengaruhi kondisi *heater* dan menyebabkan fluktuasi[23] arus yang digunakan untuk menjaga suhu yang sesuai untuk botol jenis HDPE dan PET.

Dari data yang didapatkan selisih atau perbedaan sebesar 21,6°C untuk botol jenis HDPE dan 10°C untuk botol jenis PET. Meskipun terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara pengukuran menggunakan *thermognun* dan *temperature control*, arus keluaran yang digunakan selama proses *extruder* botol plastik HDPE dan PET menunjukkan kestabilan dan cenderung seragam namun selisih tersebut dapat menyebabkan hasil filamen yang didapatkan rusak karena suhu yang dihasilkan oleh heater pada blok pemanas dan *nozzle* seringkali mengalami keterlambatan penurunan suhu sehingga hasil yang didapatkan tidak sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstrusi untuk kedua jenis botol tersebut tetap sangat konsisten meskipun terjadi fluktuasi suhu di sekitar *ekstruder*. Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan hasil filamen jenis botol plastik HDPE dan botol plastik PET dari pengujian nilai suhu *temperature control* dengan *set point* suhu berbeda-beda.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa didapatkan hasil yang bisa digunakan sebagai filamen 3D *printing* dengan jenis botol plastik HDPE adalah suhu *heater* pada *extruder* sebesar 66,6°C dengan ukuran yang dihasilkan adalah bulat sempurna seluruhnya yaitu berdiameter 1,75 mm. Pada Gambar 7 terdapat hasil *extruder* dari botol HDPE.



Gambar 11. Grafik Pengujian Extruder menggunakan Thermognun dan Multimeter untuk Botol HDPE



Gambar 12. Grafik Pengukuran Suhu dan Arus Keluaran untuk Jenis Botol PET

Tabel 1. Hasil Keluaran Filamen Dengan Botol HDPE

Jenis Plastik	Suhu (°C)	Keterangan
HDPE	65	Bergelombang, bulat yang tidak rata, terdapat bagian tekstur yang kasar.
	65,4	Filamen yang diperoleh menunjukkan permukaan yang kasar
	65,7	Hasil filamen yang diperoleh h tidak bening atau transparan
	66,6	Hasil filamen yang diperoleh bagus, transparan dan bulat sempurna seluruhnya.
	67,7	Hasil filamen yang diperoleh mengalami tingkat leleh yang berlebihan sehingga filamen yang diperoleh bergelembung dan tidak transparan

Tabel 2. Hasil Keluaran Filamen dengan Botol PET

Jenis Plastik	Suhu (°C)	Keterangan
PET	60	Filamen yang diperoleh memiliki permukaan yang kasar karena suhu heater tidak mencapai set point suhu yang pas untuk melelehkan plastik
	62,8 – 65,7	Filamen yang diperoleh memiliki diameter 1,75 dan transparan
	67 – 69,8	Hasil filamen yang didiperoleh kasar dan bergelembung dan tidak transparan karena suhu heater melebihi titik leleh plastik
	65,7	Filamen yan diperoleh bergelembung dan tidak transparan
	64,9	Filamen yang didapatkan berbusa karena suhu heater melebihi titik leleh
	67,7	Hasil filamen yang diperoleh mengalami tingkat leleh yang berlebihan sehingga filamen yang diperoleh bergelembung dan tidak transparan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji ekstrusi filamen pencetakan 3D pada botol plastik HDPE dan PET yang dikontrol PID pada suhu pemanas sebesar 66,5°C. Pada botol HDPE, suhu ekstrusi sekitar 66,6°C terbukti menjadi pilihan terbaik, menghasilkan filamen yang tidak hanya berkualitas baik tetapi juga transparan, dengan diameter 1,75 mm. Sebaliknya, suhu ekstrusi HDPE di atas 67°C menghasilkan filamen yang menggelembung dan kehilangan sifat transparansinya. Pada botol PET, suhu ekstrusi pada kisaran 62,8-64,7°C memberikan hasil optimal untuk filamen transparan dengan diameter 1,75 mm. Namun, suhu ekstrusi di atas 67°C dapat berdampak negatif pada PET, menghasilkan filamen yang kasar, melepuh, dan tidak transparan.

Selain itu pada proses percobaan *extruder* hasil yang didapat menunjukkan perbedaan hasil arus keluaran *extruder* dengan multimeter dan hasil pengukuran menggunakan alat ukur *Thermalgun*. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perubahan suhu disekitar *extruder* sehingga mempengaruhi kondisi *heater* dan menyebabkan terjadinya fluktuasi arus yang digunakan untuk menjaga suhu agar sesuai untuk botol jenis HDPE dan PET. Dari data tersebut didapatkan selisih sebesar 21,6°C untuk botol jenis HDPE dan 10°C untuk botol jenis PET.

Dalam penelitian ini terdapat kendala dalam proses pembuatan filamen dari botol PET dan HDPE. Kendala pertama adalah suhu pemanas pada *heater* yang berubah-ubah karena tegangan dan arus yang tidak stabil sehingga memengaruhi hasil keluaran dari *extruder* tidak sempurna serta kesulitan saat proses penarikan. Kendala kedua adalah ukuran lebar dari potongan botol yang tidak simetris sehingga membuat diameter keluaran *extruder* tidak sama karena posisi sudut pisau yang kurang tepat dalam memotong dan kecepatan motor dalam menarik botol. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan *power supply* yang keluarannya stabil, dan menetapkan sudut yang tepat untuk memotong botol plastik yang sama.

Daftar Pustaka

- [1] (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia), "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional KemenLHK," Data Pengelolaan Sampah & RTH. Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] A. M. H. Putr, "Parah! Ini Dia 5 Jenis Komposisi Sampah di Indonesia," *CNBC Indonesia*, Mar. 14, 2023.
- [3] A. Taufiq and M. F. Maulana, "Sosialisasi Sampah Organik Dan Non Organik Serta Pelatihan Kreasi Sampah," *Inov. dan Kewirausahaan*, vol. 4, no. 1, pp. 68–73, 2015.
- [4] S. E. Farin, "Penumpukan Sampah Plastik Yang Sulit Terurai Berpengaruh Pada Lingkungan Hidup Yang Akan Datang," Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin, 2021.
- [5] R. Nurrohmanysah, A. Indriyani, E. Ekaliana, and M. Telaumbanua, "Alat Pembuat Pupuk Cair Otomatis dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Berbasis Mikrokontroler," *Agroteknika*, vol. 2, no. 2, pp. 51–58, Dec. 2019, doi: 10.32530/agroteknika.v2i2.43.
- [6] R. P. Mahyudin, "Study Of Waste Problems And Landfill Enviromental Impact," *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, vol 3, no. 1: pp. 66-74, 2017.
- [7] A. N. Cahyawati *et al.*, "Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Pupuk Organik Cair Dengan Pendekatan Effective Microorganisms Yang Berbasis Sustainable Manufacturing," *TEKAD Tek. Mengabdikan*, vol. 1, no. 1, pp. 23–30, Nov. 2022, doi: 10.21776/ub.tekad.2022.01.1.4.
- [8] N. D. Wulandari, Z. Ruschitasari, L. Kurniasari, and M. K. Ula, "Pengolahan Sampah Organic Guna Memberikan Nilai Tambah Melalui Budi Daya Maggot," *E-Amal J. Pengabdian. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 3, pp. 1473–1480, 2022, doi: 10.47492/eamal.v2i3.1988.
- [9] N. Karuniastuti, "Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan," *Swara Petra*, vol.3, no.1, 2013.
- [10] M. Z. Hakim, "Pengelolaan dan Pengendalian Sampah Plastik Berwawasan Lingkungan," *Amanna Gappa*, vol. 27, no. 2, 2019, [Online]. Available: <https://internasional.kompas.com/read/2018/11/21/18465601/sampah-plastik-dunia-dalam-angka>,
- [11] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan," *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 141-147, 2016. doi: 10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421
- [12] Welly Deglas, "Pengaruh Jenis Plastik Terhadap," *Agrofood*, vol. 5, 2023.
- [13] F. E. Hartono and N. Rachmat, "Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi," *J. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 9, no. 2, p. 376400, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [14] L. Wahyu Utomo and Susi Arfiana, "Pemanfaatan Limbah Plastik Daur Ulang dari Polietilen Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambahan dalam Pembuatan Nanokomposit, Semen Mortar, dan Aspal," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 11, no. 1, pp. 164–179, 2023.
- [15] A. K. Singh, R. Bedi, and B. S. Kaith, "Mechanical properties of composite materials based on waste plastic - a review," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, pp. 1293–1301, 2019. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.258.

- [16]R. Told *et al.*, "A state-of-the-art guide to the sterilization of thermoplastic polymers and resin materials used in the additive manufacturing of medical devices," *Mater. Des.*, vol. 223, p. 111119, 2022, doi: 10.1016/j.matdes.2022.111119.
- [17]N. Shahrudin, T. C. Lee, and R. Ramlan, "An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., pp. 1286–1296, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- [18]D. Sulayman, B.W. Febriantoko, B. Sugito, "Pengaruh Suhu Dari Heater Nozzel Terhadap Produk Printer 3D," *J. Publ. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–18, 2015.
- [19]A. I. Novianto, L. Kurniasari, A. O. Pristisahida, B. K. Prasaja, "Implementasi Filter Kalman Untuk Optimasi Pengukuran Sensor Suhu Ntc Pada Kompur Listrik Malam Berbasis Fuzzy," *Darma Agung*, p. 32, 2022.
- [20]K. Mikula *et al.*, "3D printing filament as a second life of waste plastics-a review", *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 12321-12333, 2021, doi: 10.1007/s11356-020-10657-8/Published
- [21]M. E. Ramadhan, M. Darsin, S. I. Akbar, and D. Yudistiro, "Akurasi dimensi produk filamen 3d printing berbahan polipropilen menggunakan mesin ekstrusi," *J. Teknosains*, vol. 11, no. 2, p. 162, May 2022, doi: 10.22146/teknosains.63878.
- [22]T. Haqira, "Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3d Printer," tugas akhir, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2019.
- [23]A. Kurniawan, T. Andriani, I. Darmawan, and D. Maulidyawati, "Aplikasi Sensor Sht11 Dan Soft Start Pada Alat Pengereng Ikan Bage Otomatis," *J. Altron: Jurnal Elektronika, Energi dan Sistem Tenaga*, vol. 1, no. 1, pp. 18–24, 2022, [Online]. Available: <http://www.jurnal.uts.ac.id/index.php/Altron/article/view/1707>