

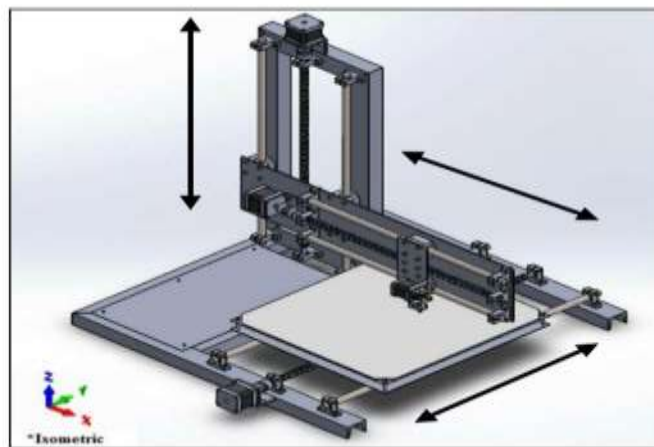
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 3D *Printing*

*Printer*3D adalah sebuah mesin yang mengubah sebuah model tiga dimensi yang dibuat di dunia maya menjadi benda yang dapat dipegang dan memiliki volume. Keunggulan dari 3D *printing* dibandingkan dengan jenis proses produksi yang lain adalah kemampuannya untuk membuat berbagai macam bentuk dengan materi sehingga bisa memproduksi benda atau sparepart yang tidak mungkin atau sulit dibuat dengan menggunakan proses produksi lainnya, 3D *printer* juga dapat mengurangi biaya produksi dikarenakan mesin 3D *printer* menggunakan bahan dan listrik seminimal mungkin sehingga ramah lingkungan. Hasil dari 3D *printing* menggunakan material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan nilon dapat diaplikasikan dalam pembuatan suku cadang pada kendaraan bermotor, contohnya ABS bisa digunakan untuk pembuatan body motor dan interior mobil dikarenakan polimer ABS memiliki tingkat kekakuan yang tinggi, ringan, durabilitas yang tinggi, dan tahan terhadap benturan, sedangkan nilon biasa digunakan untuk pembuatan rodagigi dan bantalan (*bushing*) dikarenakan nilon memiliki ketahanan tarik tinggi, ketahanan mulur, benturan, ketahanan suhu yang baik, karakteristik gesekan, elastisitas, dan keausan yang baik, maka dari itu pentingnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan dari hasil 3D *printing* dengan material tersebut untuk mengetahui apakah hasil 3D *printing* dengan material ABS dan Nilon tersebut layak untuk menjadi pengganti dalam fabrikasi suku cadang pada kendaraan bermotor. Untuk mengetahui kekuatan dari sebuah bahan perlu

dilakukan sebuah pengujian. Salah satunya dengan melakukan pengujian tarik terhadap material. Karena itu penelitian dilakukan untuk mencari tahu kekuatan tarik jenis patahan dari hasil proses 3D *printing* dengan filamen berbahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan nilon dengan melakukan pengujian tarik. (Wisnu Dimas1*, Budha Maryanti2, Kuswandi Arifin, 22)



Gambar 2.1 3D *printing*

(sumber: Mochammat 2017)

2.2 Prinsip Dasar 3D *Printing*

Teknologi semakin hari semakin berkembang dengan pesat, begitu juga dalam proses *printing* atau pencetakan yang mengenal teknik 3D. 3D *printing* adalah sebuah teknologi yang dapat menciptakan objek nyata yang sama dengan aslinya. 3D *printing* memberikan kemudahan kepada manusia dalam melakukan visualisasi. Teknologi ini ditemukan tahun 1984 oleh Charles Hull seorang insinyur Amerika. Dalam beberapa tahun ini, 3D *printing* atau yang biasa dikenal dengan sebutan manufaktur aditif, menjadi populer dan banyak digunakan di berbagai bidang. Adapun manfaat 3D *printing* antara lain yaitu:

1. Membantu dalam pembuatan prototipe sebelum produk diproduksi massal.
2. Menghemat waktu dan biaya untuk pengembangan produk baru.
3. Memberikan kebebasan untuk menciptakan sebuah desain produk.
4. Memberikan kesempatan untuk membuat kustomisasi produk.
5. Dalam bidang kesehatan, teknologi ini digunakan untuk mencetak organ dan tulang buatan.

2.3 Cara Kerja 3D *Printing*

Material yang digunakan dalam proses 3D *printing* cukup bervariasi, mulai dari bahan plastik, karet, keramik, hingga logam. Proses pencetakan dimulai dengan membuat model digital terlebih dahulu dengan *software* CAD (*Computer Aided Design*) atau bisa juga dengan *modeling software* yang serupa. Selanjutnya, model digital itu dapat dipecah menjadi lapisan demi lapisan yang kemudian akan dicetak secara bertahap menggunakan teknologi (3D *Printing*: Pengertian, Manfaat, dan Cara Kerjanya, 2023)

Selama operasi, 3D *printing* bergerak dengan presisi tinggi, menempatkan material secara bertahap sesuai dengan desain yang diinginkan. Biasanya, platform atau panggung tempat objek dicetak bergerak secara vertikal (sumbu Z), sementara kepala cetak bergerak secara horizontal (sumbu X dan Y) untuk menambahkan material dengan detail yang tepat. Proses ini terus berulang, membentuk lapisan hingga objek selesai dicetak.

2.4 *Printing Speed*

Printing speed adalah kecepatan dimana kepala pencetakan mengekstrusi filamen untuk membuat repretasi fisik dari model 3D. tergantung pada model dan filamen yang digunakan mungkin perlu menurunkan pencetakan pencepatan agar bisa mendapatkan cetakan berkualitas baik meningkatkan pencepatan pencetakan dapat membantu mendapatkan beberapa cetakan sedikit lebih cepat dari biasanya namun terlalu banyak pencetakan kecepatan dapat di mulai menghasilkan kualitas yang buruk dan kegagalan untuk mencetak model 3D.

2.5 Komponen – komponen Mesin 3D *Printing*

Menurut (Horvath, 2014) mesin 3D *printing* yang berbasis *fused deposition model* (FDM) memiliki beberapa komponen utama mesin seperti:

1. Filamen

Filamen merupakan bahan utama yang digunakan pada saat melakukan pencetakan 3D. Pada saat proses pencetakan berlangsung filamen akan dipanaskan sampai menjadi semi solid yang kemudian akan diekstrusi untuk membuat suatu produk.

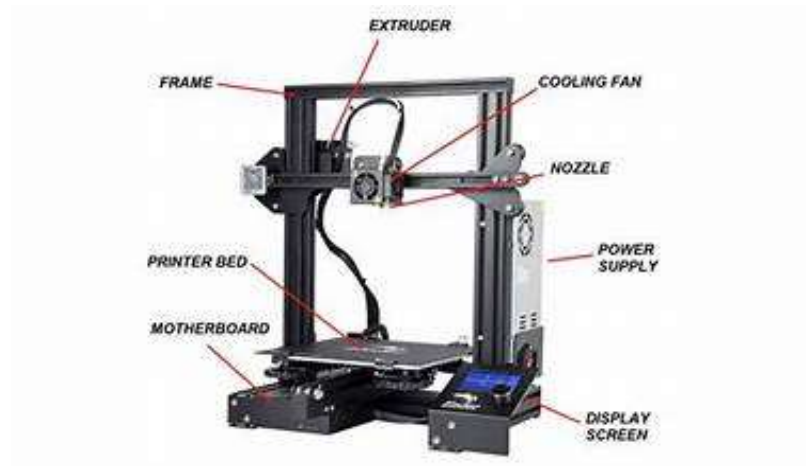


Gambar 2.2 *Filamen*

(Sumber : Ikhbal Nuh 2020)

2. *Frame* (kerangka mesin)

Frame atau kerangka mesin memiliki sifat yang kuat dan kaku agar dapat menopang mesin 3D *printer* secara sehingga hasil dari proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printer* dapat terbentuk secara akurat.



Gambar 2.3 *Frame* (Kerangka Mesin)

(Sumber : Bung Adhy 2019)

3. *Print Head*

Print head merupakan salah satu bagian dari mesin 3D *printing* yang memiliki fungsi untuk memanaskan filamen sampai ke suhu yang telah diatur. Pada *print head* terdapat 2 bagian yaitu *heater* (pemanas) dan fan (kipas).



Gambar 2.4 *Print Head*

(Sumber : Mh.Ali, hal. 2013)

4. *Nozzle*

Nozzle memiliki fungsi untuk mengeluarkan filamen yang telah dicairkan melewati *heater* di mana kualitas dari *nozzle* akan mempengaruhi kemampuan filamen untuk dicairkan dengan baik dan diameter atau tebal dari filamen yang keluar melalui *nozzle*.

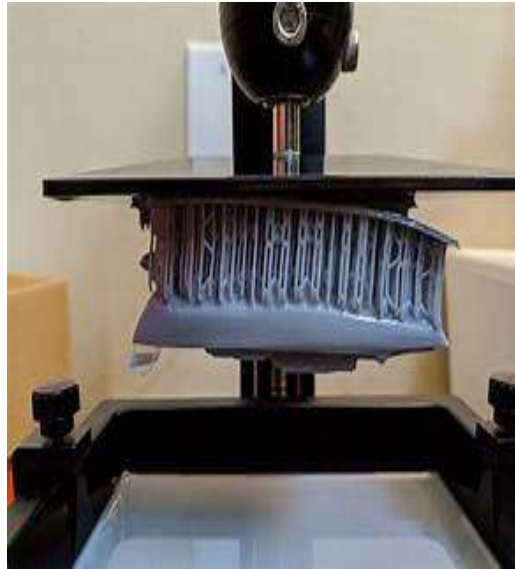


Gambar 2.5 *Nozzle*

(Suber : Sanjaya 2013)

5. *Bed atau Build Platform*

Bed atau build platform memiliki permukaan yang datar yang dapat dipanaskan dan biasanya digunakan sebagai tempat untuk mencetak objek 3D.

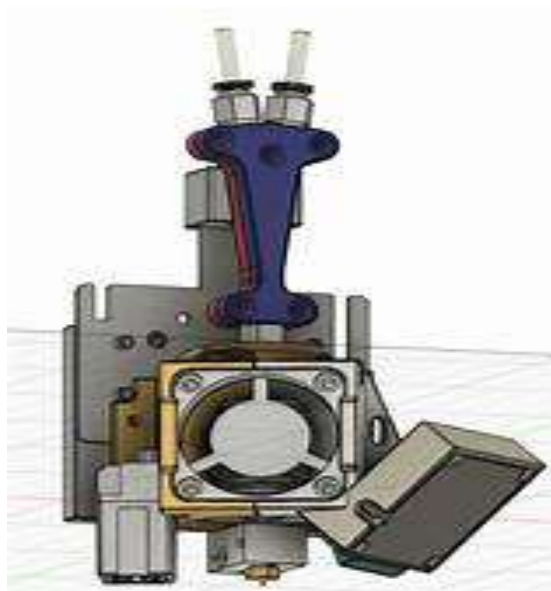


Gambar 2.6 *Build Platform*

(Sumber : Irwansya 2021)

6. *Bowden*

Pada saat filamen di dorong ataupun ditarik oleh *drive wheel* yang digerakan oleh motor maka pengaturan filamen akan dilakukan oleh *bowden*.



Gambar 2.7 *Bowden*

(Sumber : Oktiadi 2023)

7. *Moving Parts*

Moving part merupakan komponen dari mesin 3D *printer* yang terdiri dari beberapa kombinasi komponen seperti motor, *belt*, kabel, dan *system* lain yang menempel pada *pulley*.



Gambar 2.8 *Moving Parts*

(Sumbr : Simamora, s. L. (2022).)

8. *Electronics control*

Electronics control terdiri dari mikroprosesor sebuah *board* yang berfungsi sebagai kontrol untuk program pada mesin 3D *printer*.



Gambar 2.9 *Electronics Control*

(Sumber : Shaputra , s. L. (2022))

2.6 Jenis – Jenis Filamen

Adapun beberapa jenis filamen yang digunakan sebagai bahan utama isian dari 3D *printing* sebagai berikut :

1. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) adalah salah satu bahan yang banyak digunakan untuk filamen mesin 3d *printer*. Pemilihan jenis filamen 3d *printer* bukan tanpa alasan, pertama karena stabil dengan suhu dan paparan kimia. Selanjutnya sangat kuat dan mudah dirapikan dengan penguapan aseton. Kekurangan dari bahan ABS ini adalah tidak bisa di uraikan secara alami karena merupakan plastic sintesis. selanjutnya saat *printing* dilakukan akan ada asap berbahaya yang digunakan. ABS butuh suhu tinggi sehingga daya yang dipakai juga besar. (Richad A.M. Napitupulu¹, Lestina Siagian², Joel Panjaitan³, Miduk Tampubolon⁴, Libianko, 2021)
2. PLA (*Poly Lactic Acid*) adalah bahan bakunya yang alami sehingga akan terurai kalau di buang ke tanah.
3. HIPS (*High Impact Polystyrene*), HIPS juga cukup bisa di andalkan karena memiliki kelebihan seperti kekuatan bahan yang sangat tinggi. Selain itu bahan HIPS ini juga fleksibel meski sangat kuat dibanding jenis lainnya.
4. NYLON, Bahan *nylon* juga sangat diandalkan untuk membuat model 3d. alasan penggunaan bahan *nylon* tidak lain dan tidak bukan adalah masalah kekuatan. Selama ini *nylon* bnyak digunakan untuk tekstil karena
5. Kekuatannya yang sempurna. Kalau diaplikasikan pada model 3d, kemungkinan cepat leleh akan rendah.

6. PVA (*polyvinyl Alcohol*), Jenis filamen yang terbuat dari bahan PVA merupakan bahan organik dan bisa diuraikan dengan mudah. Kalau ada sisa atau residu bisa dibuang ke tanah tanpa memicu pencemaran seperti plastik. Meski bahannya *organic*, model 3d yang dihasilkan tahan dengan berbagai pelarut dan juga minyak. Bahan PVA juga sangat mudah larut dalam air sehingga tidak merugikan atau meracuni penggunaannya.
7. PETG (*Glycol-modified polyethylene terephthalate*), Menggunakan bahan PETG akan memberikan cukup banyak kelebihan. Beberapa kelebihan itu adalah kekuatannya yang sangat tinggi dan stabil dengan suhu tinggi. Jenis filamen 3d *printing* ini juga tahan dengan paparan bahan kimia tertentu. Sayangnya bahan PETG ini tidak *user friendly* alias susah digunakan. Selanjutnya kalau berada dibawah sinar ultra *violet*, produk yang dihasilkan akan mudah rusak meski tahan pada suhu yang tinggi.
8. TPU (*thermoplastic polyurethane*), bahan TPU memiliki fleksibilitas seperti karet sehingga tidak mudah patah. Jenis filamen 3D *printing* dengan bahan ini juga cocok untuk membuat lapisan-lapisan tertentu pada model 3D yang sedang dihasilkan. Produk juga tahan dengan minyak. TPU mudah sekali menggumpal meski masih dalam bentuk filamen. (Richard A.M. Napitupulu¹, Lestina Siagian², Joel Panjaitan³, Miduk Tampubolon⁴, Libianko, 2021)

2.7 Cara kerja 3D *printing*

Material yang digunakan dalam proses 3D *printing* cukup bervariasi, mulai dari bahan plastic, karet, keramik, hingga logam. Proses pencetakan dimulai dengan membuat model digital terlebih dahulu dengan *software* CAD (*Computer Aided Design*)

Design) atau bisa juga dengan *modeling software* yang sempurna. Selanjutnya, model digital itu dapat dipecah menjadi lapisan demi lapisan yang kemudian akan dicetak secara bertahap menggunakan teknologi 3D. Setiap lapisan akan ditambahkan terus menerus. Ketika dicetak, sehingga dapat membentuk objek tiga dimensi yang lengkap.

2.8 Manfaat 3d Printing

Adapun manfaat *3D printing* antara lain yaitu:

1. Membantu dalam pembuatan prototipe sebelum produk diproduksi massal.
2. Menghemat waktu dan biaya untuk pengembangan produk baru.
3. Memberikan kebebasan untuk menciptakan sebuah desain produk.
4. Memberikan kesempatan untuk membuat kustomisasi produk.
5. Dalam bidang Kesehatan, teknologi ini digunakan untuk mencetak organ dan tulang buatan.

2.9 ABS

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) adalah salah satu bahan plastik termoplastik yang sering digunakan dalam teknologi cetak 3D, terutama metode Fused Deposition Modeling (FDM). ABS memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan terhadap panas, dan relatif tahan terhadap benturan. ABS juga banyak digunakan untuk membuat prototipe maupun produk akhir karena memiliki daya tahan dan kekuatan yang baik. Dalam proses cetak 3D, beberapa parameter seperti suhu *nozzle*, kecepatan cetak, dan ketebalan lapisan sangat mempengaruhi kualitas permukaan serta kekuatan hasil cetakan. Suhu optimal untuk mencetak ABS biasanya sekitar 240 hingga 250 derajat Celsius. Jika kecepatan cetak terlalu tinggi

atau terlalu rendah, maka dapat mempengaruhi ketahanan dan tekstur permukaan produk. Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan suhu *nozzle* 240 derajat Celcius, kecepatan cetak 60 mm/detik, dan ketebalan lapisan 0,1 mm dapat menghasilkan kualitas permukaan yang baik.

Selain itu, penelitian lain yang menggunakan metode Taguchi dan analisis multirespon menunjukkan bahwa parameter seperti orientasi cetak, suhu tempat tidur, dan suhu *nozzle* sangat mempengaruhi kekuatan ketahanan, waktu pengerjaan, serta akurasi produk dari bahan ABS. Kekasaran permukaan dan kekuatan tarik hasil cetak juga dipengaruhi oleh variabel – variabel tersebut. Oleh karena itu, mengoptimalkan parameter proses menjadi hal penting untuk memperoleh hasil cetak dengan kualitas tinggi. Bahan ABS cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan daya tahan mekanik dan kestabilan termal. Namun, pengaturan parameter pencetakan yang tepat diperlukan agar tidak muncul cacat seperti warping atau pengisian akibat sirkulasi yang tidak merata.

2.9.1 Material ABS

Filament ABS merupakan salah satu material yang populer dalam teknologi 3D *printing* karena kekuatan mekaniknya yang baik. Temperatur *nozzle* sangat mempengaruhi hasil kekuatan produk yang dicetak. Misalnya, pada penelitian dengan variasi suhu *nozzle* 230°C, 237°C, dan 244°C, ditemukan bahwa semakin tinggi suhu *nozzle*, semakin besar kekuatan beban yang dapat ditahan oleh hasil cetakan ABS. Suhu *nozzle* 244°C menghasilkan kekuatan tertinggi dibanding suhu lebih rendah. Kecepatan *printing* juga mempengaruhi hasil cetakan. Printrun yang terlalu cepat membuat lapisan tidak merata dan bisa menyebabkan hasil cetak yang

kurang konsisten. Sebaliknya, kecepatan yang terlalu lambat menyebabkan lapisan menggumpal. Untuk ABS, kecepatan *printing* yang optimal berkisar antara 40 sampai 60 mm/s.

Parameter suhu *nozzle* 250°C dengan kecepatan cetak disesuaikan bisa memberikan hasil yang baik, tetapi penting untuk menemukan kombinasi optimal antara kedua parameter tersebut agar tidak terjadi cacat cetakan seperti delaminasi atau deformasi. Kombinasi suhu *nozzle* 250°C dan variasi kecepatan *printing* harus diuji secara eksperimental untuk memperoleh hasil terbaik. Penelitian juga menunjukkan bahwa parameter proses seperti layer height, *nozzle* temperature, dan *printing* speed berdampak signifikan pada kekuatan uji lentur dan kekasaran permukaan hasil cetak ABS. Penyesuaian ketiga parameter ini penting dalam proses optimasi kualitas cetak pada ABS. Dengan demikian, pengaruh *printing* speed dengan *nozzle* suhu 250° pada *filament* ABS sangat berkaitan dengan kualitas mekanik dan bentuk cetakan yang dihasilkan. Kunci utama adalah penentuan kecepatan cetak yang tepat sehingga *layer-layers* dapat saling melekat dengan baik pada suhu *nozzle* yang diberikan.



Gambar 2.10 *Filament ABS*

(Sumber : Irfan, f. (2023).)

2.10 Uji Tarik

Uji tarik adalah pengujian yang sangat penting dan umum digunakan untuk memastikan kualitas dan karakteristik mekanik material sebelum digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan manufaktur. Uji tarik plastik adalah metode pengujian mekanik untuk menentukan sifat tarik material plastik dengan cara meregangkan spesimen plastik hingga putus di mesin uji tarik, sehingga diperoleh data kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan perpanjangan spesimen.

- Standar Uji Tarik Plastik

ASTM D638: Standar Amerika yang paling umum untuk uji tarik plastik. Menetapkan bentuk spesimen (biasanya bentuk tulang anjing/*dumbbell*), dimensi, prosedur pengujian, dan pengukuran sifat mekanik.

ISO 527-1 / ISO 527-2: Standar internasional untuk pengujian tarik plastik berbasis cetakan dan ekstrusi.

ASTM D882: Digunakan untuk uji tarik film atau lembaran plastik tipis dengan ketebalan kurang dari 1 mm.

- Persiapan Spesimen

Spesimen berbentuk dumbbell dengan ukuran panjang dan lebar tertentu sesuai standar. Ketebalan biasanya berkisar sampai 14 mm untuk ASTM D638.

Permukaan dan dimensi spesimen harus presisi agar hasil uji akurat.

- Parameter yang Diukur

Kekuatan tarik maksimum (*Tensile Strength*): Tegangan maksimum yang dapat ditahan spesimen sebelum putus. Modulus elastisitas (*Elastic Modulus*). Ukuran

kekakuan material saat diberi tegangan tarik. Regangan (*Strain*). Perubahan panjang relatif spesimen selama pengujian. Titik luluh (*Yield Strength*): Tegangan saat material mulai mengalami deformasi plastis. Perpanjangan saat putus (*Elongation at Break*): Persentase perubahan panjang saat material patah.

- Prosedur Pengujian

1. Spesimen dijepit pada mesin uji tarik.
2. Gaya tarik diberikan dengan kecepatan konstan sesuai standar.
3. Data tegangan dan regangan dicatat hingga spesimen putus.
4. Pengujian dilakukan pada suhu laboratorium standar.

- Makna Hasil Uji

1. Memberikan gambaran kekuatan dan keuletan plastik.
2. Data penting untuk menentukan penggunaan material dalam produk akhir.
3. Membantu dalam pengembangan dan kontrol kualitas material plastik.



Gambar 2.11 *Uji Tarik*

(Sumber : Dokumentasi 2025)

2.11 Uji Bending

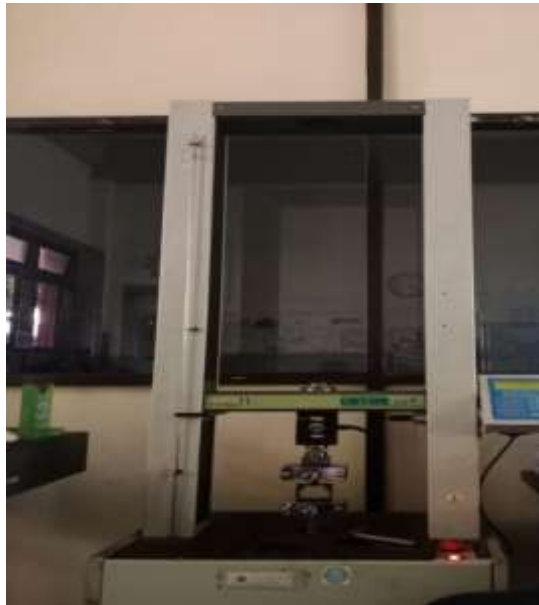
Uji bending dengan standar ASTM D790 adalah metode pengujian yang digunakan untuk menentukan sifat lentur plastik dan komposit, baik yang tidak diperkuat maupun yang diperkuat. Uji ini mengukur parameter seperti modulus lentur, kekuatan lentur, tegangan dan regangan pada titik leleh, serta regangan saat putus. Pengujian ini biasanya dilakukan pada bahan plastik kaku dan semi-kaku dengan batas regangan maksimal 5%

Pengujian bending ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu cetak 270°C terhadap sifat mekanik hasil cetakan 3D *printing* menggunakan filamen ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Metode uji mengikuti standar ASTM D790, yang menguji kekuatan lentur dan modulus lentur material hasil cetak. Suhu cetak pada 270°C sangat berpengaruh pada viskositas ABS selama proses ekstrusi, yang akan mempengaruhi tingkat ekstrusi dan kualitas dimensi hasil cetak. Suhu ekstrusi yang tepat menjaga penyerapan dan ikatan antar lapisan (lapisan adhesi) sehingga meningkatkan kekuatan lentur. Studi menunjukkan bahwa peningkatan suhu cetak dalam kisaran tertentu meningkatkan kualitas mekanik produk 3D *printing* filamen ABS, termasuk kekuatan tarik dan lentur.

Dalam proses pencetakan 3D, parameter suhu cetak juga berkaitan dengan suhu dan susunan lapisan, yang mempengaruhi ukuran dimensi akhir serta kekuatan produk cetakan. Penelitian ini menggunakan variasi suhu cetak pada proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) dan melakukan pengujian bending untuk mengukur perbedaan kekuatan lentur akibat variasi suhu tersebut. Secara umum, pengujian ini

bertujuan untuk menemukan suhu cetak optimal agar mendapatkan hasil cetakan ABS dengan kekuatan lentur terbaik sesuai standar ASTM D790.

Jadi, bahan uji bending ASTM D790 pada penelitian ini menitik beratkan pada pengaruh variasi suhu cetak 270°C dalam proses 3D *printing* menggunakan filamen ABS untuk mengoptimalkan sifat mekanik hasil cetak berupa kekuatanlentur dan modulus lentur. Hasil uji bending menunjukkan hubungan suhu cetak terhadap kinerja mekanik produk 3D *printing* berbahan ABS.



Gambar 2.12 *Uji Bending*

(Sumber : Dokumentasi 2025)

