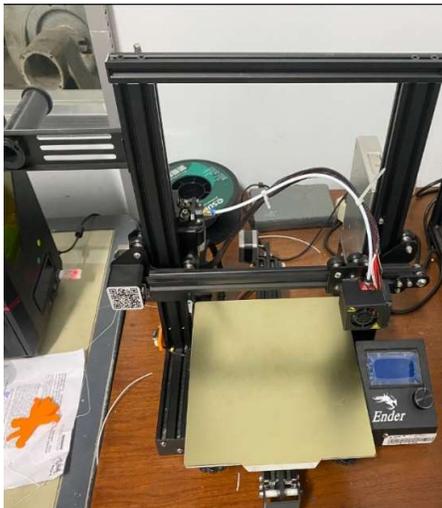


2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Mesin printer 3D pada gambar 2.1 merupakan alat pencetak yang mempunyai objek tiga dimensi berbeda yaitu dapat diamati, diukur, dan mempunyai volume. Model tiga dimensi dibangun lapis demi lapis menggunakan proses percetakan bertahap pada objek dimensi dari file digital. Dengan menggunakan proses aditif, suatu objek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut dari bahan sampai seluruh objek terbuat, sebagaimana penciptaan objek 3D dicetak.



Gambar 2.1 Alat 3D Printer Ender 3 Pro

Printer 3D merupakan perkembangan teknologi percetakan yang dapat membuat dan mendesain struktur canggih dalam satu objek. Percetakan 3D merupakan salah satu proses pembuatan Fused Deposition Modeling (FDM), atau Additive Manufacturing (AM), yaitu suatu sistem yang bekerja dengan menggabungkan material lapis per lapis menjadi satu untuk menghasilkan objek tiga dimensi. Penelitian ini akan menggunakan filamen thermoplastic polyurethane (TPU). Dari segi mekanik, filamen TPU ini memiliki modulus elastisitas yang baik. (Wibisono et al, 2020).

Proses pembuatan produk nyata dari model 3D dikenal dengan istilah pencetakan 3D. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan membuat setiap lapisan per lapisan ke bed atau alas printer 3D hingga diperoleh bentuk padat yang menyerupai model 3D. Umumnya

penggunaan pencetakan 3D adalah untuk menciptakan produk yang fleksibel. Ada dua jenis plastik fleksibel yang umum digunakan: poliuretan termoplastik (TPU) dan elastomer termoplastik (TPE). Thermoplastic Polyurethane (TPU) merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang sangat populer sebagai bahan baku proses Additive Manufacturing (AM) termasuk Fused Deposition Modeling (FDM). TPU, bahan yang tergolong hiperelastis, dicirikan oleh sifat biodegradable, biokompatibel, non-reaktif, serta kekuatan tarik dan perpanjangan yang tinggi hingga presentase mencapai 600. Banyaknya berbagai penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari lebih lanjut tentang karakteristik bahan TPU yang tidak diproduksi dengan teknik manufaktur FDM (Anggoro & Salim, 2021).

Salah satu tantangan teknologi pencetakan 3D dalam pencetakan bahan TPU dan TPE adalah perlunya kehati-hatian khusus saat mencetak bahan jenis tersebut. Karena sering terjadi kesalahan pada ekstruder. Selain itu, penelitian yang menggunakan filamen fleksibel di bidang diseksi aktuarial mempunyai potensi untuk berkembang lebih jauh. Pembuatan model 3D memerlukan waktu beberapa jam hingga beberapa hari, tergantung pada teknik yang digunakan, ukuran model, dan kompleksitasnya. Sistem Aditif biasanya memiliki waktu tunggu setengah jam, meskipun dapat bervariasi tergantung pada jenis mesin yang digunakan, ukurannya, dan jumlah model yang diproduksi secara terkoordinasi (Hasdiansah & Herianto, 2018)

Dibandingkan menggunakan mesin injection molding untuk produksi massal, penggunaan printer 3D sebagai prototipe memudahkan desainer dan pengembang dalam memproduksi komponen dan model prototipe. Selain itu berguna untuk meminimalisir kesalahan dalam desain produk sebelum diproduksi massal.

Untuk membuat suatu objek, Anda memerlukan model 3D digital, yang dapat diperoleh dengan memindai satu set atau objek 3D, atau dengan menggunakan software desain 3D seperti Inventor, AutoCAD, SketchUp, 3dsMax, Ultimaker CURA, dan lain-lain.

2.2 Thermoplastik Polyurethane

Termoplastik Polyurethane (TPU) (Gambar 2.2) merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang berkembang pesat dan dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada additive manufacturing (AM) Fused Deposition Modeling (FDM). TPU didefinisikan sebagai bahan yang bersifat biokompatibel dan mampu bertahan dalam kondisi keras tanpa kehilangan kemampuannya untuk diverifikasi sebagai hiperelastis. Selain itu, memiliki elastisitas tinggi dan kekuatan tarik hingga 600 persen. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mempelajari lebih

lanjut tentang karakteristik bahan TPU dibandingkan dengan teknik pembuatan FDM karena pesatnya pertumbuhan FDM.



Gambar 2.2 Filament TPU

Sumber: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcTkb3zZJZEiXemzL3xLdvEwwFjyo4CA5CqjrA&usqp=CAU>

2.3 PETG

Penggunaan perangkat keras PETG akan memberikan banyak keuntungan. Beberapa keunggulan ini adalah kekuatan yang sangat tinggi dan stabil dengan suhu tinggi. Produk ini juga tahan terhadap kontak dengan bahan kimia tertentu. Singkatnya, model 3D yang dihasilkan dari produk ini akan digunakan.

2.4 Prinsip Kerja Mesin 3D Printer FDM

Prinsip kerja pencetakan 3D adalah Printer 3D merupakan salah satu jenis peralatan prototyping berteknologi cepat. Ini didasarkan pada model file digital. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan bahan perekat seperti plastik atau bubuk logam untuk memisahkan lapisan satu demi satu.

Penerapan utama teknologi printer 3D adalah dalam pemindaian 3D. Metode pemindaian ini menggunakan teknologi desain berbantuan komputer (CAD) untuk memindai gambar digital dan mengirimkan informasinya ke printer 3D, yang akan memindai gambar dalam format terus menerus hingga kondisi objek. Ada berbagai jenis lapisan melengkung yang digunakan dalam pencetakan 3D (Cahyati & Satriawan, 2019).

Memang FDM sudah banyak digunakan dalam proses pencetakan 3D. Hal ini disebabkan oleh

kenyataan bahwa produk dapat diproduksi dengan biaya rendah, dengan dampak lingkungan minimal, dengan biaya kepemilikan rendah, mudah digunakan, dibuat prototipe, dan diproduksi (Setyawan & Ngadiyono, 2022).

Jenis printer 3D yang paling umum menggunakan prototyping cepat. Deposisi leburan disebut juga sekering deposisi, yaitu proses mengayak dan mengayak bahan-bahan yang terbuat dari lebur panas yang disaring dan dirangkai menggunakan nosel dengan nosel halus. Setelah bahan mentah dicairkan, bahan tersebut diekstraksi dari nosel dan ditempatkan pada panel fabrikasi atau diawetkan dari lapisan sebelumnya. Setelah bahan menjadi lebih padat dibandingkan bahan pengawet, suhu mulai menurun, dan produk akhir tiga dimensi (Ardiyanto et al, 2021).

2.5 Proses Printing Mesin 3D Printer

Secara umum ada 3 cara kerja mesin 3D printer:

- a. Model Objek 3D dapat dibuat dengan menggunakan perangkat lunak yang dirancang khusus untuk model definisi tinggi yang dapat dicetak dengan baik dari printer. Proses pemodelan objek 3D diekspor (disimpan) dalam format STL. Setiap aktivitas pencetakan 3D biasanya menggunakan file STL. Format file STL adalah format pemodelan 3D yang memungkinkan printer 3D melakukan tugas secara efisien dan efektif, seperti mentransfer objek dari lapisan ke cetakan. Setelah diekspor dalam format STL, langkah selanjutnya adalah mengatur parameter pencetakan. Mengatur parameter pencetakan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak sumber gratis yang tersedia online. Pada langkah ini, parameter pencetakan dapat diatur, seperti: kecepatan cetak, suhu, jenis pendukung, diameter filamen, aliran filamen, ketebalan lapisan, ketebalan dinding, ketebalan alas bawah dan atas, kepadatan lapisan, kecepatan cetak, dan suhu cetak. Output yang dihasilkan dari software Ultimaker Cura dalam bentuk file G-CODE yang kemudian dapat diproses oleh 3D printer (Lubis et al, 2021).
- b. Prosedur Pencetakan Setelah desain (GCODE) selesai, dapat langsung ditransfer ke printer 3D. Kemudian proses pemodelan dimulai; lamanya proses ini tergantung pada ukuran dan bentuk model. Proses pencetakan menggunakan prinsip lapisan aditif bersamaan dengan proses pemindaian 3D yang melibatkan pengukuran dan perakitan lapisan secara cermat untuk membuat model virtual yang kemudian secara otomatis dirakit untuk menghasilkan lembaran yang panjang dan tipis.
- c. Sentuhan akhir dapat menghilangkan beberapa komponen sisa yang mungkin disebabkan

oleh ukuran yang terlalu besar atau ukuran yang berbeda dari yang diinginkan. Teknik penyelesaian proses ini juga bisa menggunakan multiple material atau bahan lainnya.

2.6 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan (Cahyati & Satriawan, 2019)

Istilah "prototyping cepat" mengacu pada teknik untuk membuat prototipe suatu produk dengan cepat dengan memanfaatkan teknologi. Metode pembuatan prototipe cepat yang pertama disebut pemodelan deposisi menyatu, atau disingkat FDM. Mesin prototipe cepat yang awalnya merupakan ekstruder tunggal menggunakan sistem ekstrusi langsung akan ditingkatkan menjadi ekstruder ganda menggunakan ekstruder bowden. Peningkatan jumlah ekstruder akan dilakukan melalui beberapa pengerjaan ulang bagian dan penyesuaian desain, termasuk pemegang ekstruder dan gerakan perintah/kontrol. Perubahan posisi meja akan diakibatkan oleh penambahan beberapa bagian pada kemungkinan ekstruder, sehingga memerlukan leveling heatbed pada mesin yang dimodifikasi. Untuk memahami presisi dimensinya dan kekasaran permukaannya, maka dibuatlah benda uji. Dalam proses pembuatan uji tikungan, digunakan ketinggian lapisan yang berbeda—0,2 mm, 0,3 mm, dan 0,4 mm. Benda uji dengan tinggi lapisan 0,3 mm mempunyai kinerja dimensi terbaik dengan penyimpangan maksimum 0,1 mm. Perancangan dalam format STL terlebih dahulu, lalu ekspor ke GCODE menggunakan prosedur pencetakan. Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan pencetakan tiga dimensi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kualitas sampel dipengaruhi oleh tinggi lapisan, kepadatan isi, dan ketebalan atas/bawah pada pengaturan sempurna.

2.7 3D Printer Ender 3 Pro

- Teknologi pemodelan: FDM (pemodelan deodasi menyatu)
- Ukuran cetak: 220x220x250mm
- Kecepatan cetak: 180mm/S
- Filamen: 1.75mm PLA, TPU, ABS
- Mode kerja: Online atau SD offline
- Format File: STL,OBJ, g-code
- Perangkat keras Printer 3D FDM Ender-3
- Ukuran mesin: 440x440x465mm
- Berat bersih: 8KG

- Catu daya: 100-265V 50-60HZ
- Output: 24V 15A 270W
- Perangkat keras ekstruder pencetak 3D FDM Ender-3
- Ketebalan lapisan: 0.1-0.4mm
- Diameter nosel: 0.4mm
- Akurasi pencetakan: $\pm 0.1\text{mm}$
- Suhu nosel: 255 °C
- Suhu panas: 110 °C

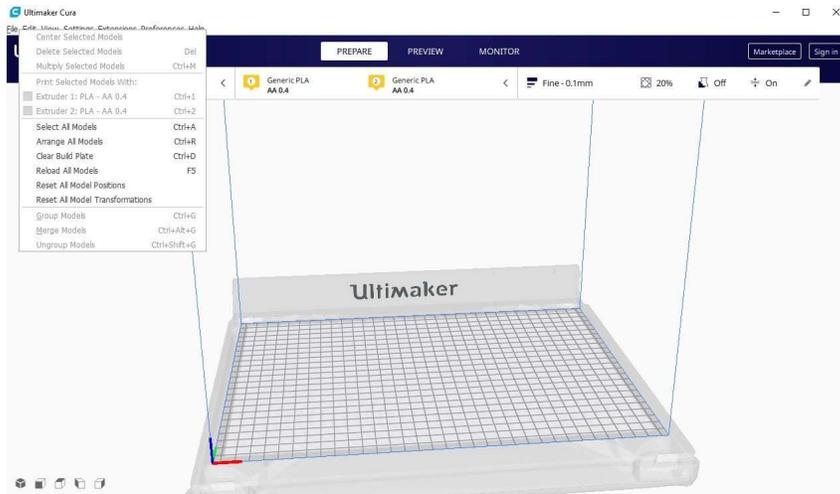


Gambar 2.3 Alat 3D Printer Ender 3 Pro

Sumber: <https://industri.unjaya.ac.id/wp-content/uploads/2023/05/image-21.png>

2.8 Ultimaker Cura

Ultimaker Cura adalah perangkat lunak pencetakan 3D yang dirancang untuk memanipulasi atau menggambar ulang desain dengan menjalankan proses pemotongan, yang mengubah desain menjadi lapisan individual. Proses selanjutnya menghasilkan g-code yang akan dicetak pada printer 3D. Software Ultimaker Cura yang ada pada gambar 2.5 sebagai berikut.



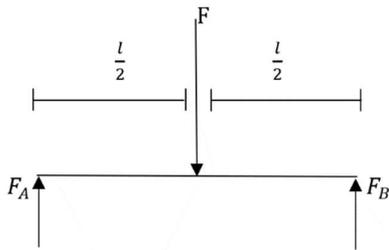
Gambar 2.4 Ultimaker Cura

Sumber: <https://imag.malavida.com/mvimgbig/download-fs/ultimaker-cura-25547-1.jpg>

Berikut beberapa pengaturan yang terdapat pada software Ultimaker Cura untuk mengatur model 3D print antara lain :

- Layer Thickness Untuk menyesuaikan tinggi setiap lapisan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Hasdiansah dan Herianto 2018), ketebalan lapisan 0,15 mm mempunyai elastisitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan ketebalan lapisan 0,10 mm dan 0,20 mm pada temperatur nozzle 205 °C, 210 °C, dan 215 °C.
- Wall Thickness Untuk menyesuaikan lapisan model dinding.
- Infill Density Untuk menilai performa model yang akan diuji. Semakin besar densitas pengisi yang digunakan, maka nilai kekuatan juga meningkat.
- Infill Pattern Untuk mengatur bentuk infill yang akan digunakan. Contoh pola infill yang terdapat pada software cura antara lain garis, segi enam, dan gyroid.
- Printing Temperature Untuk mengaktifkan fungsi yang diinginkan. Berdasarkan data sheet filamen TPU, disarankan menggunakan suhu 200°C hingga 230°C.
- Print Speed Untuk mengatur kecepatan keluar filamen saat mencetak menggunakan printer 3D. Berdasarkan penelitian (Pristiansyah et al., 2019), digunakan kecepatan pencetakan tidak lebih dari 50 mm/s untuk mencapai akurasi dimensi yang baik.
- Support Untuk memberikan bahan bantuan pada produk yang tidak kompatibel dengan bed printer atau bisa dikatakan melayang yang akan dibuat oleh mesin 3D print agar sesuai dengan model yang diinginkan.

2.9 Rumus Perhitungan Pemilihan Bearing Pada Holder Filamen



Gambar 2.5 Diagram Perhitungan Pemilihan Bearing terhadap Holder Filamen

Ket:

- Beban Total pada roller dan filamen= berat roller dan filamen (lb)
- Overhand distance = jarak antara filamen dengan bearing (in)
- Bearing = Static yang terjadi pada bearing (lb)

Ket:

$F_A = \text{Static Bearing A}$

$F_B = \text{Static Bearing B}$

$F = \text{Beban total pada roller dan filamen}$

$l = \text{Overhand distance}$

Rumus mencari static pada bearing:

$$F = F_1 + F_2$$

Persamaan Keseimbangan Momen

$$\Sigma m_A = 0$$

$$F_B \cdot l = F \cdot \frac{l}{2}$$

$$F_B = \frac{F}{2}$$

(2.1)

Persamaan Keseimbangan Gaya

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F = F_A + F_B$$

$$F = F_A + \frac{F}{2}$$

$$F_A = \frac{F}{2}$$

(2.2)

Perhitungan rumus diatas untuk mencari static yang terjadi pada Bearing A dan Bearing B sehingga hasil static yang terjadi pada Bearing A dan Bearing B dapat disesuaikan dengan batas maximal static pada spesifikasi Bearing yang digunakan pada holder filamen.

2.10 Rumus Mencari Energi Pada Hasil dari Proses Percetakan Spesimen

Untuk menghitung energi (E) dalam satuan joule jika diketahui waktu (t) dalam detik dan daya (P) dalam watt, Anda dapat menggunakan rumus berikut:

$$E = P \times t \quad (2.3)$$

Ket=

- E adalah energi dalam joule (J),
- P adalah daya dalam watt (W),
- t adalah waktu dalam detik (s).

Jadi, pada perhitungan energi untuk mengetahui mana yang lebih hemat adalah cukup mengalikan nilai daya dengan waktu yang diubah menjadi satuan detik untuk mendapatkan energi dalam satuan joule.

2.11 *Direct Extruder*

Pada printer 3D, *direct extruder* adalah jenis mekanisme ekstrusi dimana motor extruder diposisikan tepat di atas nosel. Pada sistem ini, filamen tertarik secara langsung oleh motor extruder masuk ke dalam nosel untuk dilelehkan dan mendapatkan hasil cetak 3D sesuai rancangan produk.

Fungsi utama *direct extruder* merupakan sumber kontrol aliran filamen yang diperlukan untuk membuat objek 3D. Motor extruder langsung pada nosel dapat memberikan kontrol yang lebih baik terhadap aliran filamen, kecepatan ekstrusi, dan tekanan dengan menempatkan motor extruder tepat di dekat nosel. Hal ini membuat pencetakan lebih akurat dan tepat.

Selain itu, *direct extruder* mempunyai kelebihan dalam hal kemampuannya bekerja dengan berbagai jenis filamen. Karena filamen diekstrusi secara langsung oleh motor ekstruder, ekstruder langsung dapat dengan mudah menyesuaikan suhu dan tekanan ekstrusi untuk berbagai jenis filamen. Dengan demikian, bisa menggunakan filamen yang fleksibel, lebih kaku, atau bahkan filamen dengan bentuk berbeda (Hoque et al, 2018).

Namun, ada juga beberapa kelemahan menggunakan *direct extruder*. Salah satu komponen utamanya adalah bobot tambahan pada carriage printer, yang kemungkinan dapat mempengaruhi kecepatan dan keakuratan gerakan sumbu X dan Y. Selain itu, karena kedekatan motor ekstruder dengan nosel, ada kemungkinan terjadi penumpukan panas di sekitar area cetakan.

Secara umum, *direct extruder* adalah pilihan yang baik untuk membuat objek 3D dengan keakuratan menggunakan berbagai jenis filamen. Namun, keputusan untuk menggunakan *direct extruder* atau jenis ekstruder lainnya pada akhirnya akan bergantung pada kebutuhan dan preferensi saat menggunakan printer 3D.

2.12 Klipper 3D Printer

Setiap printer 3D, bersama dengan banyak mesin kompleks lainnya, meluncurkan program khusus yang disebut firmware yang menghubungkan perangkat keras ke perangkat lunak. Untuk printer 3D, firmware diinstal pada motherboard. Firmware mengontrol perangkat elektronik yang terhubung, seperti sensor dan stepper, dengan menggunakan Gcode dari perangkat lunak untuk mengeprint model.

Saat ini, Marlin dapat dianggap sebagai paket firmware paling populer namun ada alternatif lain yang menawarkan tingkat penyesuaian berbeda. Firmware Klipper adalah program unik yang dirancang khusus untuk membantu meningkatkan kinerja pencetakan.

Klipper adalah firmware printer 3D yang bersifat open source dan dikembangkan oleh KevinOConnor di GitHub. Tidak seperti firmware printer 3D tradisional, Klipper dimaksudkan untuk bekerja dengan printer mainboard 3D bersama-sama dengan komputer desktop yang memungkinkan percetakan lebih cepat dan tepat.

Firmware menunjukkan beberapa sistem efisien yang akan beroperasi. Oleh karena itu, bahkan perangkat keras dan lunak yang kuat yang tidak disesuaikan dengan sistem juga berdampak negatif terhadap kinerja sistem. Klipper telah menunjukkan kemampuan memanfaatkan keras penangkap yang tahan lama dan membuatnya beroperasi lebih tepat.