

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN SUHU TERHADAP KARAKTERISTIK BAHAN FILAMEN PLA DAN PETG PADA UJI TARIK SPESIMEN *PET FEEDER*

Ahmad Najimuddin¹, Ferly Isnomo Abdi^{2*}, Dr Warju³, Andita Nataria Fitri Ganda⁴

^{1,4}Teknik Mesin, ^{2,3}Teknologi Rekayasa Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: ahmad.21044@mhs.unesa.ac.id (9 pt)

Abstrak: Memelihara hewan peliharaan di rumah membutuhkan banyak waktu dan tenaga. Bagi orang-orang yang memiliki kesibukan sangat padat tentu kegiatan memelihara hewan peliharaan seperti kucing sangat susah dilakukan. Sehingga dengan adanya bantuan dari alat pemberi pakan hewan otomatis yang dapat dikontrol melalui *handphone* sangat membantu bagi para pecinta hewan yang kurang memiliki waktu ruang untuk berinteraksi secara langsung dengan hewan peliharaan.

Penelitian ini menggunakan metode R&D (*Research and Development*) dengan menentukan material yang sesuai untuk bodi dan mekanisme alat pemberi pakan hewan otomatis berbasis mikrokontroler menggunakan ESP32. Penelitian ini menggunakan analisis uji tarik untuk membandingkan sifat tegangan dan regangan pada filament PLA dan PETG. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu pencetakan sifat mekanik *filament* PLA dan PETG pada aplikasi *Pet Feeder*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pencetakan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik kedua jenis filament. PETG menunjukkan karakteristik terbaik pada suhu 215°C dengan nilai tegangan tarik sebesar 0,0149 MPa dan modulus elastisitas sebesar 0,2129 GPa, serta regangan tertinggi pada suhu 200°C sebesar 0,0798. PLA menunjukkan tegangan tarik tertinggi sebesar 0,0116 MPa pada suhu 205°C dan regangan tertinggi sebesar 0,1205 pada suhu 185°C, sedangkan modulus elastisitas tertinggi tercatat pada suhu 215°C sebesar 0,1694 GPa. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa PETG lebih cocok digunakan pada komponen struktural *Pet Feeder* karena memiliki keseimbangan antara kekuatan dan elastisitas. Sementara itu, PLA lebih sesuai untuk komponen non-struktural yang membutuhkan kekakuan namun tidak mengalami beban mekanik besar.

Kata kunci: *Pet feeder*, PLA dan PETG, *Filament*

Abstract: Keeping pets at home requires a lot of time and effort. For people with very busy schedules, taking care of pets such as cats can be quite difficult. Therefore, the presence of an automatic pet feeder that can be controlled via a smartphone is very helpful for animal lovers who lack the time to interact directly with their pets.

This research uses the R&D (*Research and Development*) method by determining suitable materials for the body and mechanism of a microcontroller-based automatic pet feeder using the ESP32. This study uses tensile test analysis to compare the stress and strain properties of PLA and PETG filaments. It also aims to analyze the effect of printing temperature on the mechanical properties of PLA and PETG filaments in the application of a pet feeder.

The results of the study show that the printing temperature significantly affects the mechanical properties of both filament types. PETG exhibited the best characteristics at a temperature of 215°C with a tensile strength of 0.0149 MPa and an elastic modulus of 0.2129 GPa, while the highest strain occurred at 200°C at 0.0798. PLA showed the highest tensile strength of 0.0116 MPa at 205°C and the highest strain of 0.1205 at 185°C, while the highest elastic modulus was recorded at 215°C at 0.1694 GPa. Based on these results, it can be concluded that PETG is more suitable for structural components of the pet feeder due to its balance between strength and elasticity. Meanwhile, PLA is more appropriate for non-structural components that require stiffness but are not subjected to significant mechanical loads.

Keywords: *Pet feeder*, PLA dan PETG, *Filament*.

© 2025, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, alat pakan otomatis adalah perangkat yang dirancang untuk memberikan pakan kepada hewan peliharaan tanpa campur tangan manusia. Peran hewan peliharaan

dalam kehidupan manusia semakin berkembang dari sekedar teman atau hiburan menjadi anggota keluarga yang dicintai dan dirawat dengan baik. Peningkatan kesadaran pemilik hewan peliharaan dengan mencari solusi inovatif dalam memberikan perawatan yang optimal kepada hewan peliharaan mereka. Hewan

peliharaan didefinisikan sebagai hewan yang sebagian atau seluruh kehidupannya bergantung pada manusia. Dalam kehidupan sehari-hari, manusia tidak lepas dengan hewan peliharaannya, misalnya kucing, burung, dan lain-lain. Hewan peliharaan yang banyak dipilih adalah kucing. Namun ada waktu ketika pemilik sibuk bekerja apalagi sampai keluar kota beberapa hari. Terkadang sulit untuk mengurus kucing mereka, terutama dalam memberi makan [1].

Dilihat dari kurangnya pengetahuan pemilik terhadap hewan peliharaan yang dimilikinya dan kurangnya fasilitas yang menunjang kesejahteraan hewan peliharaan itu sendiri. Contohnya pemberian makanan hewan peliharaan yang tidak tepat pada waktunya. Makan adalah suatu proses yang penting bagi tubuh. Dengan makan tubuh akan mendapatkan nutrisi sekaligus energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan hidup. Tidak hanya manusia, hewan juga sangat membutuhkan nutrisi dari makanannya terutama hewan peliharaan. Pengembangan alat sudah dikembangkan oleh [3] telah mengembangkan *Automatic Pet Feeder* yang dapat dikendalikan dari lokasi yang berbeda dengan internet. Akan tetapi desain mekanisme peralatannya tidak efisien dan sulit direproduksi kembali.

Namun bagi banyak orang yang jika memelihara hewan peliharaan mengalami kesulitan karena memiliki waktu produktif yang padat. Tidak ada waktu untuk mengurus peliharaan di rumah. Alat Pemberi Makan Hewan Peliharaan (*Pet Feeder*) dibuat untuk solusi bagi banyak orang yang memiliki waktu produktif yang padat. Namun pada pengembangan *Pet Feeder* ini diberi fitur yang amat sangat berguna, yaitu dengan dibuat sistem kontrol berbasis aplikasi sehingga pengguna dapat memberi makan perliharan secara realtime ataupun dibuat jadwal otomatis.

Awalnya teknologi pencetakan 3D digunakan terutama dalam industri manufaktur untuk pembuatan *prototipe* dan pengujian produk demi menghemat waktu dan biaya dalam proses pengembangan produk. Teknologi pencetakan 3D telah dikembangkan ke berbagai sektor seperti, implant medis, model organ tubuh, seni, arsitektur, dan pendidikan [16]. Meskipun 3D printing menawarkan banyak manfaat, ada juga perhatian khusus terkait dampak terhadap lingkungan dari penggunaan material plastik dalam proses pencetakan, oleh karena itu pengembangan material yang ramah lingkungan menjadi fokus tersendiri.

Penggunaan filamen dalam pencetakan 3D dimulai seiring dengan perkembangan teknologi pencetakan 3D itu sendiri. Salah satu teknologi pencetakan 3D pertama yang menggunakan filamen adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang dikembangkan oleh Scott Crump pada tahun 1988 [13]. Awalnya filamen yang digunakan dalam pencetakan 3D terbuat dari termoplastik, seperti PLA (*Polylactic Acid*) dan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) kedua bahan tersebut masih sering menjadi bahan umum yang digunakan pada 3D printing sampai saat ini.

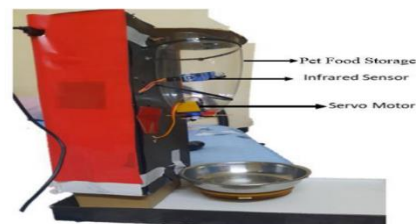
Seiring berjalannya waktu, berbagai jenis filamen telah dikembangkan termasuk yang terbuat dari berbagai bahan, termasuk logam, keramik, komposit, dan bahkan bahan biologis seperti selulosa dan karbon. Diantara jenis – jenis filamen 3D printing, yang paling banyak digunakan yakni jenis PLA. Menurut [4], PLA merupakan *biopolymer* atau polimer yang dihasilkan dari bahan alami yang tentunya bersifat *biodegradable* atau dapat dengan mudah diuraikan. Polimer ini biasa diaplikasikan untuk bidang biomedis seperti pembuatan benang jahit, sekrup fiksasi tulang, dan perangkat untuk pengiriman obat. Sementara pengaplikasian PLA dalam dunia 3D printing menurut [4] diantaranya yakni untuk kebutuhan *prototype* atau model benda, industri makanan, dan objek-objek yang tidak memerlukan ketahanan mekanik tinggi. Beberapa *pet feeder* dilengkapi dengan kemampuan untuk mengukur dan mengatur porsi makanan yang diberikan kepada hewan peliharaan melalui modul *bluetooth* yang tersedia

Oleh karena itu, penulis ingin menganalisis PLA (*polylactic acid*) dan PETG (*Glycol-modified Polyethylene Terephthalate*) pada *pet feeder* terkait sifat material melalui uji tarik dan pengaruh suhu terhadap pencetakan sifat mekaniknya. Penggunaan dan karakteristik bahan filamen PLA dengan adanya *pet feeder* dapat menyederhanakan dan meningkatkan pengalaman merawat hewan peliharaan, terutama bagi pemilik yang memiliki jadwal padat [12].

DASAR TEORI

Pet Feeder

Pet Feeder atau pemberi makan kucing otomatis merupakan jawaban bagi pemilik anjing yang sibuk. Alat ini memberikan fitur pemberian makan otomatis sesuai dengan yang diinginkan oleh penggunanya. Saat ini terdapat beberapa model pemberi makan kucing yang dapat dibeli di pasaran. Berbagai merek dan fitur ditawarkan sebagai daya saing antara produk satu dengan yang lainnya.



Gambar 1. *Pet feeder* [7]

Filamen

Filamen pada 3D printer adalah material yang digunakan untuk mencetak desain yang telah dibuat melalui perangkat lunak di komputer. Ukuran diameter filamen yang sesuai standar adalah 1.75 mm namun ada juga jenis 3D printer rakitan yang memakai filamen dengan ukuran diameter 3 mm. Ada banyak jenis material filamen yang dapat digunakan menjadi

spesimen. Material yang digunakan untuk membuat 3D printer adalah *thermoplastic* yang memiliki sifat tangguh, kuat dan mudah dibentuk [15]. Hal ini juga yang mendasari kualitas filamen tersebut. Semakin kuat dan bagus bentuk benda yang dihasilkan oleh filamen maka semakin tinggi pula kualitas filamen tersebut.

TABEL I
Perbandingan Filamen

PETG		PLA	
Diameter	1,75 mm	Diameter	1,75 mm
Panjang	330 m	Panjang	330 m
Warna	Universal	Warna	Universal

PLA (*polylactic acid*)

Bahan PLA termasuk yang mulai naik daun dan digunakan oleh banyak pelaku dan penggiat 3D print. Alasan penggunaan PLA adalah bahan bakunya yang alami sehingga akan terurai kalau dibuang ke tanah. Secara harga produk ini cenderung murah dan membutuhkan daya rendah untuk pencairan. Karena tidak membutuhkan suhu tinggi, bantalan untuk mesin tidak diperlukan lagi. Kemungkinan membakar benda di sekitarnya juga rendah. Kekurangan dari bahan PLA hanyalah mudah meleleh, apalagi di suhu yang sangat tinggi. hindari terkena sinar matahari agar bentuk model tidak berantakan [8]. Menurut [9] *polylactic acid* memiliki beberapa kelebihan seperti:

- Biodegradable* yang berarti PLA dapat diuraikan oleh mikroorganisme secara alami di lingkungannya.
- Biokompatibel* yang berarti plastik PLA dapat diterima oleh atau sel jaringan pada kondisi normal.
- Tidak terbuat dari minyak bumi melainkan dibuat menggunakan bahan yang dapat diperbarui termasuk dari sisa industri.
- Dapat di daur ulang (*recyclable*).
- Dalam proses produksinya pelarut organik yang bersifat racun tidak digunakan.
- Dapat dibakar secara sempurna dan menghasilkan gas CO₂ dan air (H₂O).



Gambar 2. filamen PLA

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. Produk ini juga tahan dengan paparan bahan kimia tertentu. Singkatnya model 3D yang dihasilkan dari produk ini akan awet digunakan. Sayangnya bahan PETG ini tidak *user friendly* alias susah digunakan [14]. Jangan gunakan bahan ini kalau beberapa produk sebelumnya masih ada. Selanjutnya kalau berada di bawah sinar ultraviolet, produk yang dihasilkan akan mudah rusak meski tahan pada suhu yang tinggi [8].



Gambar 3. Filamen PETG

Alat 3D Printing

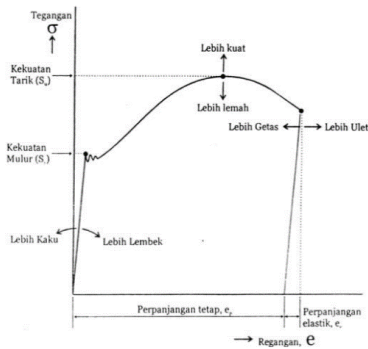
3D *Printing* adalah salah satu bagian dari *additive manufacturing*. Mesin 3D *printer* merupakan alat untuk membuat benda tiga dimensi dari file digital. Penciptaan objek cetak 3D dicapai menggunakan proses aditif. Dalam proses pembuatan secara aditif, sebuah objek dibuat dengan meletakkan lapisan tipis secara berurutan sampai objek terbentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Masing-masing lapisan ini dapat dilihat sebagai potongan melintang horizontal yang diiris tipis tipis dari objek yang akhirnya membentuk suatu benda 3 dimensi [2].



Gambar 4. Alat 3D Printing [2]

Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan adalah dua konsep dasar dalam mekanika bahan yang digunakan guna memahami perilaku material dibawah beban. Pada filamen kedua konsep ini sangat penting untuk memahami bagaimana material tersebut merespon gaya yang diterapkan. Tegangan adalah gaya internal persatuan luas yang timbul dalam suatu material akibat gaya eksternal yang diterapkan, tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan pascal (Pa) atau megapascal (Mpa). Regangan adalah perubahan relatif dalam panjang material sebagai respon terhadap gaya yang diterapkan, regangan merupakan besaran tanpa dimensi yang menunjukkan seberapa banyak material meregang atau menyusut. Hubungan antara tegangan dan regangan biasanya digambarkan melalui kurva tegangan-regangan.



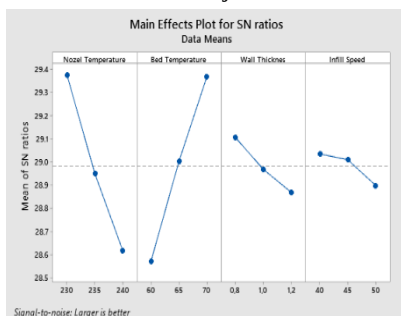
Gambar 5. Kurva Tegangan Regangan[10]

Uji Tarik

Penelitian yang dilakukan oleh [5] yang bertujuan untuk mengetahui apakah kekuatan dari tarik produk 3D printing yang menggunakan filamen PLA+ ESUN dipengaruhi oleh parameter proses seperti *infill pattern* dan *nozzle temperature*. Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah; bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.



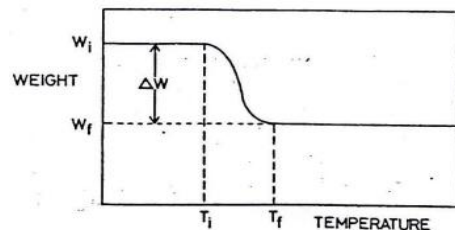
Gambar 6. Uji Tarik [5]



Gambar 7. Grafik Uji Tarik [5]

2.9 Analisa Termal

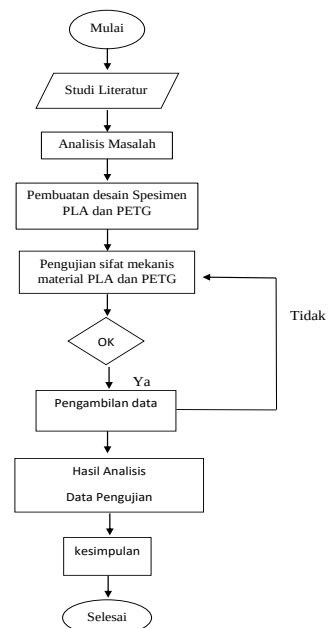
Analisa termal dapat didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisik dan kimia material sebagai fungsi dari suhu, istilah Analisa termal seringkali digunakan untuk sifat-sifat spesifik tertentu. Misalnya entalpi, kapasitas panas, massa dan koefisien ekspansi termal. Dengan menggunakan peralatan modern, Sebagian besar material dapat dipelajari dengan metode ini. Penggunaan Analisa termal pada ilmu mengenai zat padat telah bervariasi, mencakup studi reaksi keadaan padat, dekomposisi termal dan transisi fasa, penentuan diagram fasa. Dua jenis Teknik Analisa termal yang utama adalah Analisa termogravimetrik (TGA), yang otomatis merekam perubahan berat sampel sebagai fungsi dari suhu maupun waktu, dan analisa *diferensial* termal (DTA) yang mengukur perbedaan suhu, ΔT , antara sampel dengan material referensi yang *inert* sebagai fungsi dari suhu. Teknik yang berhubungan dengan DTA adalah *differential scanning calorimetry* (DSC). Pada DSC, peralatan didesain untuk memungkinkan pengukuran kuantitatif perubahan entalpi yang timbul dalam sampel sebagai fungsi dari suhu maupun waktu.



Gambar 8. Skema Termogram [11]

METODE

Prosedur Penelitian



Gambar 9. Diagram alir penelitian

1. Studi literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan informasi sebanyak banyaknya mengenai laporan terdahulu yang terkait dengan alat pemberi pakan hewan peliharaan otomatis. *Referensi* sebagai berikut :

- Konsep pemberi pakan hewan otomatis
- Jenis *Filament* yang digunakan
- Perbandingan bahan yang digunakan, PETG dan PLA menggunakan metode Uji Tarik

2. Analisis masalah

Analisis masalah dilakukan untuk mengetahui masalah apa saja yang sedang terjadi di kehidupan yang dapat terselesaikan dengan alat pemberi pakan hewan peliharaan otomatis.

3. Pembuatan desain spesimen PETG dan PLA

Pembuatan desain spesimen dilakukan untuk melakukan uji terhadap bahan yang digunakan untuk membangun alat pemberi pakan hewan peliharaan otomatis.

4. Pengujian sifat mekanis material PLA dan PETG

Pengujian sifat mekanis material dilakukan untuk mengetahui hasil dari pengaruh suhu terhadap bahan pembuatan spesimen uji, dengan suhu yang ditetapkan adalah PETG : 200⁰ C , 215⁰ C, 230⁰ C PLA : 185⁰ C, 205⁰ C, 215⁰ C

5. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui hasil dari pengujian yang telah dilakukan selama masa penelitian hasil dari pengujian tersebut dimasukkan kedalam tabel yang dibuat.

6. Kesimpulan

Setelah produk dibuat dan tidak ada lagi masalah dalam proses analisis maka dapat disusun kesimpulan dari penelitian tersebut berupa pembuatan laporan. Pembuatan laporan dilakukan berdasarkan sistematis yang telah ada. Laporan yang telah selesai akan diasistensikan ke dosen pembimbing untuk dicek dan direvisi, jika tidak ada kesalahan maka laporan sudah siap untuk dicetak dan diarsipkan.

Spesifikasi Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam proses menganalisis alat Pet Feeder yaitu:

- 3D Printer

3D Printer digunakan untuk mencetak Pet Feeder dan filamen.

- Tool Box

Tool Box digunakan untuk menunjang keperluan selama proses pengujian.

- Laptop

Laptop digunakan untuk mencari studi literatur dan menganalisis filamen.

- Box

Box digunakan untuk menyimpan spesimen yang akan diuji dalam suhu ruangan yang telah ditetapkan.

e) Alat Uji Tarik

Alat uji Tarik digunakan untuk melakukan serangkaian uji terhadap spesimen uji.

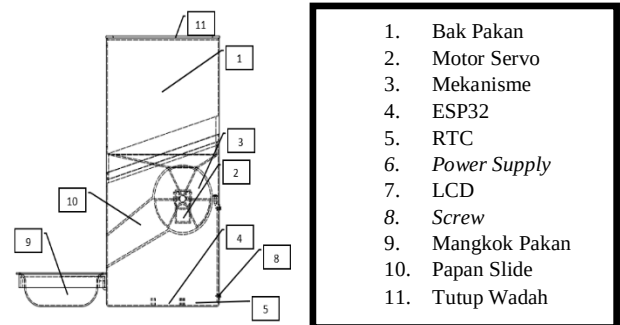
2. Bahan

a) Filamen

Filamen digunakan untuk membuat spesimen uji pengambilan data dan kesimpulan

Desain alat 2D

Desain 2D adalah alat informasi yang memungkinkan para pembaca mempelajari semua proyek yang sedang berlangsung. Desain 2D ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 10. Pet feeder

Desain Alat 3D

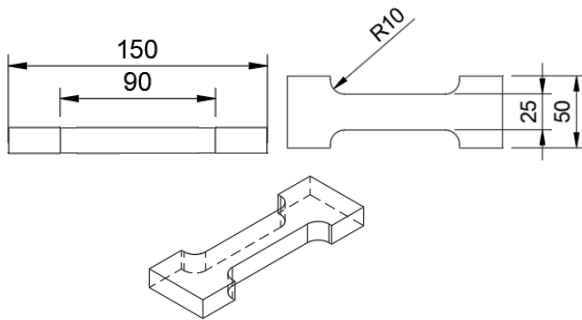
Desain 3D adalah proses pengembangan dari desain 2D yang mewakili sistematis dari seluruh aspek 3D. Penggunaan desain 3D untuk memvisualisasikan alat yang belum ada. Desain 3D ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 11. Pet Feeder

Spesimen Uji

Spesimen uji adalah bahan yang ditujukan untuk melakukan serangkaian pengujian terhadap bahan dengan spesifikasi Panjang 15 cm, lebar 5 cm, dan ketebalan 55 mm. Menggunakan standar uji Tarik ASTM D638. Desain ditunjukkan pada gambar 3.4

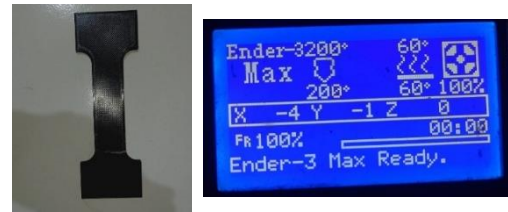
**Gambar 12.** Dimensi Spesimen Uji**3.9 Langkah Pembuatan Spesimen**

Spesimen adalah sampel atau contoh dari suatu material yang digunakan untuk tujuan penelitian, pengamatan, atau analisis untuk dipelajari lebih lanjut. Pembuatan spesimen tergantung pada jenis material yang akan digunakan terhadap pengujian. Berikut adalah langkah pembuatan spesimen :

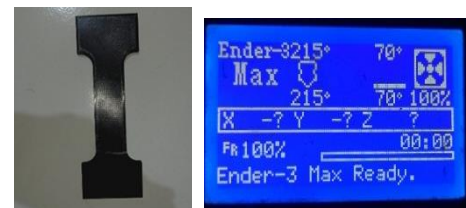
- 1) Menyiapkan filamen PETG dan PLA
Menyiapkan bahan yang akan digunakan PETG dan PLA . Kemudian memasang filamen pada mesin 3D *printing*.
- 2) Memasang kabel *power* untuk menyalakan mesin 3D *printing*.
- 3) Menghubungkan mesin 3D *printing* pada laptop menggunakan kabel USB
- 4) Menjalankan *software* dan melakukan proses *slincing* pada gambar desain spesimen ASTM D638
- 5) Menekan tombol *connect* pada *toolbar* Repetier-Host
- 6) Kemudian melakukan proses *printing* dengan menekan tombol *print*
- 7) Pada saat mesin berjalan proses percetakan dapat dipantau dengan melihat tampilan pada *user interface* Repetier-Host. Seperti estimasi waktu, suhu bed, temperature, dan penggunaan filamen.
- 8) Melakukan proses pengangkatan spesimen yang telah dicetak
- 9) Proses terakhir melakukan *finishing* pada spesimen untuk menghilangkan bagian *brim* yang menempel pada bagian spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil Pembuatan Spesimen PETG Uji Tarik**

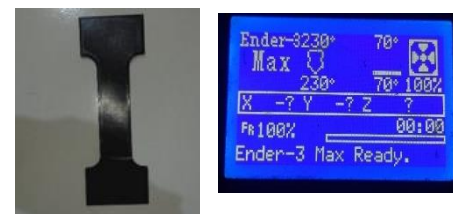
Spesimen dibuat dengan menggunakan bahan *filament* PETG yang kemudian dicetak dengan mesin 3D *Printer*, ukuran spesimen dengan panjang 15 cm, lebar 5 cm dan tebal 0,5 cm. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

**Gambar 13.** Spesimen 200°C

- a) Pada gambar 4.1 ditampilkan spesimen uji PETG dengan suhu 200°C
- b) Pada gambar 4.2 ditampilkan spesimen uji PETG dengan suhu 215°C

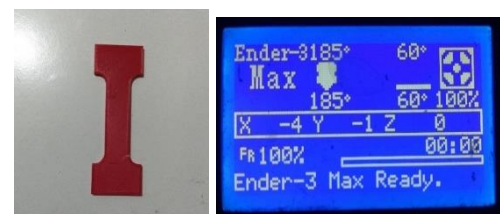
**Gambar 14.** Spesimen 215°C

- c) Pada gambar 4.3 ditampilkan spesimen uji PETG dengan suhu 230°C

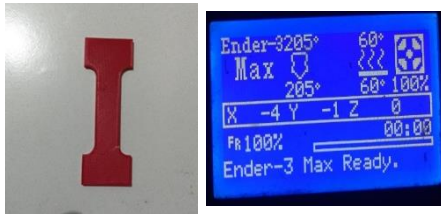
**Gambar 15.** Spesimen 230°C**Hasil Pembuatan Spesimen PLA Uji Tarik**

Spesimen dibuat dengan menggunakan bahan *filament* PLA yang kemudian dicetak dengan mesin printer 3d, ukuran spesimen dengan panjang 15 cm, lebar 5 cm dan tebal 0,5 cm. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

- a) Pada gambar 4.4 ditampilkan spesimen uji PLA dengan suhu 185°C

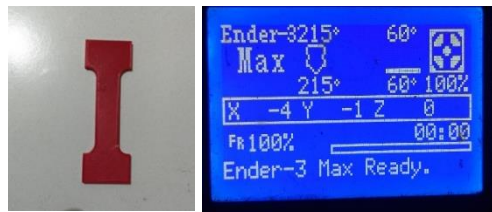
**Gambar 16.** Spesimen 185°C

- b) Pada gambar 4.5 ditampilkan spesimen uji PLA dengan suhu 205°C



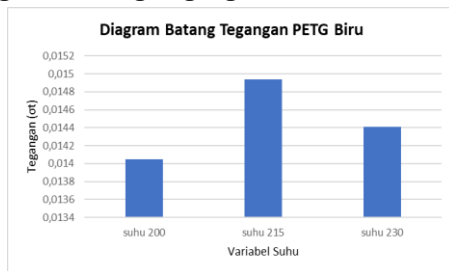
Gambar 17. Spesimen 205°C

- c) Pada gambar 4.6 ditampilkan spesimen uji PLA dengan suhu 215°C



Gambar 18. Spesimen 215°C

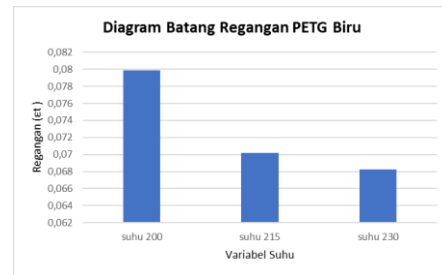
Diagram Batang Tegangan PETG Biru



Gambar 19. Diagram Batang Tegangan PETG

Pada diagram batang menggambarkan nilai tegangan tarik (σ_t) material PETG biru pada tiga parameter suhu cetak berbeda: 200°C, 215°C, dan 230°C. Tegangan tarik diukur sebagai gaya maksimum per satuan luas yang dapat ditahan material sebelum mengalami deformasi permanen atau patah. Nilai tegangan tarik tertinggi dicapai pada suhu cetak 215°C sebesar 0,0149 MPa, sedangkan pada suhu 200°C dan 230°C masing-masing berada pada kisaran 0,0141 MPa dan 0,0144 MPa. Kenaikan tegangan tarik dari 200°C ke 215°C menunjukkan bahwa pada suhu tersebut terjadi optimasi dalam *reflow termal* dan fusi antar lapisan filamen, yang meningkatkan kohesi struktur mikroskopik. Namun, penurunan kembali pada suhu 230°C mengindikasikan potensi terjadinya *thermal degradation* atau *over-extrusion*, yang dapat menyebabkan kelemahan interlayer bonding dan munculnya void. Secara teknis, suhu 215°C menjadi titik optimal untuk proses fusi antar-layer dalam material PETG biru, menghasilkan kekuatan tarik maksimum tanpa menimbulkan degradasi struktural. Temuan ini penting dalam konteks parameterisasi cetak FDM (*Fused Deposition Modeling*) untuk mencapai performa mekanik optimal dari komponen cetakan berbahan PETG.

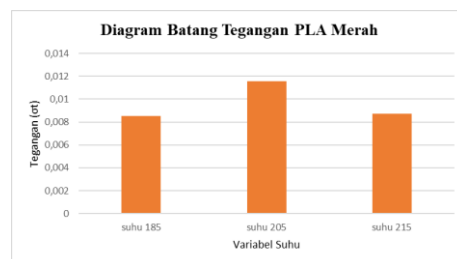
Diagram Batang Regangan PETG Biru



Gambar 4.8 Diagram Batang Regangan PETG

Diagram batang di atas menunjukkan hubungan antara suhu cetak dan nilai regangan tarik (ϵ_t) material PETG biru dalam proses pencetakan 3D. Regangan tarik menggambarkan kemampuan material untuk mengalami deformasi elastis atau plastis sebelum mengalami kerusakan atau patah. Tiga suhu diuji: 200°C, 215°C, dan 230°C. Pada suhu 200°C, material menunjukkan regangan tarik tertinggi, yaitu sekitar 0,0798, yang mengindikasikan bahwa material mampu meregang lebih jauh sebelum mengalami kegagalan. Ketika suhu dinaikkan ke 215°C, regangan tarik menurun menjadi sekitar 0,0700, dan terus menurun lagi pada suhu 230°C menjadi sekitar 0,0685. Penurunan ini mengindikasikan bahwa kenaikan suhu berlebih menyebabkan menurunnya fleksibilitas material. Secara teknis, penurunan regangan tarik ini dapat disebabkan oleh peningkatan viskositas lelehan pada suhu tinggi yang mengganggu kualitas ikatan antar-layer atau menyebabkan *over-extrusion*. Hal ini menghasilkan struktur internal yang lebih rapuh dan kurang elastis. Oleh karena itu, suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi kemampuan deformasi dari PETG, walaupun mungkin meningkatkan kekuatannya. Dengan demikian, suhu 200°C dapat dianggap sebagai kondisi optimal dalam konteks mempertahankan fleksibilitas material, yang penting pada aplikasi yang memerlukan deformasi atau ketahanan terhadap gaya tarik yang berubah-ubah.

Diagram Batang Tegangan PLA Merah

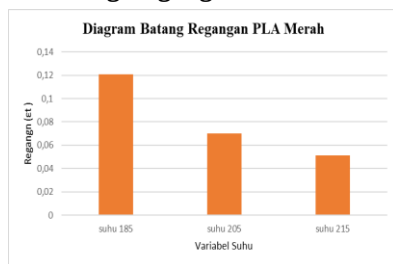


Gambar 20. Diagram Batang Tegangan PLA

Grafik menunjukkan pengaruh variabel suhu cetak terhadap sifat mekanik tegangan tarik (σ_t) material PLA merah. Tegangan tarik didefinisikan sebagai gaya maksimum per satuan luas (N/mm^2) yang dapat ditahan spesimen sebelum terjadi fraktur. Dalam konteks pemrosesan termoplastik menggunakan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM), suhu ekstrusi berperan penting dalam menentukan kualitas

inter-layer bonding serta struktur mikroskopik akhir dari produk cetak. Pada suhu 185°C, tegangan tarik terukur berada pada kisaran 0,0085 MPa, mengindikasikan bahwa meskipun fusi antar-lapisan terjadi, namun viskositas material masih relatif tinggi, sehingga keterikatan antar layer belum optimal. Kenaikan suhu ke 205°C menghasilkan tegangan tarik maksimum, yaitu sekitar 0,0117 MPa, menunjukkan peningkatan dalam aliran material dan penyatuan antar-lapisan, yang secara mikroskopik berkontribusi terhadap peningkatan integritas struktural dan ketahanan terhadap gaya tarik. Namun, pada suhu 215°C, nilai tegangan tarik menurun kembali ke sekitar 0,0086 MPa. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh depolimerisasi termal PLA akibat suhu yang terlalu tinggi, yang menyebabkan pemutusan rantai polimer dan terbentuknya mikrovoids atau porositas antar-layer. Selain itu, over-extrusion dan potensi penurunan kekasaran permukaan layer juga dapat menurunkan kekuatan tarik secara keseluruhan. Secara teknis, suhu 205°C merupakan titik kerja ideal dalam pencetakan PLA merah jika ditinjau dari kekuatan tarik maksimum.

Diagram Batang Regangan PLA Merah



Gambar 4.10 Diagram Batang Regangan PLA

Diagram batang pada gambar menampilkan hubungan antara suhu cetak dengan regangan tarik (ϵ) material PLA Merah. Ditampilkan tiga variabel suhu, yaitu 185°C, 205°C, dan 215°C. Dari diagram terlihat bahwa suhu 185°C menghasilkan regangan tarik tertinggi, sekitar 0,12. Ini menunjukkan bahwa pada suhu ini, material PLA Merah mampu mengalami deformasi paling besar sebelum mengalami patah. Ketika suhu dinaikkan menjadi 205°C, regangan tarik menurun cukup signifikan hingga sekitar 0,07, dan kembali menurun pada suhu 215°C menjadi sekitar 0,05. Penurunan regangan tarik seiring peningkatan suhu ini menunjukkan bahwa PLA Merah menjadi lebih rapuh atau kurang elastis saat dicetak pada suhu yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan struktur internal material atau degradasi termal akibat suhu yang terlalu tinggi, yang mengurangi kemampuan material untuk meregang sebelum patah. Secara keseluruhan, diagram ini memberikan informasi penting untuk menentukan suhu optimal pencetakan PLA Merah, yaitu suhu di mana regangan tarik berada pada nilai tertinggi, menunjukkan performa mekanik terbaik dari material tersebut.

Hasil dan pembahasan

Hasil Pengujian PETG memiliki sifat mekanis yang bervariasi tergantung pada suhu pencetakan, yang mempengaruhi kekuatan, elastisitas, dan fleksibilitas material. Berdasarkan data yang diperoleh dari uji tarik pada suhu berbeda, terlihat bahwa tegangan tarik, regangan, PETG dan PLA mengalami perubahan signifikan seiring dengan peningkatan suhu yang ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Modulus Elastisitas pada filament PLA

PLA			
SUHU	Tegangan	Regangan	E
185°C	0.0085335	0.1205658	0.0707
205°C	0.0115706	0.0702182	0.1647
215°C	0.0087058	0.0513688	0.1694

Tabel 4.2 Modulus Elastisitas pada filament PETG

PETG			
SUHU	Tegangan	Regangan	E
200°C	0.014046	0.0798429	0.1759
215°C	0.0149394	0.0701676	0.2129
230°C	0.0144074	0.0682778	0.2110

Pada spesimen uji berbahan PETG, pengujian dilakukan pada suhu cetak 200°C, 215°C, dan 230°C. Hasil menunjukkan bahwa tegangan tarik tertinggi terjadi pada suhu 215°C, yaitu sebesar 0,0149 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu tersebut, proses fusi antar-lapisan dalam pencetakan mencapai optimal, sehingga meningkatkan kekuatan tarik material. Sementara pada suhu 200°C dan 230°C, tegangan tarik yang dihasilkan sedikit lebih rendah, yang mengindikasikan kurang optimalnya ikatan antar-lapisan pada suhu tersebut. Untuk regangan, nilai tertinggi justru ditemukan pada suhu 200°C, yaitu sebesar 0,0798. Hal ini menandakan bahwa pada suhu rendah, PETG memiliki kemampuan deformasi yang lebih baik sebelum mengalami patah. Ketika suhu dinaikkan menjadi 215°C dan 230°C, regangan cenderung menurun, masing-masing menjadi 0,0701 dan 0,0682, menunjukkan bahwa material menjadi lebih kaku dan kurang fleksibel. Modulus elastisitas filamen PETG menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya suhu. Nilai tertinggi diperoleh pada suhu 215°C sebesar 0,2129 GPa, diikuti oleh 230°C sebesar 0,2110 GPa, dan nilai terendah pada suhu 200°C sebesar 0,1759 GPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa material menjadi lebih kaku saat suhu cetak meningkat. Maka dari itu, suhu 215°C dapat dikatakan sebagai titik optimal untuk menghasilkan kombinasi terbaik antara kekuatan dan kekakuan, sedangkan suhu 200°C lebih sesuai digunakan jika dibutuhkan sifat fleksibel yang lebih dominan. Pada pengujian filamen PLA, suhu cetak yang digunakan adalah 185°C, 205°C, dan 215°C. Hasil menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum dicapai pada suhu 205°C dengan nilai sebesar 0,0115 MPa. Peningkatan ini mencerminkan terbentuknya ikatan lapisan yang lebih sempurna akibat aliran material yang lebih baik pada suhu tersebut. Namun,

pada suhu 185°C dan 215°C, nilai tegangan tarik menurun secara signifikan, masing-masing menjadi 0,0085 MPa dan 0,0087 MPa. Penurunan tersebut disebabkan oleh viskositas material yang terlalu tinggi pada suhu rendah dan kemungkinan terjadinya degradasi termal pada suhu yang lebih tinggi. Sementara itu, nilai regangan tertinggi pada PLA diperoleh pada suhu 185°C sebesar 0,1205. Hal ini menunjukkan bahwa PLA lebih lentur saat dicetak pada suhu rendah. Pada suhu 205°C, regangan menurun menjadi 0,0702, dan pada suhu 215°C menurun lebih lanjut menjadi 0,0513. Artinya, PLA menjadi semakin rapuh dan tidak mampu mengalami deformasi signifikan ketika suhu pencetakan meningkat. Nilai modulus elastisitas pada filamen PLA cenderung meningkat dengan naiknya suhu. Nilai tertinggi ditemukan pada suhu 215°C sebesar 0,1694 GPa, diikuti oleh suhu 205°C sebesar 0,1647 GPa, dan nilai terendah pada suhu 185°C sebesar 0,0707 GPa. Hal ini menandakan bahwa PLA memiliki karakteristik yang semakin kaku seiring peningkatan suhu cetak, namun dengan konsekuensi penurunan elastisitas dan kekuatan tarik. Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan penulis menggunakan material PETG dan PLA yang akan digunakan sebagai bagian dari material untuk mencetak bagian dari *Pet Feeder* diantaranya :

1. Bak pakan (PETG)
2. Mekanisme (PETG)
3. Mangkok pakan (PETG)
4. Papan slide (PLA)
5. Tutup wadah (PLA)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh perbedaan suhu terhadap karakteristik bahan filamen PLA (*Polylactic Acid*) dan PETG (*Glycol-Modified Polyethylene Terephthalate*) pada uji tarik spesimen *Pet Feeder*, dapat disimpulkan bahwa suhu pencetakan berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik dari masing-masing material. Variasi suhu yang diterapkan menghasilkan perbedaan nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas, yang mencerminkan pentingnya pemilihan suhu yang tepat pada proses pencetakan 3D dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM). Pada material PETG, suhu pencetakan sebesar 215°C menghasilkan tegangan tarik tertinggi sebesar 0,0149 MPa dan modulus elastisitas tertinggi sebesar 0,2129 GPa, yang menunjukkan bahwa pada suhu ini terjadi fusi antar-lapisan yang optimal, menghasilkan material dengan kekuatan dan kekakuan terbaik. Sementara itu, nilai regangan tertinggi tercatat pada suhu 200°C sebesar 0,0798, menandakan bahwa pada suhu ini PETG memiliki fleksibilitas tertinggi. Hal ini membuktikan bahwa PETG memiliki karakteristik mekanik yang seimbang antara kekuatan dan elastisitas, sehingga lebih cocok digunakan pada komponen *Pet Feeder* yang bersifat struktural, seperti bak pakan, mangkok Ahmad Najimuddin, dkk. | Analisis Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap....

pakan, dan mekanisme penggerak. Pada material PLA, suhu pencetakan 205°C menghasilkan tegangan tarik tertinggi sebesar 0,0116 MPa, sementara regangan tertinggi diperoleh pada suhu 185°C sebesar 0,1205. Peningkatan suhu hingga 215°C menghasilkan modulus elastisitas tertinggi sebesar 0,1694 GPa, yang mengindikasikan peningkatan kekakuan material namun dengan penurunan sifat elastisitas. Karakteristik ini menunjukkan bahwa PLA cenderung menjadi lebih rapuh seiring peningkatan suhu dan lebih sesuai digunakan untuk komponen non-struktural seperti papan slide dan penutup wadah. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan material dan pengaturan suhu pencetakan harus disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan komponen yang akan dicetak. PETG direkomendasikan untuk bagian utama alat *Pet Feeder* yang membutuhkan ketahanan mekanik, sedangkan PLA sesuai untuk bagian yang tidak menerima beban besar. Pemanfaatan parameter pencetakan yang tepat akan meningkatkan performa cetakan, efisiensi waktu produksi, serta kualitas dari produk akhir. Berdasarkan Analisis tersebut, parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik spesimen PETG adalah ketinggian lapisan (0,1 mm), kemudian diikuti oleh federate (20 mm/s) dan temperatur ekstruder (240°C), serta temperatur meja (70°C). Pada spesimen Nylon, parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik yaitu ketinggian lapisan (0,1 mm), temperatur meja (90°C), temperatur ekstruder (230°C) serta feedrate (30 mm/s). Parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik spesimen PP adalah ketinggian lapisan (0,1 mm), kemudian diikuti oleh temperatur ekstruder (240°C), federate (20 mm/s) serta temperatur meja (90°C). Kekuatan tarik spesimen setelah proses optimasi untuk material PETG, Nylon dan PP berturut-turut adalah 44,29MPa, 37,50MPa dan 19,05MPa (Andriyansyah, 2020). Namun pada penelitian ini masih sebatas uji Tarik dan suhu yang digunakan juga belum sepenuhnya tinggi oleh karena itu, saran dari penelitian ini adalah Untuk meningkatkan sifat mekanis PLA diperlukan eksperimen pada suhu yang lebih ekstrem juga disarankan untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai performa material pada kondisi yang lebih variatif.

REFERENSI

- [1] H. Ngarianto and A. A. S. Gunawan, "Pengembangan Automatic Pet Feeder Menggunakan Platform Blynk Berbasis Mikrokontroler ESP8266," *Eng. Math. Comput. Sci. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2020, doi: 10.21512/emacsjournal.v2i1.6260.
- [2] E. Yulianto, R. Fauzan Wijaya, and Y. Syara, "Sistem Otomatisasi Pet Feeder Pada Kucing

- Berbasis Internet Of Things (IoT),” *Politek. Harapan Bersama*, 2021.
- [3] E. Laia, A. Fauzi, A. A. Pamungkas, A. G. Saputra, and I. E. Luluhan, “Pemanfaatan Botol Bekas Karbol Dan Arduino Untuk Feeder Otomatis Pakan Ternak Masyarakat Rw 02 Kelurahan Limo Kecamatan Limo Kota Depok,” *J. JANATA*, vol. 2, no. 1, pp. 38–43, 2022, doi: 10.35814/janata.v2i1.3538.
- [4] B. A. Setyawan and Y. Ngadiyono, “Analisis Pengaruh Tingkat Kelembaban Filamen PLA Terhadap Nilai Kekuatan Mekanik Hasil Cetak 3D Printing,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2022, doi: 10.21831/dinamika.v7i1.48259.
- [5] H. Ngarianto and A. A. S. Gunawan, “Pengembangan Automatic Pet Feeder Menggunakan Platform Blynk Berbasis Mikrokontroler ESP8266,” *Eng. Math. Comput. Sci. J.*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.21512/emacsjournal.v2i1.6260.
- [6] D. ANDRIYANSYAH and Herianto, “Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap kekuatan Tarik Filamen Foodgrade pada Fused Deposition Methode,” pp. 29–30, 2020.
- [7] N. R. Toha, “Analisis Suhu Ruangan dengan Campuran Serabut Batako,” *Univ. Medan Area*, p. 70, 2022.
- [8] A. Didit, “Uji Pengaruh Kecepatan Dan Perbedaan Suhu Antara Filament Pla Dengan Filament Petg Pada 3D Printer Ender 5 Pro,” *Tugas Akhir*, pp. 56–61, 2021.
- [9] K. Pravitasari *et al.*, “BIODEGRADABLE PADA MAHASISWA BIOLOGI,” 2021.
- [10] H. Budiman, “Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell,” *J-Ensitem*, vol. 3, no. 01, pp. 9–13, 2016, doi: 10.31949/j-ensitem.v3i01.309.
- [11] putri Kurniawati, “No Title زتاز بلا ن زوتلا .” *Univ. Nisant. PGRI Kediri*, vol. 01, pp. 1–7, 2020.
- [12] R. Bernasconi, G. Natale, M. Levi, and L. Magagnin, “Electroless Plating of Pla and Petg for 3D Printed Flexible Substrates,” *ECS Meet. Abstr.*, vol. MA2015-01, no. 14, pp. 1141–1141, 2015, doi: 10.1149/ma2015-01/14/1141.
- [13] A. D. Dobrzańska-Danikiewicz, B. Siwczyk, A. Bączyk, and A. Romankiewicz, “Mechanical properties of recycled PLA and PETG printed by FDM/FFM method,” *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 119, no. 2, pp. 49–59, 2023, doi: 10.5604/01.3001.0053.9490.
- [14] B. Stecula, J. Sitko, K. Stecula, M. Witkowski, and B. Orzeł, “Comparison of the strength of popular thermoplastic materials used in 3D printing - PLA, ABS and PET-G,” *Combust. Engines*, vol. 199, no. 4, pp. 97–103, 2024, doi: 10.19206/ce-189386.
- [15] M. F. Alauddin, S. Susmartini, and L. Herdiman, “Study of 3D Printing Layered Fiber Fabric Filaments as an Alternative to Polypropylene Materials in Ankle Foot Orthosis for Children with Cerebral Palsy,” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 1, pp. 161–170, 2023, doi: 10.23917/jiti.v22i1.21433.
- [16] M. El Mehtedi, P. Buonadonna, R. El Mohtadi, F. Aymerich, and M. Carta, “Surface quality related to machining parameters in 3D-printed PETG components,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 232, no. 2023, pp. 1212–1221, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.01.119.