

Perancangan Mesin Pembuat Filamen untuk Mesin Cetak 3D *Fused Deposition Modeling* Berbahan Dasar Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* Bekas

Ivan Christian Hernando^{1*}, Roche Alimin¹, Yogi Christian¹, Edi Widiyanto Susilo¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

*Penulis korespondensi; E-mail: ivan.hernando@petra.ac.id

ABSTRAK

Plastik menjadi bahan baku utama dalam pembuatan berbagai macam produk. Penggunaan plastik yang masif menjadi tantangan tersendiri dalam hal polusi. Untuk itu perlu melakukan daur ulang terutama pada plastik pembungkus makanan seperti botol plastik berbahan dasar *Polyethylene Terephthalate*. Salah satu bentuk daur ulang yang dapat dilakukan adalah dengan mengubahnya menjadi filamen untuk material mesin cetak 3D *fused deposition modeling*. Untuk dapat membuat filamen berbahan dasar botol plastik *Polyethylene Terephthalate* bekas maka dibutuhkan sebuah mesin pembuat filamen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah mesin pembuat filamen berbahan dasar botol plastik *Polyethylene Terephthalate* bekas. Mesin terdiri dari beberapa bagian, bagian pemotong, bagian penarik *strip*, bagian pemanas, bagian pengarah otomatis, dan bagian penggulung. Mesin ini dilengkapi dengan *load cell* yang mampu mendeteksi berat gulungan yang sudah dibuat. Hal ini bertujuan agar jika beban yang diinginkan telah tercapai maka sistem dapat berhenti dengan sendirinya. Pada proses pengujian, mesin ini dapat menghasilkan filamen berbahan dasar botol plastik *Polyethylene Terephthalate* bekas. Filamen kemudian diuji coba dan didapati bahwa filamen dapat digunakan pada mesin 3D printing *fused deposition modeling*.

Kata Kunci : botol PET, filamen FDM, mesin filamen, daur ulang.

ABSTRACT

Plastic is the main raw material used in various products. The massive use of plastic is a challenge in terms of pollution. For this reason, it is necessary to recycle, especially plastic food packaging such as Polyethylene Terephthalate-based plastic bottles. One form of recycling that can be done is by turning it into filament for fused deposition modeling 3D printing material. You need a filament-making machine to make filament from used polyethylene terephthalate plastic bottles. This research aims to design a filament-making machine from used Polyethylene Terephthalate plastic bottles. The machine consists of several parts, a cutting part, strip-pulling part, a heating part, an automatic directing part, and a winding part. This machine is equipped with a load cell which is capable of detecting the weight of the rolls that have been made. This is so that if the desired load has been reached, the system can stop by itself. In the testing process, this machine can produce filament made from used Polyethylene Terephthalate plastic bottles. The filament was then tested and it was found that the filament could be used on fused deposition modeling 3D printing machines.

Keywords: PET bottles, FDM filament, filament machine, recycle.

PENDAHULUAN

Plastik telah menjadi bagian dari hidup manusia yang tidak terpisahkan. Plastik banyak digunakan mulai dari sebagai pembungkus makanan, cover peralatan elektronik, wadah air minum, dan masih banyak lagi. Salah satu jenis plastik yang digunakan untuk bahan pembungkus minuman adalah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET). Plastik jenis ini selain digunakan untuk pembungkus minuman, juga banyak digunakan untuk pembungkus makanan dan tekstil.

Plastik jenis PET memiliki kelebihan yaitu ringan dan durable, sehingga di era modern ini, plastik jenis PET menjadi material yang esensial [1]. Penggunaan plastik seringkali menjadi permasalahan tersendiri. Beberapa diantaranya adalah permasalahan plastik yang tidak dapat diuraikan oleh lingkungan. Penggunaan plastik jenis PET yang berlangsung terus menerus akan mengakibatkan krisis global terkait dengan manajemen limbah. Manajemen limbah yang tidak ditangani dengan serius akan dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan. Melakukan tindakan daur ulang terhadap plastik jenis PET menjadi salah satu alternatif cara untuk bisa menyelamatkan lingkungan dari kerusakan yang lebih parah lagi. Secara umum proses daur ulang dari plastik dengan jenis PET ini melibatkan proses sortir, proses manufaktur, dan diakhiri dengan menjadi produk yang baru [1].

Proses daur ulang dari plastik berbahan dasar PET telah banyak menjadi perhatian karena penggunaannya yang masif. Proses daur ulang plastik berbahan dasar PET tidak dapat berlangsung selamanya karena plastik berbahan dasar PET akan terdegradasi secara *thermochemical* [2]. Secara umum, proses daur ulang dari plastik berbahan dasar PET terbagi menjadi dua, yaitu secara mekanika dan kimiawi [3]. Salah satu produk turunan dari proses daur ulang PET adalah bahan bakar dimana prosesnya adalah dengan memecah struktur kimia dari plastik berbahan dasar PET menjadi rangkaian hidrokarbon [4]. Metode daur ulang lainnya adalah membuat plastik berbahan dasar PET menjadi filamen untuk mesin cetak 3D *fused deposition modeling* (FDM) [5]. Metodenya adalah dengan mencacah plastik berbahan dasar PET menjadi kecil-kecil kemudian memasukkannya ke dalam mesin ekstrusi dan di ekstrusi untuk menjadi filamen untuk 3D printing FDM [6].

Di era modern ini, terdapat proses manufaktur yang disebut dengan *additive manufacturing*. Proses manufaktur ini bekerja dengan menambahkan material kepada benda yang sedang dibuat atau diproses. Penambahan material dilakukan dengan proses layer demi layer [7]. Proses manufaktur ini seringkali menggunakan bahan baku plastik seperti *Polylactic Acid* (PLA) ataupun *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Proses manufaktur ini memungkinkan kepada pengguna untuk dapat membuat benda secara khusus dengan bentuk yang unik dan dapat menjadi prototipe dari benda sebenarnya. Salah satu penerapannya adalah hasil 3D print FDM digunakan sebagai pola untuk proses pengecoran [8]. Harganya yang terjangkau dengan berbagai fitur membuat mesin cetak 3D FDM mudah ditemui saat ini. Penelitian lainnya bahkan telah membuat desain mesin cetak 3D menggunakan Arduino sebagai mikroporsesoranya [9]. Hal ini akan membuat harga dari mesin 3D print FDM menjadi lebih terjangkau.

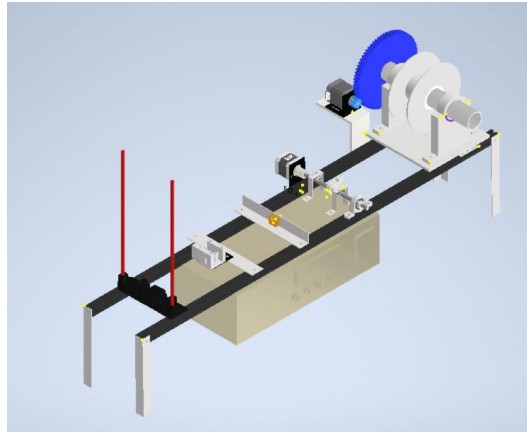
Penggunaan filamen plastik berbahan dasar PET bekas sebagai bahan baku utama mesin cetak 3D FDM mengakibatkan biaya produksi menjadi lebih murah. Hal ini tentunya mendorong pengembangan-pengembangan lebih lanjut filamen berbahan dasar PET bekas. Secara umum, filamen dengan bahan dasar plastik PET bekas memiliki karakteristik yang lebih getas namun memiliki UTS yang lebih tinggi [10]. Dalam pengembangan selanjutnya, filamen berbahan dasar dari plastik PET bekas juga digabungkan dengan kitosan yang berasal dari kulit udang [11]. Selain itu, dalam proses cetak yang dilakukan dengan menggunakan filamen berbahan plastik PET bekas perlu untuk memperhatikan parameter-parameter printing yang telah dioptimalisasi sehingga didapatkan hasil cetak terbaik [12]. Salah satu implementasi dari penggunaan filamen berbahan plastik PET bekas adalah untuk pembuatan *bread board* [13].

Proses pembuatan filamen berbahan dasar plastik PET bekas perlu menjadi perhatian. Dalam prinsipnya, botol plastik perlu untuk diserut sehingga menjadi *strip*. Filamen yang menjadi *strip* ini kemudian dimasukkan kedalam *nozzle* yang telah dipanaskan. Setelah melalui *nozzle* yang panas ini kemudian filamen terbentuk. Filamen yang terbentuk ini digulung dengan menggunakan bantuan motor. Filamen ini kemudian dapat digunakan untuk menjadi bahan baku dalam proses pencetakan 3D FDM [14]. Dalam proses pembuatannya didapati bahwa suhu 210°C memberikan hasil yang terbaik [15]. Namun kelemahan dari mesin yang telah dibuat ini adalah dalam prosesnya jika satu botol telah habis maka perlu untuk menghentikan mesin dan mengganti dengan botol lainnya. Selain itu, terdapat kelemahan lainnya adalah hasil gulungan yang didapatkan tidak begitu rapi. Oleh karena itu pada penelitian ini, penulis mencoba untuk membuat sebuah mesin pembuat filamen otomatis yang dapat menghasilkan filamen berbahan dasar botol plastik PET bekas. Desain mesin ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan bahwa perlu untuk menghentikan sistem untuk mengganti botol dengan botol yang baru. Mesin

ini juga dilengkapi sensor *load cell* dan pengarah gulungan sehingga hasil gulungan dapat rapi dan sistem dapat berhenti sendiri jika beban yang diharapkan telah tercapai.

METODE

Proses pertama yang dilakukan dalam proses perancangan mesin pembuat filamen ini adalah dengan melakukan pencarian secara menyeluruh. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran lebih utuh terkait dengan desain-desain mesin pembuat filamen. Di sisi lain, melalui tahapan ini diharapkan berbagai macam data-data awal yang dibutuhkan didapatkan sehingga proses desain dapat berjalan dengan lancar. Fokus utama dalam tahapan ini adalah mencari data terkait dengan spesifikasi material, variasi desain yang ada, dan cara kerja mesin secara menyeluruh.



Gambar 1. Desain Mesin Pembuat Filamen Mesin Cetak 3D FDM

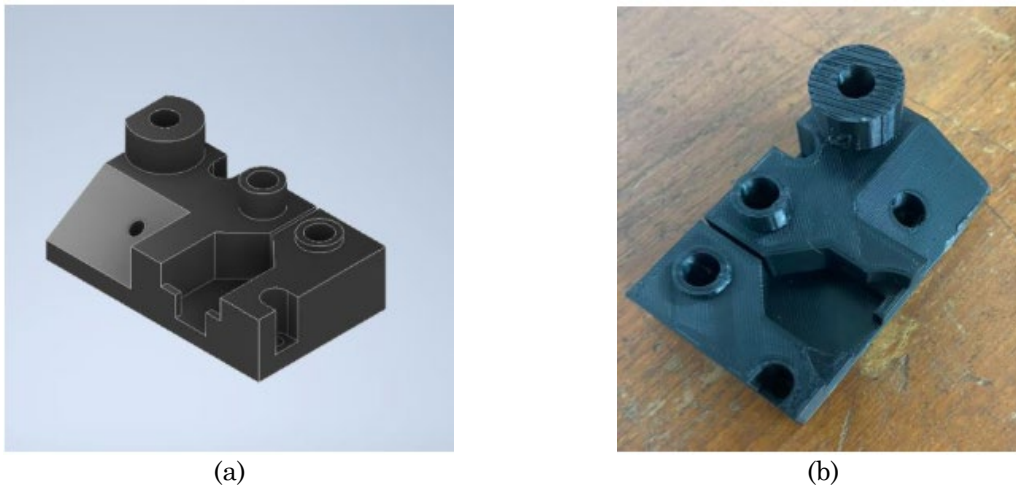
Tahap selanjutnya adalah dari data-data yang dimiliki, dibuat desain awal rancangan mesin. Desain mesin yang telah dibuat ini selanjutnya dianalisa dan dimanufaktur. Proses manufaktur dari rancangan mesin dilakukan dengan berbagai macam proses, diantaranya adalah pencetakan 3D FDM, bubut dan *cutting*. Hasil dari proses ini adalah berupa *assembly* dari mesin pembuat filamen. Mesin pembuat filamen yang telah ter-*assembly* ini belum dapat langsung digunakan. Perlu tahap berikutnya dalam prosesnya, yaitu membuat pemrograman pada *microcontroller* yang digunakan. Proses pembuatan program pada *microcontroller* melibatkan uji coba *trial and error* hingga program yang telah dibuat dapat membuat mesin pembuat filamen dapat bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan awal yang diharapkan.

Dalam konsep desain, aluminium ekstrusi dipilih untuk menjadiudukan utama untuk komponen-komponen lainnya. Pada bagian atas dari aluminium ekstrusi akan terdapat empat bagian utama, yaitu pemotong, penarik, pemanas, dan penggulung. Pada bagian pemotong berguna untuk membuat botol plastik PET bekas menjadi *strip*. Bagian penarik berguna untuk menarik *strip* dan memasukkan ke pemanas. Pada bagian pemanas berguna untuk mengubah bentuk *strip* menjadi berbentuk filamen. Bagian penggulung berguna untuk menggulung hasil filamen. Pada bagian bawah dari aluminium ekstrusi, terdapat sistem *microcontroller* dan berbagai perangkat elektronik lainnya yang berfungsi untuk mengatur kerja dari mesin pembuat filamen. Aluminium ekstrusi juga dilengkapi dengan empat kaki yang berguna untuk menopang keseluruhan mesin pembuat filamen. Konsep desain dari mesin pembuat ekstrusi dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

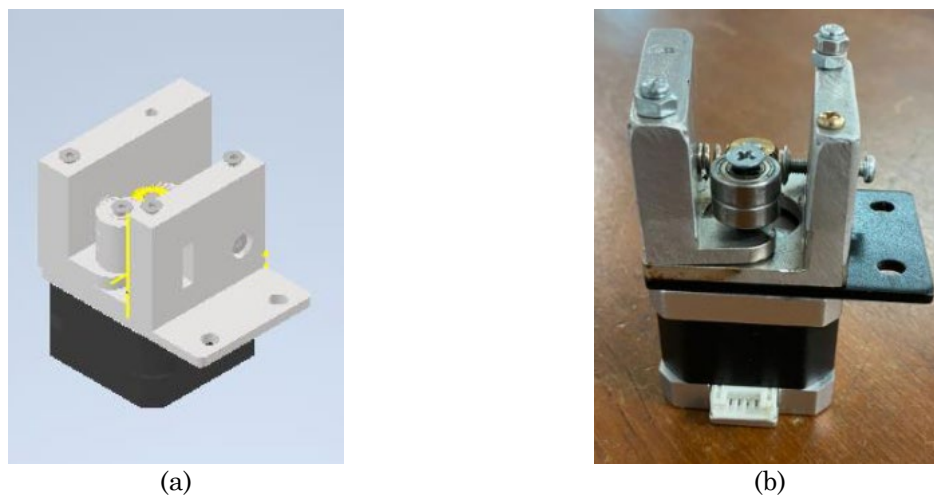
Pada bagian pemotong, digunakan dua buah *bearing* yang ujungnya diasah dan ditajamkan. Kedua *bearing* yang ditajamkan dan ditempelkan secara bertumpuk berfungsi sebagai pemotong. Prinsip kerja dari sistem ini mirip seperti dengan gunting. Pemilihan metode ini dibandingkan dengan menggunakan *cutter* adalah dengan menggunakan metode ini pemotongan dapat lebih akurat serta tidak membutuhkan gaya yang besar. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan pada saat proses pemotongan, kedua *bearing* ikut Bersama-sama berputar bersamaan dengan *strip* yang keluar. Gambar dari dudukan untuk pemotong dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2a menunjukkan

gambar desain 3 dimensi dan Gambar 2b menunjukkan benda kerja yang telah dibuat dengan menggunakan mesin cetak 3D FDM.



Gambar 2. Pemotong Botol Plastik PET Bekas Menjadi *Strip* (a) Desain Pada *Software* Desain, (b) Hasil Manufaktur dari Desain yang Dibuat

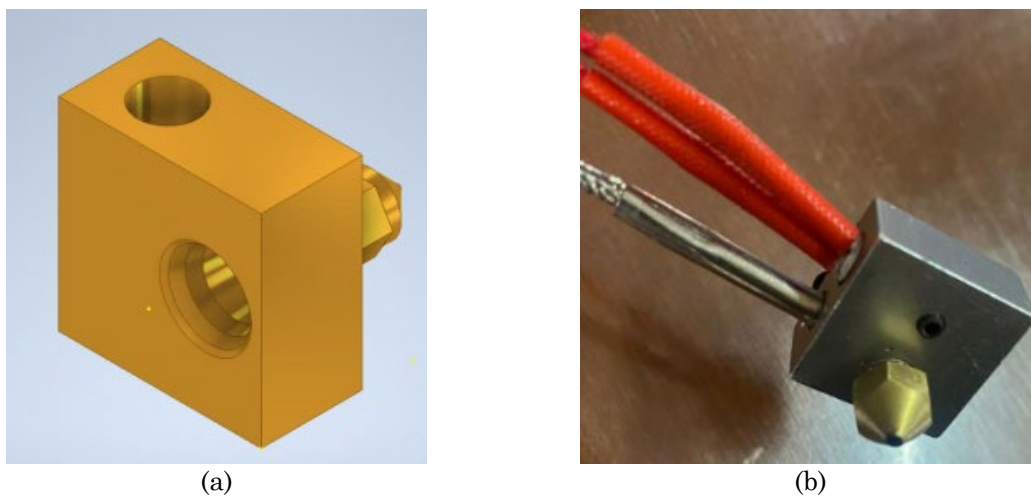
Pada bagian penarik *strip* terdiri dari blok belakang dan depan yang dilengkapi dengan *bearing* 650zz, braket *motor stepper*, *motor stepper* dengan tipe nema 17, *gear* ekstrusi, dan pegas ekstrusi. Bagian blok depan dan belakang berfungsi untuk tempat masuk dan keluarnya *strip*. *Strip* yang masuk kemudian lanjut ke *bearing* dan gear ekstrusi. *Gear* ekstrusi akan menekan dan menjepit *strip* diantara gear ekstrusi dan *bearing* 650zz. *Gear* yang berputar akan membuat *strip* bergerak maju. Pegas berfungsi untuk mengatur seberapa tekanan yang diberikan untuk menjepit *strip*. Braket digunakan untuk dudukan menempatkan *motor stepper* ke dudukan. Gambar dari bagian penarik *strip* dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3a menunjukkan gambar desain 3D dan Gambar 3b menunjukkan hasil yang telah dibuat.



Gambar 3. Bagian Penarik *Strip* (a) Desain pada *Software* Desain, (b) Hasil Manufaktur dari Desain yang Dibuat

Bagian berikutnya adalah bagian pemanas yang digunakan untuk mengubah *strip* menjadi bentuk filamen. Bagian ini terdiri dari blok aluminium yang dilengkapi dengan elemen pemanas dan sensor suhu serta *nozzle*. Aluminium dipilih sebagai bahan untuk *headblock* karena memiliki konduktivitas termal yang sangat tinggi, sekitar 237 W/m·K. Konduktivitas termal yang tinggi ini berarti aluminium mampu mentransfer panas dengan cepat dan efisien dari satu bagian material ke bagian lainnya. Dengan kata lain, saat elemen pemanas menghantarkan panas, aluminium sebagai material *headblock* dapat dengan cepat menyerap dan menyebarkan panas tersebut ke seluruh permukaannya.

Kemampuan aluminium untuk mentransfer panas dengan cepat memastikan bahwa suhu di seluruh *headblock* tetap konsisten dan merata. Hal ini sangat penting dalam aplikasi yang membutuhkan kontrol suhu yang presisi, seperti dalam mesin cetak 3D, sistem pendingin, atau peralatan pemanas. Dengan menggunakan elemen pemanas yang mudah diaplikasikan dan aluminium sebagai material *headblock*, sistem ini menjadi lebih efisien dalam menghantarkan dan mendistribusikan panas, serta lebih andal dalam kinerja jangka panjang. *Nozzle* pada mesin cetak 3D diubah dengan cara memodifikasi dan memperbesar ukuran lubang keluaran menjadi sebesar 1,5 mm. Proses modifikasi ini melibatkan penggantian atau perubahan diameter lubang *nozzle* agar lebih besar dari ukuran standarnya. Tujuan dari pembesaran lubang *nozzle* ini adalah untuk memungkinkan aliran material yang lebih lancar dan konsisten, serta memastikan ukuran luaran filamen yang terbuat dari bahan daur ulang, seperti botol plastik PET sesuai dengan diameter yang diinginkan. Dengan lubang yang lebih besar, *nozzle* dapat mengurangi risiko tersumbat dan meningkatkan efisiensi pencetakan, memastikan bahwa material keluar dengan kecepatan dan volume yang tepat sesuai kebutuhan desain cetakan 3D. Gambar dari bagian pemanas dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4a menunjukkan gambar 3 dimensi desain dan Gambar 4b menunjukkan hasil yang telah dibuat.



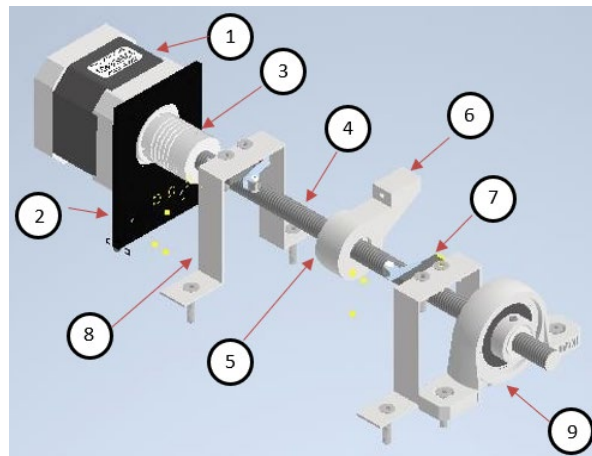
Gambar 4. Bagian Pemanas (a) Desain pada *Software* Desain, (b) Hasil Manufaktur dari Desain yang Dibuat

Bagian berikutnya adalah alat penggeser otomatis. Bagian ini bertujuan untuk mengarahkan filamen yang telah keluar dari bagian pemanas. Pada bagian ini, filamen yang keluar dari pemanas diarahkan ke kanan dan ke kiri dengan tujuan agar pada proses penggulungan didapatkan hasil gulungan yang rapi dan tidak tertumpuk pada satu sisi saja. Gambar alat penggeser otomatis dapat dilihat pada Gambar 5. Terdapat beberapa komponen pada bagian penggeser otomatis ini. Komponen nomor 1 merupakan *motor stepper*, komponen nomor 2 merupakan braket dari *motor stepper*, komponen nomor 3 merupakan *flexible coupling*, komponen nomor 4 merupakan *leadscrew*, komponen nomor 5 merupakan *motor stepper*, komponen nomor 6 merupakan kepala alat penggeser, komponen nomor 7 merupakan *limit switch*, komponen nomor 8 merupakan braket *limit switch*, dan komponen nomor 9 merupakan *pulley bearing*.

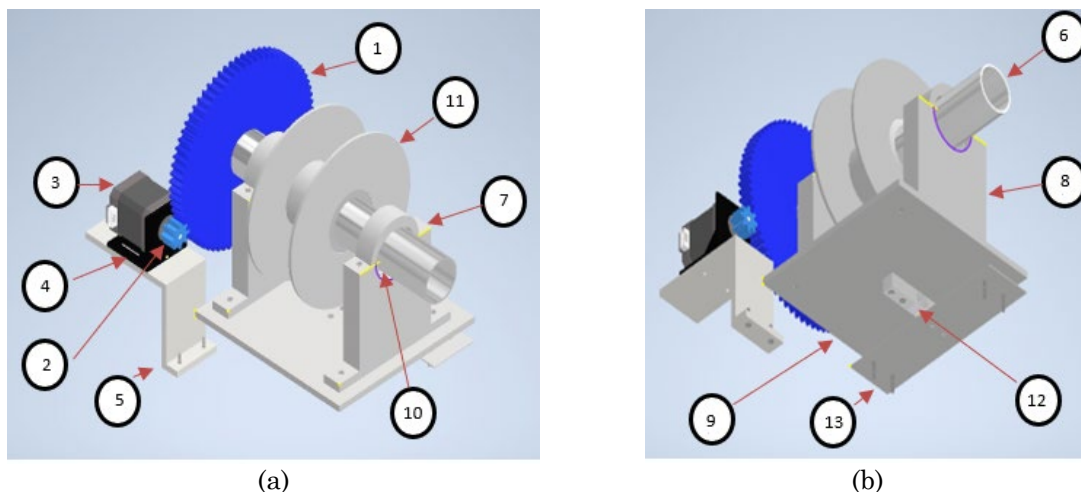
Motor stepper berfungsi untuk memutar *lead screw* yang dihubungkan oleh *flexible coupling*. Putaran ini kemudian akan mengakibatkan *flange* dan kepala alat penggeser dapat bergerak ke kanan atau ke kiri. Gerakan ke kanan dan ke kiri dari *flange* dan kepala alat penggeser dibatasi oleh *limit switch*. Lubang yang terletak pada kepala alat penggeser berfungsi untuk jalur masuk dan keluarnya filamen yang telah dibuat oleh pemanas.

Bagian berikutnya adalah penggulung filamen. Pada bagian ini, filamen yang telah diarahkan pada bagian penggeser otomatis akan digulung. Penggulungan ini dilengkapi dengan sensor *load cell* yang bertujuan agar saat beban yang ditarget telah tercapai maka sistem akan berhenti dengan sendirinya. Gambar dari bagian penggulung filamen dapat dilihat pada Gambar 6. Terdapat beberapa komponen pada bagian penggulung filamen ini, yaitu gear besar (1), gear kecil (2), *motor stepper* (3), braket dari motor stepper (4), dudukan *motor stepper* (5), pipa penggulung (6),

penutup pipa penggulung (8), kaki pipa penggulung (9), *bearing* (10), wadah penggulung (11), sensor *load cell* (12), alas penggulung (13).



Gambar 5. Bagian Penggeser Otomatis



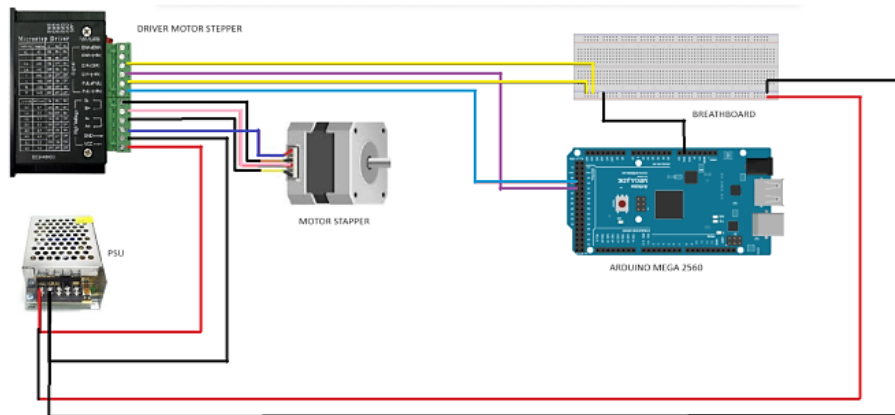
(a)

(b)

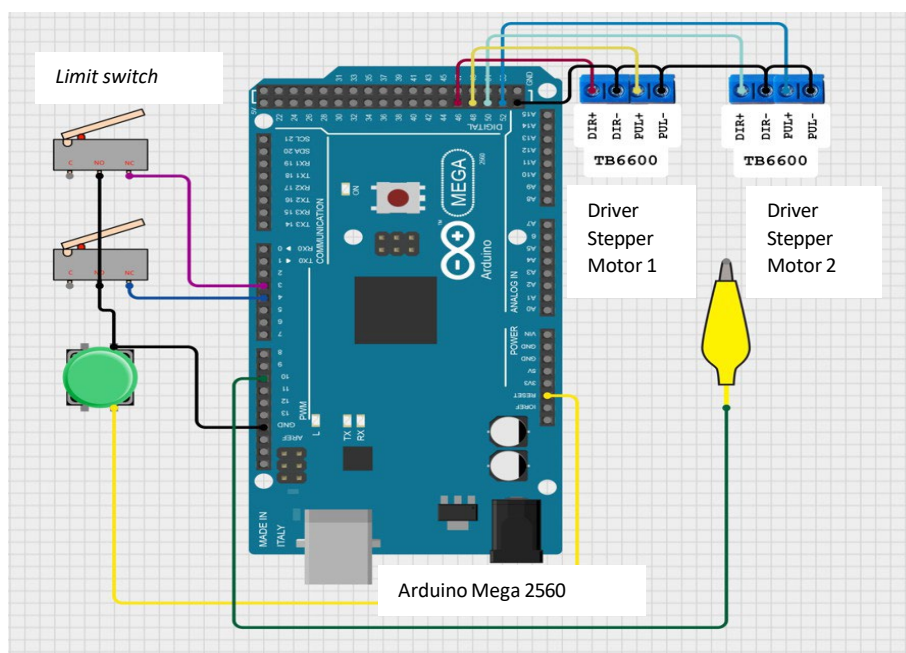
Gambar 6. Bagian Penggulung Filamen (a) Tampak Isometri dari Atas, (b) Tampak Isometri dari Bawah

Motor stepper terhubung dengan gear kecil yang kemudian torsiya diperbesar dengan gear besar. Torsi yang besar ini dibutuhkan untuk menarik filamen yang keluar dari bagian pemanas. Pada bagian atas akan terdapat tempat meletakkan gulungan pada bagian bawah terdapat sensor *load cell* yang akan menghentikan sistem jika target berat gulungan telah tercapai. *Microcontroller* yang digunakan pada alat ini ada 2, yaitu Arduino mega dan Arduino nano. Arduino mega berfungsi untuk mengontrol gerakan *motor stepper* pada bagian penarik *strip*, bagian pemanas, dan bagian pengarah otomatis. Arduino nano berfungsi untuk mengontrol gerakan dari mesin penggulung, sistem *load cell*, layar LCD, dan tombol-tombol yang digunakan untuk proses *setting*. *Wiring diagram* sistem arduino Mega untuk penarik *strip* dapat dilihat pada Gambar 7. *Wiring diagram* sistem Arduino Mega untuk pengarah otomatis dapat dilihat pada Gambar 8. *Wiring diagram* untuk sistem Arduino Mega untuk bagian penggulung termasuk dengan sistem *load cell*-nya dan layar serta tombol untuk pengaturan dapat dilihat pada Gambar 9.

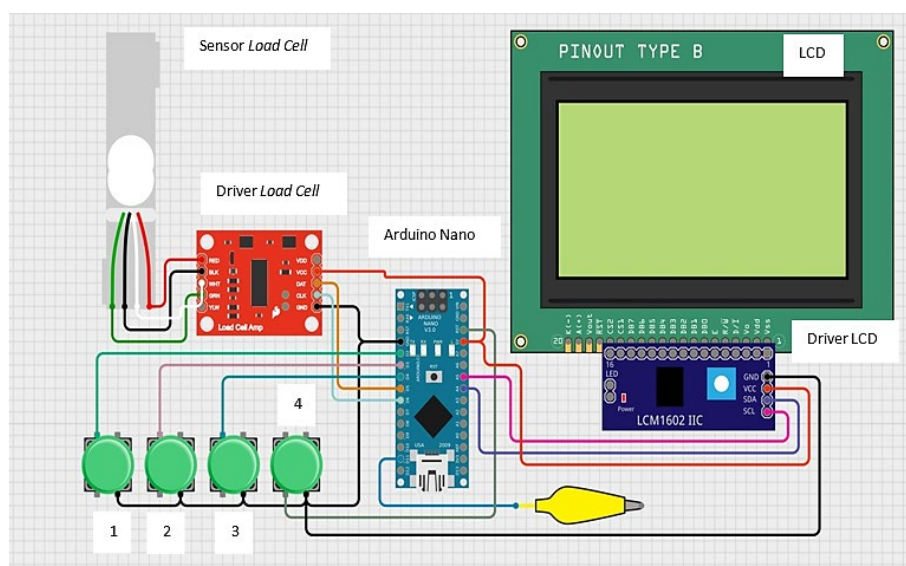
Gambar mesin pembuat filamen secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10. Dapat terlihat bahwa hasil mesin tidak jauh berbeda dengan desain awal pada Gambar 5. Hasil dari penggulangan dapat dilihat pada Gambar 11. Melalui gambar ini dapat dilihat bahwa hasil gulungan dapat rapi dan tidak menumpuk pada satu sisi saja. Untuk menguji apakah filamen dapat digunakan menjadi material untuk proses 3D printing FDM, maka dilakukanlah printing dengan model kubus. Hasil printing dapat dilihat pada Gambar 12. Hal ini menunjukkan bahwa filamen dapat digunakan menjadi material untuk proses 3D printing FDM.



Gambar 7. *Wiring Diagram* untuk Sistem Penarik Strip



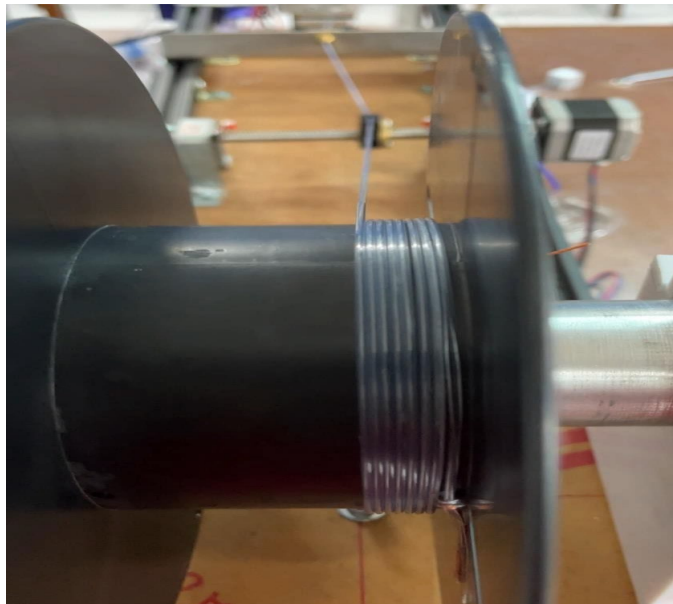
Gambar 8. *Wiring Diagram* untuk Sistem Pengarah Otomatis



Gambar 9. *Wiring Diagram* untuk Sistem Penggulung, Load Cell, Layar dan Tombol



Gambar 10. Mesin Pembuat Filamen Berbahan Dasar Botol Plastik PET Bekas



Gambar 11. Hasil Gulungan Filamen Berbahan Dasar Botol Plastik PET Bekas



Gambar 12. Hasil Cetak 3D dengan Menggunakan Filamen Berbahan Dasar Botol Plastik PET Bekas

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil 3D printing menggunakan filamen berbahan dasar botol plastik PET bekas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan filamen berbahan dasar botol plastik PET bekas dapat dilakukan. Melalui hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan harapan. Mesin yang didesain dapat menggulung filamen secara rapi dan otomatis serta dapat berhenti secara otomatis jika berat yang dimasukkan ke sistem telah tercapai. Hal ini memungkinkan kedepannya plastik yang digunakan dalam proses printing FDM dapat menggunakan bahan dasar PET yang berasal dari botol plastik bekas. Hal ini tentunya juga akan membantu dalam menyelamatkan lingkungan dari polusi yang dihasilkan dari sampah botol plastik bekas berbahan dasar PET.

PENGAKUAN

Tim penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Petra terkhusus Program Studi Teknik Mesin dibawah Fakultas Teknologi Industri yang telah memberikan dukungan berupa infrastruktur yang memadai dalam proses pembuatan penelitian ini. Penelitian ini dilakukan secara oleh tim penulis secara mandiri dan tidak mendapat bantuan dana dari organisasi manapun sehingga konflik kepentingan dapat diabaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.M. Joseph, S. Azat, Z. Ahmadi, O. Jazani, A. Esmaeili, J. Haponiuk, S. Thomas, "Polyethylene Terephthalate (PET) recycling: A review", *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, pp. 1-16, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100673>
- [2] J.N. Cruz, K. D. Martinez, A.D. Zavariz, I.P. Hernández, "Review of the thermochemical degradation of PET: An alternative method of recycling", *Journal of Ecological Engineering*, vol. 23, no. 9, pp. 319-330, 2022, doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/151766>
- [3] S. Chairat & S.H. Gheewala, "Life cycle assessment and circularity of polyethylene terephthalate bottles via closed and open loop recycling", *Environmental Research*, vol. 236, no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116788>
- [4] N.L. Zahra, I.Y. Septiariva, A. Sarwono, F.D. Qonitan, M.M. Sari, P.C. Gaina, K.K. Ummatin, Q.A.M.O. Arifianti, N. Faria, J.W. Lim, S. Suhardono, and I.W.K. Suryawan, "Substitution of garden and Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste as Refused Derived Fuel (RDF)", *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 2, pp. 523-532, 2022, doi: [10.14710/ijred.2022.44328](https://doi.org/10.14710/ijred.2022.44328)
- [5] S.M. Mawaddah, M. Chalid, S.A. Maulidina, C.K. Ashanti, A.F. Nugraha, "Post-consumer recycling of polymers for sustainable 3D printing filament material", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 22, no. 1, pp. 55-66, 2023, doi: [10.55981/jsmi.707](https://doi.org/10.55981/jsmi.707)
- [6] M.B. Seibert, G.A.M. Capote, M. Gruber, W. Volk, T.A. Osswald, "Manufacturing of a PET filament from recycled material for Material Extrusion (MEX)", *Recycling*, vol. 69, no. 7, pp. 1-20, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/recycling7050069>
- [7] D. Acierno & A. Patti, "Fused Deposition Modelling (FDM) of thermoplastic-based filaments: Process and rheological properties - an overview", *Materials*, vol. 16, pp. 1-23, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ma16247664>
- [8] H. Abdillah & Ulikaryani, "Aplikasi 3D printer Fused Deposite Material (FDM) pada pembuatan pola cor", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 110-115, 2019, doi: <https://doi.org/10.24853/sintek.13.2.110-115>
- [9] D. Mardiyana, Z. Sulaiman, S. Ihsan, F. Ridha, T. Rahman, "Rancang bangun 3D printer FDM model cartesian berbasis Arduino", *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, vol. 7, no. 1, pp. 63-72, 2023, doi: <https://doi.org/10.18196/jmpm.v7i1.16866>
- [10] H. Schneevogt, K. Stelzner, B. Yilmaz, A. Klunker, C.V. Ilmecke, "Sustainability in additive manufacturing: exploring the mechanical potential of recycled PET filaments", *Composites and Advanced Materials*, vol. 30, pp. 1-8, 2021, doi: [10.1177/26349833211000063](https://doi.org/10.1177/26349833211000063)
- [11] I. Azami, P. Kurniasih, Subuhiah, A. Amantha, N. Habiiburrahman, N.H. Sari, "Filamen printer 3D Berbasis limbah PET (Polyethylene Terephthalate) dan kitosan cangkang udang", *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 82-87, 2024, doi: <https://doi.org/10.29303/dtm.v14i1.759>

- [12] H.A. Latif, M.G.D. Jatiningsih, I.A. Rosid, G.S. Dewi, "Optimasi multi parameter mesin 3D Printer FDM untuk material *Thermoplastic Polyurethane* guna menghasilkan *error* dimensi terkecil menggunakan metode 2^k factorial design", *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 41-49, 2024, doi: <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v12i1.27105>
- [13] M.K.J.E. Exconde, J.A.A. Co, J.Z. Manapat, E.R. Magdulayo, Jr, "Materials selection of 3D printing filament and utilization of recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in redesign breadboard", *29th CIRP Design*, pp. 28-32, 2019, doi: [10.1016/j.procir.2019.04.337](https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.337)
- [14] M. Nikam, P. Pawar, A. Patil, A. Patil, K. Mokal, S. Jadhav, "Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic", *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-11, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.205>
- [15] A.N. Fauza, F. Qalbina, H. Nurdin, Ambiyar, Refdinal, "The influence of processing temperature on the mechanical properties of recycled PET fibers", *Teknomekanik*, vol. 6, no. 1, pp. 21-28, 2023, doi: <https://www.doi.org/10.24036/teknomekanik.v6i1.21472>