

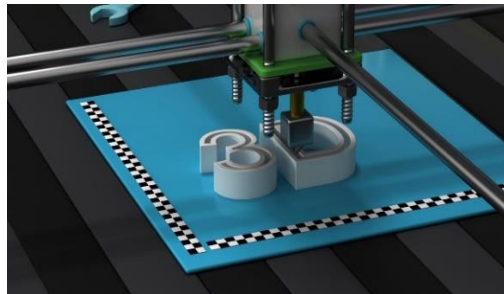
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Definisi 3D *printing*

3D *printing* atau pembuatan cetak 3 dimensi merupakan bagian dari *additive manufacturing*. Alat untuk membuat benda 3 dimensi dari file digital tersebut merupakan mesin 3D *Printer*. *Additive* merupakan suatu proses dari penciptaan objek 3D *printing* ini. Pada saat proses pembuatan secara *additive*, sebuah objek dibuat dengan cara meletakkan lapisan tipis secara berurutan sampai objek tersebut terbentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Masing-masing dari lapisan tersebut dapat dilihat sebagai potongan melintang *horizontal* yang diiris tipis dari sebuah objek yang pada akhirnya membentuk benda 3D (Ardiyanto, 2021). Proses 3D *printing* terbagi menjadi 3 bagian yaitu, *make 3D model*, *printing process* dan *finishing process*.



Gambar 2.1 3D *Printer*
(Zakaria, 2020)

2.1.2. Filamen 3D *printing*

Filamen merupakan material yang dapat digunakan untuk membuat produk 3 dimensi (Ghifari et al., 2022). Ukuran diameter filamen yang sesuai dengan standar kebutuhan pasar adalah 1.75 mm, namun ada juga 3D *printer* rakitan yang memakai filamen dengan ukuran diameter 3 mm. Material yang digunakan membuat 3D *printer* merupakan *thermoplastic* yang memiliki sifat tangguh, kuat serta mudah dibentuk. Semakin kuat dan bagus bentuk benda yang dihasilkan oleh filamen maka semakin tinggi pula kualitas filamen tersebut. Pada saat ini filamen

yang umum dijual di pasaran terbuat dari *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), dan *polylactide* (PLA) (Tondi, 2019).



Gambar 2.2 Filamen 3D *Printer*
(Febriati, 2020)

2.1.3. Jenis-jenis bahan 3D *printing*

Berikut merupakan jenis-jenis 3D *printing* menurut Mawardi, 2020 didalam bukunya yang berjudul Pengantar 3D *Printing*:

a. PLA/PLA⁺

Polylactic Acid (PLA) merupakan polimer termoplastik yang dibuat dari sumber daya terbarukan, khususnya tebu dan pati jagung. Hal inilah yang membuat PLA lebih ramah lingkungan daripada jenis filamen lain, yang terbuat melalui cara yang tidak dapat diperbaharui. Diantara PLA dan PLA⁺ tidak ada perbedaan yang signifikan, hanya saja PLA⁺ lebih cenderung memiliki kualitas permukaan, warna, atau sifat mekanis yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan PLA. Beberapa objek yang dapat dicetak dengan ideal menggunakan bahan PLA/PLA⁺ adalah *case electronic*, *part* mekanik robot, *action figure*, *part prototype* produk, dan lain-lain.

b. ABS/ABS⁺

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) merupakan salah satu bahan cetak 3D yang paling umum. Salah satu jenis termoplastik yang digunakan pertama kali dalam proses pencetakan ekstrusi memiliki sifat mekanik yang baik, tahan terhadap suhu tinggi, dan harga yang terjangkau. Karena banyak produsen filamen yang memproduksi bahan ini, bahan ini tersedia dalam berbagai bentuk dan warna. Walaupun polimer memiliki keunggulan, pasti memiliki sejumlah kekurangan. Salah satu masalah yang dihadapi oleh pengguna baru saat mencoba untuk mencetak dengan ABS adalah masalah

penyusutan saat pendinginan. ABS⁺ dikembangkan untuk mengurangi masalah sensitivitas terhadap penyusutan dan keriput pada ABS, serta mempertahankan sebagian besar keunggulan kinerja yang dimiliki ABS. Beberapa objek yang mampu dan ideal untuk dicetak dengan ABS/ABS⁺ adalah *case electronic*, pegangan perkakas, sambungan perabot rumah tangga, mainan, dan lain-lain.

c. *Polyethylene Terephthalate (PET) / G (Glycol Modified)*

PET-G (*polyethylene terephthalate glycol-modified*) merupakan filamen 3D *printing* termoplastik yang banyak digunakan, karena memiliki keseimbangan yang baik antara kekuatan tarik dan perpanjangan, serta tahan terhadap air, panas, dan bahan kimia. PET-G juga sering digunakan untuk membuat prototipe dan alat fungsional. Karena filamen ini kuat, cocok digunakan untuk mencetak bagian yang harus diterapkan dengan tekanan tinggi, seperti sambungan *snap-fit*, *jig*, dan peralatan lainnya. Suhu *extruder* untuk bahan ini antara 240 °C - 260 °C. Beberapa objek yang cocok dan ideal untuk dicetak dengan PETG meliputi *part* mekanik robot, *part upgrade 3D printer*, komponen pelindung, dan lain-lain.

d. Nilon

Nilon merupakan jenis *polyamide* yang sering digunakan dalam varian PA 11 dan PA 12. Nilon adalah bahan yang sangat kuat dan tahan lama, serta memberikan fleksibilitas pada dinding tipis. Karena memiliki titik leleh tinggi dan koefisien gesekan yang rendah, nilon sering digunakan untuk mencetak roda gigi fungsional. Sifat penting lainnya dari nilon adalah bersifat higroskopik, yang artinya ia menyerap kelembapan. Sifat ini dapat membantu dalam proses *post-processing* dengan pewarna kain dan cat semprot untuk mengubah estetika akhir produk. Namun, sifat ini juga dapat membuatnya mudah menyerap kelembapan dari udara, yang dapat mempengaruhi kinerjanya. Contoh objek yang ideal untuk dicetak dengan nilon adalah perkakas ringan, *part* mekanik, prototipe produk, dan lain-lain.

e. TPE/TPU/TPC

Thermoplastic Elastomers (TPE) merupakan jenis filamen yang

memiliki sifat seperti karet, yaitu tekstur yang lembut, kelenturan yang baik dan ketahanan yang lama. Namun, TPE lebih sulit dicetak dibandingkan dengan ABS atau PLA. *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) merupakan varian TPE yang lebih kaku, sehingga lebih mudah dicetak dan lebih tahan terhadap suhu dingin. Sedangkan *Thermoplastic Copolyester* (TPC) juga merupakan varian TPE yang memiliki kekuatan yang sangat baik terhadap zat kimia, sinar UV, dan suhu panas yang tinggi (hingga 150°C). Beberapa objek yang tidak cocok untuk menggunakan TPE, TPU, atau TPC sebagai filamen adalah objek yang membutuhkan tekstur keras dan kuat. Namun, mereka sangat cocok digunakan untuk mencetak barang yang membutuhkan elastisitas, seperti *softcase handphone*, perangkat *wearable*, atau mainan anak-anak.

f. *Polycarbonate* (PC)

Filamen *Polycarbonate* (PC) merupakan bahan yang kuat, tahan lama dan tahan panas. *Polycarbonate* (PC) ini memiliki sifat yang berbeda dari beberapa al dengan filamen lain seperti PLA. PC lebih fleksibel daripada PLA tetapi kurang dari nilon. PC ini lebih keras daripada ABS, PLA atau PMMA dan kurang padat serta lebih ringan daripada ABS. Kemampuannya untuk menahan tekanan torsi lebih unggul dari termoplastik lainnya dan cukup fleksibel untuk dapat ditebuk oleh mesin pada suhu kamar. Contoh objek yang ideal dicetak dengan PC adalah komponen elektronik, komponen otomotif, bagian mesin, dan lain-lain.

g. *Wood*

Filamen kayu merupakan bahan filamen yang terdiri dari campuran PLA dan serat kayu. Ini menyebabkan cetakan akhir lebih halus daripada PLA biasa dan lebih mudah pecah. Namun, dengan teknologi filamen kayu terbaru, objek cetakan 3D dapat terlihat, terasa, dan berbau seperti kayu asli. Keuntungan dari filamen kayu adalah kelenturannya yang lebih besar daripada PLA biasa. Beberapa objek yang mampu di cetak dengan *wood filament* adalah patung/*action figure*, dekorasi rumah, aksesoris *furniture*, dan lain-lain.

h. *Metal*

Filamen *metal* tidak terbuat dari bahan logam murni, akan tetapi dari

Campuran filamen ABS/PLA dan dari serbuk logam tertentu. Sehingga menghasilkan tampilan *glossy* yang mirip dengan logam asli. Beberapa varian yang umum ditemukan di pasaran termasuk perunggu (*bronze*), kuningan (*brass*), tembaga (*copper*), aluminium (*aluminum*), dan *stainless steel*. Perbandingan campuran antara PLA/ABS dan serbuk logam biasanya sekitar 50%, tetapi ada juga beberapa merek yang menggunakan perbandingan 85% serbuk logam. Beberapa objek yang baik untuk dicetak dengan *metal filament* adalah patung/*action figure*, dekorasi rumah, aksesoris *furniture*, dan lain-lain.

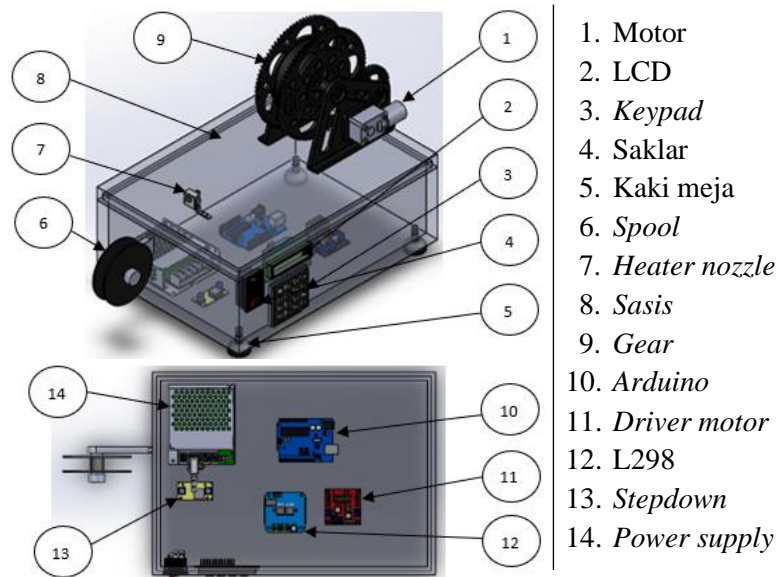
i. *Polyvinyl Alcohol* (PVA)

Polyvinyl Alcohol (PVA) merupakan filamen polimer sintesis yang dibentuk dengan mempolimerisasi *vinyl asetat*, kemudian dihidrolisis untuk membuat filamen PVA untuk cetak 3D. *Polyvinyl Alcohol* ini memiliki tampilan putih tembus pandang, tahan terhadap minyak dan pelarut serta memiliki sifat perekat yang sangat baik. PVA ini juga memiliki tingkat kelenturan dan kekuatan yang tinggi.

2.1.4. *Pultrusion*

Pultrusion adalah proses manufaktur untuk memproduksi profil komposit dengan menarik serat melalui matriks resin yang dipanaskan dan ditekan. Hasil akhir adalah profil komposit yang kuat dan tahan lama, dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Metode *pultrusion* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan filamen, karena menghasilkan tingkat diameter filamen yang beragam (Minchenkov, et al., 2021).

Tujuan pembuatan alat ini adalah untuk memproduksi filamen dengan diameter yang konsisten dan dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan. Dalam hal ini, alat *pultrusion* dimodifikasi dan dikembangkan untuk memproduksi filamen, yang kemudian dapat digunakan untuk pencetakan 3D dan berbagai aplikasi lainnya. Dengan menggunakan alat *pultrusion* untuk membuat filamen, produsen dapat memproduksi filamen dengan biaya yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih tinggi daripada menggunakan metode produksi lain.

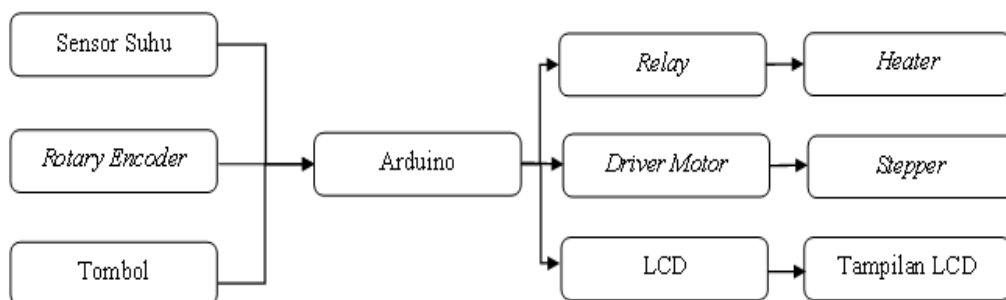


Gambar 2.3 Desain Mesin *Pultrusion*

Berikut ini merupakan prinsip kerja dari mesin *pultrusion*:

a. Prinsip kerja mesin *pultrusion*

Sebelum membahas mengenai prinsip kerja mesin *pultrusion*, berikut ini merupakan penjelasan mengenai perangkat yang mengontrol segala proses kerja mesin *pultrusion* ini:



Gambar 2.4 Diagram *Block Controller*

Keterangan:

1. Sensor Suhu

Sensor suhu adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor suhu digunakan

untuk mengontrol suhu pada *nozzle*. Hal ini penting untuk memastikan suhu yang tepat agar filamen keluar dalam kondisi yang baik.

2. *Rotary Encoder*

Rotary Encoder adalah sebuah sensor yang mengukur rotasi atau perputaran suatu obyek dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. *Rotary encoder* digunakan untuk mengukur posisi *stepper motor* dan menjaga ketepatan dan konsistensi dari gerakan mesin cetak. Ini penting untuk memastikan kecepatan proses *pultrusion* yang konsisten.

3. Tombol

Tombol adalah sebuah perangkat input yang digunakan untuk mengirimkan sinyal elektrik ke *microcontroller*. Tombol digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk mengontrol mesin cetak, mengubah pengaturan, mengubah kecepatan atau suhu cetak, dan sebagainya.

4. *Arduino Uno*

Arduino Uno adalah sebuah *microcontroller open-source* yang sering digunakan dalam proyek elektronik dan mesin cetak 3D. *Arduino* berfungsi sebagai otak dari mesin *pultrusion* ini yaitu untuk mengatur dan mengendalikan berbagai komponen seperti motor, sensor, dan *heater*.

5. *Relay*

Relay adalah sebuah saklar elektromagnetik yang digunakan untuk mengontrol arus listrik pada perangkat-perangkat seperti motor, *heater*, dan lainnya. *Relay* digunakan untuk mengontrol daya yang masuk ke komponen seperti *heater* pada tempat cetak dan motor.

6. *Driver Motor*

Driver motor adalah sebuah komponen yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dan arah putaran motor. *Driver motor* digunakan untuk mengontrol putaran *stepper motor*.

7. LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah layar tampilan yang menggunakan kristal cair untuk menampilkan informasi. LCD digunakan untuk menampilkan informasi seperti suhu tempat cetak, kecepatan cetak, dan pesan kesalahan.

8. *Heater*

Heater adalah sebuah komponen yang digunakan untuk memanaskan tempat cetak. *Heater* digunakan untuk memanaskan tempat, hal ini penting untuk memastikan plastik dalam kondisi yang tepat saat akan diproduksi.

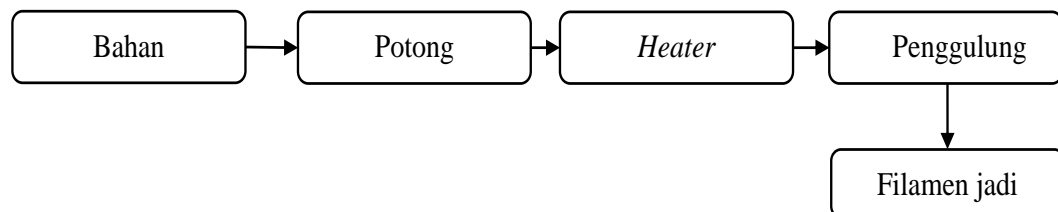
9. *Stepper*

Stepper adalah sebuah jenis motor yang memiliki posisi yang dapat dikontrol secara presisi. *Stepper motor* digunakan untuk menggerakkan tempat cetak untuk menghasilkan produk cetakan.

10. Tampilan LCD

Tampilan LCD adalah layar yang digunakan untuk menampilkan informasi dan antarmuka pengguna. Tampilan LCD digunakan untuk menampilkan informasi seperti suhu tempat cetak, kecepatan cetak, dan pesan kesalahan.

Berikut ini merupakan prinsip kerja dari mesin *pultrusion*:



Gambar 2.5 Diagram Proses Alat

Keterangan:

1. Bahan

Bahan baku dalam membuat filamen ini adalah limbah botol plastik jenis PET. Pada saat akan melakukan proses *pultrusion* ini pastikan limbah plastik telah dibersihkan terlebih dahulu.

2. Potong

Bahan kemudian dipotong-potong menjadi ukuran yang tepat menggunakan pisau potong pada mesin. Potongan dari bahan yang dihasilkan kemudian akan dimasukkan ke dalam *heater*.

3. *Heater*

Bahan dipanaskan di dalam *heater* hingga mencapai suhu yang tepat untuk proses *pultrusion* dalam membentuk limbah plastik menjadi filamen.

4. Penggulung

Setelah dipanaskan, bahan kemudian dimasukkan ke dalam *spindle* mesin dan didorong ke arah penggulung. Penggulung ini berputar untuk menarik bahan yang meleleh keluar dari *nozzle* dan membentuknya menjadi filamen plastik. Pastikan sistem penggulung yang digunakan dapat bekerja dengan stabil.

5. Filamen jadi

Filamen plastik yang sudah jadi kemudian siap digunakan dalam membuat komponen 3D. Pastikan apakah filamen hasil *pultrusion* ini telah sesuai dengan ukuran yang diinginkan dan telah ditentukan sebelumnya.

2.1.5. Definisi *nozzle*

Nozzle meruakan suatu komponen 3D *printer* yang difungsikan untuk melelehkan filamen, sehingga dapat memudahkan dalam membentuk suatu produk. *Nozzle* bekerja dengan mengerol filamen yang masih berbentuk padat dan saat pengerolan suhu pada *nozzle* akan meningkat yang pada akhirnya akan melelehkan filamen yang sebelumnya padat (Simamora, 2022). Hampir sama dengan *nozzle* yang ada pada mesin 3D *printer*, *nozzle* yang ada pada mesin *putrusion* ini juga digunakan untuk melelehkan plastik untuk akhirnya menjadi filamen. *Nozzle* bekerja dengan mengerolpalstik yang masih berbentuk lembaran dan pada saat pengerolan suhu pada *nozzle* juga akan meningkat dan akan membentuk filamen yang bisa digunakan untuk bahan 3D *printer*.



Gambar 2.6 *Heater Nozzle*

2.1.6. Temperatur dan kecepatan

Temperatur adalah ukuran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer (Putri dan Suprpto, 2019). Suhu digunakan untuk mengukur energi kinetik rata-rata dari partikel-partikel dalam benda, dan dinyatakan dalam skala seperti *celsius*, *fahrenheit*, atau *kelvin*. Semakin tinggi suhu suatu benda, semakin tinggi energi kinetik rata-rata dari partikel-partikel dalam benda tersebut.

Kecepatan adalah kemampuan untuk melakukan gerakan-gerakan yang sejenis secara berturut-turut dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, atau kemampuan menempuh jarak dalam waktu sesingkat-singkatnya. Rpm (*Revolution Per-Minute*) adalah ukuran dari kecepatan rotasi suatu objek berputar. Dalam mesin, Rpm biasanya digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros utama (*crankshaft*). Rpm mengukur jumlah putaran yang dilakukan suatu objek dalam satu menit, sehingga semakin tinggi nilai rpm, semakin cepat objek tersebut berputar.

Speed dan *temperature speed* menentukan kecepatan pergerakan mesin dalam mencetak. Kecepatan cetak ini harus menyesuaikan kualitas 3D *printer* yang digunakan. Temperatur (°C) menentukan temperatur dan *nozzle* pada ujung cetak dan alas cetak. Pengaturan ini biasanya menyesuaikan dari material cetak yang akan digunakan (Ardiyanto, 2021).

2.1.7. Regresi *non-linear*

Regresi *non-linear* ialah bentuk hubungan atau fungsi di mana variabel bebas X dan atau variabel terikat Y dapat berfungsi sebagai faktor atau variabel dengan pangkat tertentu. Selain itu, variabel bebas X dan atau variabel terikat Y dapat berfungsi sebagai penyebut (fungsi pecahan), maupun variabel X dan atau variabel terikat Y dapat berfungsi sebagai pangkat fungsi eksponen. Macam-macam regresi *non-linear* adalah model kuadrat, model parabola, model eksponensial, model parabola kubik, model hiperbola, model geometrik, dan model logistik (Nawari, 2010).

2.2. Kajian Pustaka

Dalam menyelesaikan sebuah penelitian, dibutuhkan beberapa penelitian sebelumnya, sebagai sebuah referensi untuk di observasi. Berikut merupakan beberapa referensi yang berkaitan:

Penelitian yang dilakukan oleh Rasid, M., Suparjo, Dodi, T., Homzah, O. F., & Ma'arif S. (2022), mengenai "Analisa Pengaruh Kemiringan Sudut *Screw Extruder* Pada Proses Pembuatan *Filament 3D Printer* Pada Mesin Ekstrusi *Single Screw*", didapatkan kesimpulan bahwa pada variasi kemiringan sudut *screw extruder* adalah 0° , 10° , 15° , 20° dan 25° . Suhu, kecepatan penarik, dan kecepatan ekstrusi adalah konstan didapat hasil sebagai berikut, bahwa setiap penambahan kemiringan sudut *screw extruder* berbanding lurus terhadap diameter filamen hasil ekstrusi. Hal ini juga berarti bahwa pada setiap penambahan kemiringan sudut *screw*, maka *outflow* yang dihasilkan juga yang semakin tinggi. Diameter filamen terkecil didapatkan dari *screw* dengan sudut *helical* 0° , dimana diameter rata-rata filamen adalah 0.9 mm. Diameter paling besar didapatkan dari *screw* dengan sudut *helical* 25° . Diameter rata-rata filamen adalah 1.86 mm. Hal ini disebabkan karena pada *screw* 0° tidak terdapat tekanan dari *screw* pada saat pencetakan filamen.

Penelitian yang dilakukan oleh Taufik, M., Lubis, G. S., & Ivanto, M. (2023), mengenai "Rancang Bangun Mesin *Pultrusion* Pembuat Filamen *3D Printing* Berbasis Limbah Plastik Botol PET", dalam penelitiannya mesin *pultrusion* pembuatan filamen tersebut menggunakan blok pemanas serta motor *stepper* yang dikontrol langsung oleh perangkat *Arduino*. Tujuan dari penggunaan perangkat ini untuk mengetahui serta mendapatkan indikator terbaik dalam proses mesin *pultrusion* yang akan dilakukan dalam satu kendali perangkat *Arduino*. Sistem pemanas mesin *pultrusion* pembuat filamen diatur dengan kisaran suhu 0°C – 270°C , sedangkan kecepatan penggulangan diatur dalam 10 - 40 rpm pada perangkat *Arduino*. Mesin *pultrusion* tersebut dapat memproduksi filamen dengan hasil rata-rata pengukuran diameter sebesar 1.72 mm dengan suhu 250°C dan kecepatan penggulangan 30 rpm.

Penelitian yang dilakukan oleh Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y. (2022), mengenai "Analisis Pengaruh Tingkat Kelembaban Filamen PLA Terhadap Nilai

Kekuatan Mekanik Hasil Cetak 3D *Printing*”, didapatkan kesimpulan data rata-rata hasil pengujian tarik dan bending dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur *nozzle* pada proses pencetakan spesimen pengujian tarik dan bending berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik (tegangan maksimum) dan kekuatan bending (*flexural modulus*) yang dihasilkan. Hal tersebut berkaitan dengan kualitas ikatan antar layer yang terjadi pada objek cetak. Berdasarkan analisa hasil kekuatan tarik diketahui bahwa temperatur *nozzle* 200°C menghasilkan nilai tegangan maksimum yang paling tinggi diantara ketiga variasi temperatur *nozzle* yang digunakan. Sementara pada nilai *flexural modulus* dari pengujian bending, nilai paling tinggi dihasilkan pada temperatur *nozzle* 210°C.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanafi, A. F., Finali, A., & Eko, R. (2021), mengenai ”Analisis Pengaruh *Temperature Extruder* dan *Heat Bed* 3D Printer Tipe *Fused Deposition Modelling* (FDM) Berbahan PLA+ Terhadap Kekuatan Mekanik Produk”, menyatakan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kekuatan tertinggi ditemukan pada sampel dengan variasi temperatur *extruder* 225°C dan temperatur *bed* 70°C dengan nilai kekuatan sebesar 32,51 N/mm². Nilai regangan tertinggi ditemukan pada sampel uji dengan temperatur *extruder* 215°C dan temperatur *bed* sebesar 70°C dengan nilai regangan 0,078. Temperatur *extruder* dan temperatur *bed* pada mesin 3D *printer* berpengaruh terhadap kekuatan material. Semakin tinggi temperatur *extruder* dan *bed* maka kekuatan material akan semakin tinggi pula, akan tetapi temperatur *extruder* dan *bed* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap regangan material.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanafi, Sujana, I., Wicaksono, R. (2022), mengenai ”Rancang Bangun Alat *Extruder* dengan Pemanfaatan Limbah Plastik *Polypropylene* dan *Polyethylene Terephthalate* untuk Menghasilkan Filamen 3D *Printing*”, menyimpulkan pengujian pada *polypropylene* (PP) didapatkan bahwa temperatur terbaik untuk digunakan adalah 175°C karena diameter filamen yang dihasilkan lebih stabil dan memiliki warna bening keabuan, serta permukaan lebih halus. Sedangkan pada temperatur 185°C material *polypropylene* (PP) mengalami penyimpangan pada diameter, karena diameter yang dihasilkan mengalami pengecilan dan warna yang dihasilkan bening. Pengujian plastik *polyethylene*

terephthalate (PET) pada rentangan temperatur 220°C, 230°C, 240°C dan 250°C, didapatkan bahwa kualitas yang dihasilkan kurang baik pada rentangan temperatur ini, dengan diameter filamen yang tidak stabil. Oleh karena itu pengujian dengan plastik PET perlu adanya pengkajian ulang.

Dari *literature review* di atas, dengan tujuan untuk mencari referensi pengujian kualitas filamen dengan menggunakan mesin *pultrusion* di laporan skripsi ini, maka dapat disimpulkan beberapa perbedaan signifikan antara ajuan dan hasil kajian pustaka antara lain sebagai berikut:

- a. Pengujian ini menggunakan mesin *pultrusion* yang telah dikembangkan dengan menggunakan metode QFD dan DFMA.
- b. Pengujian ini menggunakan dua variabel bebas (temperatur *nozzle* dan kecepatan putar motor) dan variabel tetap (filamen).
- c. Pengujian ini pengolahan data dilakukan menggunakan analisa *non-linear*.