

Pet Filament Machine

Riduwan Bin Zakaria^{1*}, Nur Hafizah Bt Mohd Nayan², Syaiful Nizam Bin Ab Rahim^{3*}

^{1,2,3}Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah (POLIMAS),
06000, Jitra, Kedah, Malaysia

*Main Corresponding author: ¹riduwan@polimas.edu.my

*^{3rd} Corresponding author: ³syaifuln@polimas.edu.my

Abstrak :

Kajian ini memberi tumpuan kepada pembangunan Mesin Filamen PET, iaitu sebuah peranti yang direka bagi menghasilkan filamen pencetakan 3D menggunakan botol polyethylene terephthalate (PET) terpakai sebagai bahan mentah utama. Inisiatif ini selari dengan usaha meningkatkan kelestarian melalui pengurangan sisa plastik, khususnya botol sekali guna yang menjadi antara penyumbang terbesar pencemaran alam sekitar. Mesin yang dibangunkan berfungsi menukar botol PET terpakai kepada jaluran filamen yang mempunyai dimensi stabil serta memenuhi keperluan proses pencetakan 3D. Inovasi ini menilai beberapa aspek utama termasuk keberkesanan proses pengestrudan, kuantiti filamen yang berjaya dihasilkan, serta sifat mekanikal filamen akhir seperti kekuatan tegangan, keanjalan dan ketahanan struktur. Ujian prestasi dilakukan bagi membandingkan filamen PET kitar semula ini dengan filamen komersial yang lazim digunakan dalam industri pencetakan 3D. Hasil analisis menunjukkan bahawa filamen berasaskan botol PET terpakai mampu memberikan prestasi yang kompetitif, khususnya dari segi kekuatan mekanikal dan kestabilan semasa proses pencetakan. Penemuan ini membuktikan potensi besar penggunaan semula bahan terbuang dalam menghasilkan produk bernilai tambah tinggi. Selain menyokong amalan ekonomi kitaran, pembangunan mesin ini dapat membantu mengurangkan kos bahan mentah bagi pengguna pencetak 3D sambil memberikan penyelesaian inovatif terhadap pengurusan sisa plastik. Kajian ini sekali gus membuka ruang kepada penyelidikan lanjutan berkaitan pengoptimuman reka bentuk mesin serta peningkatan mutu filamen yang dihasilkan.

Kata kunci : *Filamen PET kitar semula, Pencetakan 3D, Kelestarian plastik, Pengestrudan*

1.0 Pengenalan

Secara purata, setiap rakyat Malaysia menghasilkan kira-kira 1.17 kilogram sisa pepejal setiap hari, bersamaan 36,699 tan sehari. Berdasarkan data tahun 2022 daripada Perbadanan Pengurusan Sisa Pepejal dan Pembersihan Awam (SWCorp), sebahagian besar sisa ini berakhir di tapak pelupusan, walaupun banyak daripadanya sebenarnya berpotensi untuk dikitar semula. Kitar semula merupakan proses penting dalam usaha mengoptimumkan penggunaan sumber semula jadi serta mengurangkan kesan negatif terhadap alam sekitar (A. Oussai, 2019). Proses ini merangkumi aktiviti pengumpulan, pemprosesan dan penggunaan semula bahan terpakai untuk menghasilkan produk baharu seperti di rajah 1. Amalan kitar semula bukan sahaja membantu mengurangkan jumlah sisa yang dihantar ke tapak pelupusan, malah mengurangkan tahap pencemaran dan kebergantungan kepada sumber mentah. Bahan seperti kertas, plastik, logam dan kaca dapat diproses semula untuk kegunaan baharu, sekali gus menyumbang kepada pemuliharaan sumber, menjimatkan tenaga, mengurangkan kos operasi pengurusan sisa serta memberi manfaat jangka panjang kepada ekonomi, masyarakat dan alam sekitar secara keseluruhan (M. A. Lajis *et. al.*, 2017).



Rajah 1 : Lambakan Botol Plastik

Plastik merupakan antara bahan yang paling meluas penggunaannya dalam kehidupan seharian, merangkumi pembungkusan makanan, peralatan rumah, perkakasan industri dan pelbagai produk lain. Rajah 2 menunjukkan jenis-jenis plastik yang ada di pasaran. Namun, sifatnya yang sukar terurai menjadikan plastik penyumbang utama kepada pencemaran alam sekitar apabila dibuang secara tidak bertanggungjawab. Sehubungan itu, amalan kitar semula plastik menjadi pendekatan yang sangat penting bagi mengurangkan impak negatif bahan ini terhadap persekitaran (Doni Billy Santoso, 2022). Dalam proses penghasilannya, plastik turut dicampurkan dengan pelbagai aditif bagi meningkatkan ketahanan, fleksibiliti dan kecekapan kos. Sejak tahun 1950-an, dianggarkan lebih satu bilion tan plastik telah dibuang, dan sebahagian besar daripadanya berpotensi kekal dalam persekitaran selama beratus-ratus tahun (Laporan Tahunan 2022). Anggaran lain menunjukkan jumlah pengeluaran terkumpul plastik mencecah 8.3 bilion tan, dengan 6.3 bilion tan menjadi sisa dan hanya 9% berjaya dikitar semula, manakala selebihnya berakhir di tapak pelupusan atau tersebar di alam sekitar. Pada masa kini, terdapat

tujuh kategori utama plastik yang digunakan dalam masyarakat moden, iaitu PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS dan O, masing-masing dengan ciri, kegunaan dan tahap kebolehkitar semula yang berbeza.



Rajah 2 : Jenis-jenis Plastik

2.0 Kajian Literatur

Penggunaan semula botol PET sebagai filament merupakan penyelesaian mampan yang bertujuan mengurangkan sisa plastik dan impak alam sekitar dalam industri pencetakan 3D. Pendekatan ini mampu menangani pelbagai isu seperti kegagalan cetakan, reka bentuk model yang kurang tepat serta pengoptimuman proses percetakan yang tidak efisien-faktor yang sering menyumbang kepada pembaziran bahan. Pembangunan peranti mekanikal yang menukarkan botol PET terbuang kepada filament pencetak 3D dilihat sebagai inovasi penting dalam usaha meminimumkan sisa plastik. Penggunaan alternatif yang lebih lestari, seperti botol ENSO biodegradability serta botol PET kitar semula, turut menunjukkan pilihan yang berdaya maju untuk mengurangkan tekanan terhadap alam sekitar. Menurut kajian Muhammad Luthfi Sonjaya *et al.* (2022), penyelidik telah memulakan inovasi dengan membangunkan mesin ekstrusi sisa plastik khusus untuk mengurangkan pembaziran plastik. Sementara itu, S N Ab Rahim *et.al* (2019), merancang mesin ekstrusi yang boleh digunakan untuk proses kitar semula plastik, dengan penekanan terhadap kawalan suhu pemanasan yang boleh disesuaikan melalui sensor.

Kajian Jialin Xu dan pasukannya pula meneliti kawalan suhu bagi pemanas ekstrusi plastik melalui simulasi, menunjukkan kepentingan kestabilan terma dalam penghasilan filament yang konsisten. Perkembangan teknologi mesin cetak 3D yang semakin popular dalam masyarakat turut mendorong individu untuk membina mesin mereka sendiri, memandangkan prosesnya yang boleh dicapai dan kos yang semakin berkurangan. Selain itu, berdasarkan penemuan V. Dhopte *et al.* (2022) dan Alvaro Goyanes *et al.* (2014), projek mereka memberi tumpuan kepada pembangunan mesin penyemperitan yang menghasilkan filament 3D daripada botol PET. Mark D. Grooms (2016) pula menekankan

pembangunan penyemperitan filament kos rendah menggunakan bahan buangan dan komponen mudah diperoleh bagi menyiapkan sistem lengkap. Kreiger *et al.* (2014) turut membincangkan pelbagai jenis bahan yang sesuai digunakan untuk aplikasi pencetakan 3D serta ciri-cirinya, termasuk suhu lebur dan parameter operasi yang relevan.

Jadual 1 : Perbandingan kajian terdahulu

	Rekabentuk 1	Rekabentuk 2	Rekabentuk 3
Model			
Saiz	40cmx19.5cmx24cm	60cmx25cmx24cm	90cmx40cmx80cm
Motor penggerak	DC motor	Nema 17 stepper motor	DC motor
Sumber	Igor Tylman and Kazimierz Dzierzek October 2020	Dorin Mihail Dinulescu	V. D. Dhopte et al April 2022

Mesin pencetak filamen 3D direka bentuk dengan teliti bagi memastikan penghasilan filamen yang konsisten dari segi saiz, bentuk dan kualiti. Proses bermula dengan sistem pemotong berketepatan tinggi yang memotong bahan mentah seperti PET kepada saiz yang sesuai sebelum dihantar ke bahagian penyemperitan (M Z Mahadzir *et.al.*, 2019). Bahan yang telah diproses kemudiannya dialirkan melalui muncung (nozzle) khas untuk membentuk filamen dengan diameter yang seragam. Selain itu, mesin ini

turut dilengkapi dengan mekanisme pembungkusan automatik yang berfungsi menggulung filamen ke dalam gelendong, sekali gus menyediakan filamen yang sedia digunakan oleh pencetak 3D. Secara keseluruhan, reka bentuk mesin pencetak filamen 3D menitikberatkan aspek konsistensi, kualiti dan kecekapan pengeluaran, seterusnya memenuhi keperluan industri pencetakan 3D yang semakin berkembang (Igor Tylman *et. al.*, 2020).

Saiz mesin pencetak filament 3D bergantung pada kapasiti pengeluaran dan skala operasi, serta memberi kesan langsung terhadap kualiti filament yang dihasilkan. Mesin bersaiz besar memerlukan ruang pemasangan yang lebih luas, manakala dalam persekitaran terhad, pemilihan saiz yang sesuai amat penting untuk memastikan operasi berjalan lancar tanpa mengganggu aliran kerja. Oleh itu, penentuan saiz mesin yang tepat merupakan faktor utama dalam memastikan pengeluaran filament yang efisien dan berkesan (Katarzyna Mikula *et al.*, 2020).

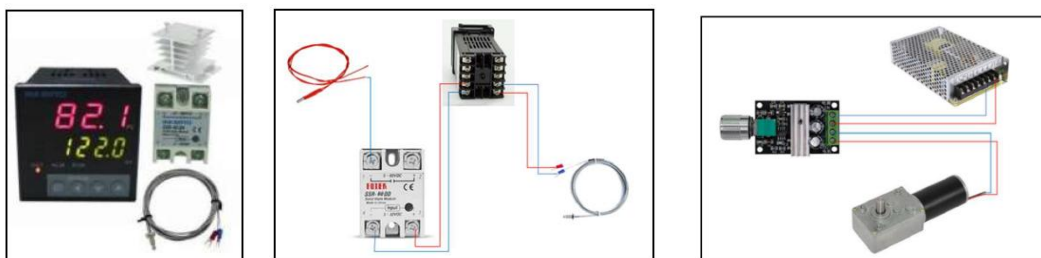
Motor Worm Geared DC digunakan kerana keupayaannya menghasilkan tork tinggi pada kelajuan rendah, menjadikannya sesuai untuk aplikasi yang memerlukan daya tarikan yang kuat dan stabil. Dalam mesin pencetak filament, motor ini mengautomasikan proses penarikan filament pada kelajuan tetap, memastikan keseragaman dan kestabilan pengeluaran. Ciri ini turut menjadikan motor tersebut pilihan popular dalam pembinaan peralatan elektronik dan mesin (Muhammad Luthfi Sonjaya, 2022).

Parameter utama mesin filamen PET merangkumi suhu operasi antara 220°C hingga 260°C, bergantung pada gred PET, serta kelajuan penyemperitan yang perlu dikawal bagi memastikan diameter filamen konsisten pada 1.75 mm. Kelajuan penggulung turut memainkan peranan penting dalam mengekalkan ketegangan dan mengelakkan pemutusan filamen. Selain itu, sistem pemacu dan kawalan yang tepat diperlukan untuk mengoptimumkan kualiti pengeluaran (S N Ab Rahim, 2018).

3.0 Metodologi Kajian

Reka bentuk projek mesin filamen PET menggunakan pendekatan sistematik meliputi analisis keperluan, pemilihan komponen dan pengujian prototaip. Matlamat utama ialah membangunkan mesin dengan sistem kawalan yang mampu menghasilkan filamen PET berkualiti tinggi berdiameter konsisten 1.75 mm. Proses ini melibatkan pembangunan model 3D dan simulasi melalui perisian CAD bagi memastikan kecekapan mekanikal dan elektrik, serta integrasi kawalan suhu tepat menggunakan thermocouple jenis K dan pemanas cartridge. Dengan kriteria penilaian seperti prestasi dan kebolehpercayaan, prototaip diuji secara menyeluruh sebelum pengeluaran penuh. Reka bentuk ini bukan sahaja meningkatkan kecekapan pengeluaran, tetapi turut menyokong kelestarian melalui penggunaan bahan kitar semula, selaras dengan usaha mempromosikan teknologi hijau (Riduwan Bin Zakaria *et.al.*, 2024).

Sensor suhu berfungsi sebagai komponen utama dalam pemantauan dan kawalan suhu mesin, khususnya pada bahagian pemanas dan extruder. Ketepatan suhu amat penting bagi memastikan bahan PET melembut pada tahap yang optimum tanpa menyebabkan pembakaran atau kemerosotan kualiti. Dalam aplikasi ini, thermocouple merupakan jenis sensor yang lazim digunakan kerana keupayaannya memberikan bacaan suhu yang stabil dan responsif.



Rajah 3 : Litar Elektrik dan Sistem Kawalan Kelajuan

Bacaan suhu daripada sensor dihantar ke mikropemproses, yang kemudiannya memproses isyarat tersebut untuk mengawal operasi pemanas. Mikropemproses seterusnya menghantar isyarat kawalan kepada solid state relay (SSR) bagi melaras jumlah kuasa yang dibekalkan kepada elemen pemanas. Mekanisme kawalan ini memastikan suhu berada dalam julat yang dikehendaki, sekali gus menjamin proses pelunakan PET berlangsung pada keadaan optimum untuk menghasilkan filamen berkualiti tinggi. Rajah 3 di atas menggambarkan konfigurasi litar elektrik bagi sistem sensor suhu ini. PWM digunakan untuk mengawal kelajuan motor yang menggerakkan komponen seperti pengumpul filament dan motor penggulungan. PWM (Pulse Width Modulation) adalah teknik untuk mengawal daya yang dihantar ke sesuatu beban (seperti motor) dengan mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik daripada isyarat digital (Muhammad Luthfi Sonjaya *et. al.*, 2022).

4.0 Analisis Data dan Keputusan

Dapatan kajian seperti di rajah 4 mengenai mesin penghasilan filament PET menunjukkan bahawa teknologi ini memainkan peranan yang signifikan dalam memproses botol polyethylene terephthalate (PET) terpakai menjadi filament baharu untuk pelbagai aplikasi industri, termasuk tekstil dan kejuruteraan. Mesin ini direka bentuk bagi menukarkan jalur (strip) botol plastik kepada filament melalui proses pelunakan yang dikawal secara teliti, melibatkan pengurusan suhu dan tekanan yang optimum untuk memastikan tekstur serta diameter filament kekal konsisten. Hasil kajian turut membuktikan bahawa penggunaan mesin ini berupaya meningkatkan kecekapan kerja dan produktiviti keseluruhan, selain mengurangkan kos pengeluaran berbanding kaedah pemprosesan tradisional (Neza Nurulhuda Nekmat *et.al.*, 2025). Secara keseluruhan, teknologi ini menawarkan penyelesaian yang lebih mampan dan ekonomik dalam penghasilan filament daripada bahan kitar semula.

Bil	Perkara	Status
1	Setiap komponen adalah bersesuaian dengan reka bentuk yang dihasilkan	Ya
2	Worm Gear Dc motor dapat berfungsi dengan baik	Ya
3	Pid Controllor dapat mengawal suhu dan thermocouple dapat membaca suhu dengan baik.	Ya
4	Nozzle mampu mengeluarkan filament bersaiz 1.75mm	Ya
5	Blok Pemanas dapat mengawal pemanasan suhu yang baik.	Ya
6	Wayar berada pada kedudukan yang bersesuaian dan selamat. Wayar dapat beroperasi dengan baik.	Ya

Rajah 4 : Analisis Proses Kerja

Analisis terhadap proses kerja mesin pembuat filament PET menunjukkan bahawa setiap komponen utama berfungsi dengan baik dan memenuhi keperluan reka bentuk seperti di rajah 4. Keserasian komponen dengan struktur mesin memastikan keseluruhan sistem bekerja secara stabil tanpa gangguan mekanikal. Motor DC jenis worm gear didapati beroperasi dengan lancar, memberikan tork yang mencukupi untuk menarik dan menolak jalur PET melalui sistem extruder secara konsisten. Kecekapan

motor ini penting untuk mengekalkan kelajuan pengestrudan yang seragam bagi menghasilkan filament berkualiti. Sistem kawalan suhu menggunakan PID controller turut menunjukkan prestasi memuaskan. PID controller mampu mengekalkan suhu yang stabil, manakala thermocouple dapat mengesan perubahan suhu dengan tepat. Ketepatan sistem kawalan ini memastikan proses pelunakan PET berlaku pada suhu optimum tanpa risiko degradasi bahan. Nozzle juga berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan filament pada diameter 1.75 mm secara konsisten, menepati spesifikasi standard filamen pencetak 3D. Blok pemanas pula mampu memberikan pemanasan yang sekata, memastikan PET berada dalam keadaan mudah bentuk semasa melalui extruder. Susunan wayar yang kemas dan selamat pula mengurangkan risiko litar pintas atau gangguan elektrik, sekali gus menjadikan operasi mesin lebih selamat (Muhammad Taufiq *et. al.*, 2023). Secara keseluruhan, mesin ini menunjukkan prestasi operasi yang stabil, cekap dan memenuhi objektif reka bentuk.

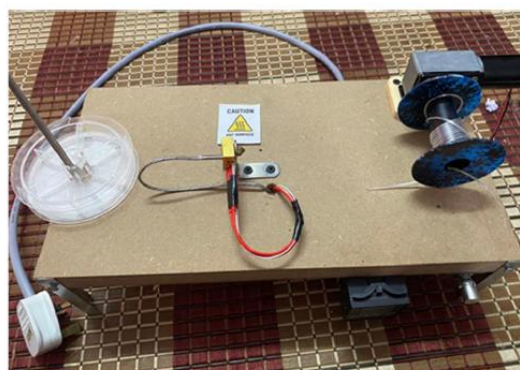
5.0 Hasil dan Perbincangan

Melalui sistem pembangunan ini, dapatan memperolehi spesifikasi reka bentuk dan sistem kawalan mesin seperti ditunjukkan dalam jadual 2.

Jadual 2 : Spesifikasi Reka Bentuk

Spesifikasi	Penerangan
Nama Model	PET Filament Machine
Dimensi	38cm(P) x 20cm(L) x 11.3cm(T)
Fungsi	Membangunkan system kawalan mesin yang dapat menghasilkan filament pencetakan 3D.
Bahan	Aluminium dan Mdf Board
Berat	Kurang 10 kilogram
Komponen	Worm Gear Motor Dc, Power supply, PID Controller, Solid State Relay, Hotend

Gambar Rajah



6.0 Kesimpulan

Secara keseluruhan, pembangunan PET Filament Machine berbentuk semi automatik ini telah berjaya direalisasikan dan memenuhi objektif kajian, khususnya dalam menukarkan jalur PET kepada filament yang stabil dan berkualiti. Mesin ini berfungsi dengan baik dari segi kawalan suhu, pengekstrudan dan penghasilan diameter filament yang konsisten. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa had yang dikenal pasti sepanjang pelaksanaannya. Antara limitasi utama ialah keperluan kawalan suhu yang sangat tepat, kerana sebarang penyimpangan boleh mengakibatkan kualiti filament yang tidak seragam. Mesin ini juga memerlukan penggunaan tenaga yang tinggi, menimbulkan isu kos dan kelestarian jangka panjang. Selain itu, reka bentuk yang kompleks menjadikan proses penyelenggaraan lebih mencabar serta memerlukan operator yang berkemahiran. Memastikan produk akhir mematuhi standard industri dan ciri keselamatan turut menjadi cabaran tambahan. Sehubungan itu, beberapa cadangan penambahbaikan dicadangkan, antaranya penggunaan sistem penyejukan udara yang lebih efisien bagi mempercepat dan menyeragamkan proses penyejukan filament. Di samping itu, integrasi sistem pemantauan berasaskan IoT boleh membantu pengguna memerhati prestasi mesin secara masa nyata, sekali gus memudahkan penyelenggaraan dan kawalan proses. Melalui penambahbaikan ini, mesin dapat beroperasi dengan lebih cekap, mesra pengguna dan menghasilkan filament yang lebih berkualiti.

Rujukan

- A. Oussai (2019), Development of a Small-Scale Plastic Recycling Technology and a Special Filament Product for 3D Printing, 365– 371.
- Doni Billy Santoso (2022), Rekayasa Mesin Pembuat Filamen Dari Sampah Botol PET Untuk 3D Printing, 1-54
- Dorin Mihail Dinulescu. Advanced PET Plastic Bottle Upcycling for Precision Printer Filament Fabrication, 46-53
- Favour C. Eboh, Opeyemi Osideko (2021). Fabrication of Extrudate Filaments From Waste Polyethylene Terephthalate Plastics for 3D Printers, 78-82.
- Igor Tylman and Kazimierz Dzierżek. (2020). Filament for a 3D Printer From Pet Bottle Simple Machine, 1386-1392.
- Katarzyna Mikula et al. (2020). 3d Printing filament as a second life of waste plastics- a review.
- Laporan Tahunan 2022, Perbadanan Pengurusan Sisa Pepejal dan Pembersihan Awam, SWCorp Malaysia, <https://www.swcorp.gov.my/laporan-tahunan-2022/>

- M Z Mahadzir, S N Ab Rahim, N A F Nik Abdullah, M A Lajis (2019), Effect of Extrusion Ratio of Recycling Aluminium AA6061 Chips by the Hot Extrusion Process, *International Journal of Advanced Research in Engineering Innovation*
- M. A. Lajis, S.N. Ab Rahim (2017), Mechanical Properties and Surface Integrity of Recycling Aluminum 6061 by Hot Extrusion Process, *Materials Science Forum* (Volume 894), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.894.21>
- Muhammad Luthfi Sonjaya, Mutmainnah (2022). Construction of Plastic Waste Extruding Machine to Produce Filaments of 3D Printing Machine, 82–90.
- Muhammad Taufiq, Gita Suryani Lubis (2023) Rancang Bangun Mesin Pultrusion Pembuat Filamen 3D Printing Berbasis Limbah Plastik Botol PET
- Neza Nurulhuda Nekmat, Syaiful Nizam Ab Rahim, Azunaidi Abdul Aziz (2025), Innovative Semi-Automated Kuih Kapit Production: Leveraging Infrared Heating for Consistent Quality and Sustainability, *Journal of Advanced Research in Technology and Innovation Management*.
- Riduwan Bin Zakaria, Mohd Hairol Mizzam Bin Haris, Syaiful Nizam Bin Ab Rahim (2024), Mereka Bentuk Sistem Kawalan untuk Mesin Eco Cutter, *Journal on Technical and Vocational Education*, Volume 9, Issue 3, Pages 74-82
- S N Ab Rahim (2018), Effect of Hot Extrusion Parameters of AA6061 Recycle Aluminium Chips, *iCompEx18 Pembentangan Kertas Penyelidikan Akademik*, Publication 2018/2/28
- M Z Mahadzir, S N Ab Rahim, M A Lajis (2019), Surface fracture mode of recycling aluminum 6061 chips by the hot extrusion process, *International Journal of Advanced Research in Engineering Innovation*, Volume 1, Issue 2, Pages 58-64
- S.N. A Rahim, M.A. Lajis (2017), Effects on Mechanical Properties of Solid State Recycled Aluminium 6061 by Extrusion Material Processing, 730, 317–320
- V. D. Dhopte, Gaurav S. Parate (2022). Design and Fabrication of PET Filament Making Machine, 1529–1531.