

**PENENTUAN PARAMETER 3D *PRINTING*
BERDASARKAN UJI SIFAT MEKANIK
DARI HASIL CETAKAN FILAMEN PLA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar
Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri

Disusun oleh:

Nama : Richard Winata
NPM : 6131801099



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2022**

***DETERMINATION OF 3D PRINTING PARAMETERS
BASED ON MECHANICAL PROPERTIES OF
3D PRINTOUT USING PLA FILAMENT***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar
Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri

Disusun oleh:

Nama : Richard Winata
NPM : 6131801099



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2022**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Richard Winata
NPM : 6131801099
Program Studi : Sarjana Teknik Industri
Judul Skripsi : PENENTUAN PARAMETER 3D *PRINTING*
BERDASARKAN UJI SIFAT MEKANIK DARI HASIL
CETAKAN FILAMEN PLA

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, September 2022
**Ketua Program Studi Sarjana
Teknik Industri**

(Dr. Cecilia Tesavrita, S.T., M.T.)

Pembimbing Pertama

Dosen Pembimbing Kedua

ACC 03-09-2022

Ir. Marihot Nainggolan, S.T., M.T., M.S.

Cherish Rikardo, S.Si., M.T.

**PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU
MELAKUKAN PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Richard Winata

NPM : 6131801099


dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan Judul:

**“PENENTUAN PARAMETER 3D *PRINTING* BERDASARKAN UJI SIFAT
MEKANIK DARI HASIL CETAKAN FILAMEN PLA”**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, 4 Agustus 2022



Richard Winata

NPM : 6131801099

ABSTRAK

Seiring dengan kemajuan teknologi, semakin bertambah jumlah perusahaan yang menggunakan mesin 3D *printing* berteknologi FDM untuk keperluan bisnis ataupun pribadi. Hal ini mendukung penggunaan bahan polimer yang berlebihan, spesifiknya material PLA. Berdasarkan dari literatur diketahui bahwa produksi material PLA telah mencapai sekitar 293.000 ton pada tahun 2019. Saat ini telah ditemukan pengolahan limbah PLA menjadi filamen PLA kembali (rPLA). Filamen rPLA telah dipasarkan, namun informasi terkait pengaturan parameter 3D *printing* dan nilai dari sifat mekaniknya masih terbatas sehingga pemanfaatannya belum dapat diketahui dengan jelas.

Perancangan eksperimen dengan metode *Taguchi* digunakan dalam penentuan parameter proses mesin cetak 3D. Penentuan respon, faktor, dan level faktor dipertimbangkan melalui literatur dan percobaan awal. Sebanyak lima (5) faktor yang diteliti, yaitu: jenis material, *extrusion temperature*, *layer height*, *printing speed*, dan *fan speed*. Sementara itu, terdapat empat (4) variabel respon, yaitu: kekuatan tarik maksimum, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan kekerasan *shore*.

Nilai respon dianalisis menggunakan metode *response graph* dan ANOVA. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa jenis material dan *layer height* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap seluruh respon sifat mekanik. Sementara itu, hasil *response graph* menunjukkan bahwa material PLA non daur ulang masih lebih unggul terhadap keempat respon sifat mekanik yang diteliti dibandingkan PLA daur ulang. Lalu, parameter *layer height* sebesar 0,1 mm direkomendasikan untuk seluruh respon.

Kata kunci : FDM, filamen rPLA, sifat mekanik

ABSTRACT

Along with technological advances, more and more companies used 3D printing machines with FDM technology for business as well as personal purposes. This supports the excessive use of polymer materials, specifically PLA materials. In 2019, it is known that the production of PLA material reached around 293,000 tons. At the moment, the recycling process of PLA waste into PLA filaments (rPLA) has been found. The rPLA filament has been marketed, but the information regarding the 3D printing parameter settings and the value of its mechanical properties is still limited. Hence, its application is still not clearly known.

Design of experiment Taguchi was used in the data collection process. Determining the response, and the level of the factors considered through the literature and initial trials. A total of five (5) factors were investigated: type of material, extrusion temperature, layer height, printing speed, and fan speed. Meanwhile, four (4) response variables are ultimate tensile strength, yield strength, modulus of elasticity, and shore hardness.

Response values were analyzed using the response graph method and ANOVA. Based on the result of the response graph, non-recycled PLA material still excels in all responses compared to recycled PLA material. A layer height of 0.1 mm is recommended for all four responses. Furthermore, the ANOVA results show that the type of material and the layer height have a significant effect on all responses of the mechanical properties.

Keywords : FDM, rPLA filament, mechanical properties

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat dan rahmatnya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penentuan Parameter 3D *Printing* Berdasarkan Uji Sifat Mekanik Dari Hasil Cetakan Filamen PLA”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Industri di Universitas Katolik Parahyangan. Selama proses penyusunan skripsi, penulis memperoleh banyak pengalaman dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Marihot Nainggolan, S.T., M.T., M.S. dan Ibu Cherish Rikardo, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, waktu, dan dukungan dari awal hingga akhir penyelesaian laporan skripsi.
2. Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si. dan Bapak Hanky Fransiscus, S.T., M.T. selaku dosen penguji proposal skripsi dan sidang skripsi atas kritik, usulan, dan masukan yang berguna dalam penyusunan laporan skripsi.
3. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan penuh, doa, dan semangat kepada penulis selama proses pengerjaan laporan skripsi.
4. Steven Wirajaya selaku teman seperjuangan sekaligus teman satu topik penelitian yang telah mendukung penulis sehingga proses skripsi menjadi lebih lancar.
5. Teman-teman kelas D angkatan 2018 atas segala kerjasama dan kenangan selama masa perkuliahan.
6. David, Jenifer Victoria Bellinda, Ruth Theodora Wiyono, dan Tritita Kirana yang bersedia untuk bekerja sama selama masa perkuliahan.
7. Andrian, Calvin Manoppo, Chalvin Gilbert, Stanislaus Krisna, Valencio Giovanni Lawardi, dan Yohanes Patrick yang telah membagikan canda dan tawa selama masa perkuliahan.
8. Seluruh pihak yang terlibat selama pengerjaan skripsi dan proses perkuliahan yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitiannya masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang dapat membangun penelitian ke arah yang lebih baik. Laporan skripsi ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian selanjutnya.

Bandung, 5 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah	I-1
I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	I-4
I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi	I-7
I.4 Tujuan Penelitian	I-7
I.5 Manfaat Penelitian	I-7
I.6 Metodologi Penelitian.....	I-7
I.7 Sistematika Penulisan.....	I-10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 3D <i>Printing</i>	II-1
II.1.1 Material PLA.....	II-2
II.1.2 Fused Deposition Modeling (FDM).....	II-3
II.2 Eksperimen	II-6
II.2.1 Metode Taguchi	II-9
II.2.2 <i>Response Graph Method</i>	II-15
II.2.3 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	II-17
II.3 Sifat Material	II-19
II.4 Uji Sifat Mekanik	II-19
II.4.1 Uji Tarik	II-19
II.4.2 Uji Kekerasan.....	II-22
BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	III-1
III.1 Percobaan Awal	III-1
III.2 Perancangan Eksperimen.....	III-2
III.3 Pengumpulan Data	III-5

III.3.1	Data Uji Tarik	III-6
III.3.2	Data Uji Kekerasan.....	III-8
III.4	Pengolahan Data.....	III-11
III.4.1	Pengujian Asumsi ANOVA.....	III-11
III.4.1	<i>Response Graph Method</i> menggunakan <i>S/N Ratio</i>	III-13
III.4.2	Perhitungan ANOVA.....	III-17
BAB IV ANALISIS.....		IV-1
IV.1	Analisis Percobaan Awal.....	IV-1
IV.2	Analisis Perancangan Eksperimen	IV-2
IV.3	Analisis Penentuan Respon, Faktor dan Level Faktor	IV-3
IV.4	Analisis Hasil Desain Eksperimen.....	IV-4
IV.5	Rekomendasi Level Faktor.....	IV-4
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spesifikasi Anycubic Mega Zero Printer	II-5
Tabel II.2 Jenis Parameter 3D <i>Printing</i> Ultimaker Cura	II-5
Tabel II.3 Model Matriks Ortogonal Standar dengan 3 Level.....	II-13
Tabel II.4 Matriks Ortogonal $L_{18}(2^1 \times 3^7)$	II-13
Tabel II.5 Rekapitulasi Data Respon (Contoh).....	II-15
Tabel II.6 Total Nilai Respon (Contoh)	II-16
Tabel II.7 Rata-rata Respon dan Urutan Pengaruh Faktor (Contoh).....	II-16
Tabel II.8 ANOVA.....	II-18
Tabel II.9 Dimensi Spesimen Uji Tarik Tipe IV	II-22
Tabel II.10 Skala Shore Hardness sesuai ASTM D2240	II-23
Tabel III.1 Percobaan Awal.....	III-1
Tabel III.2 Level Parameter Eksperimen (<i>design factor</i>).....	III-2
Tabel III.3 Level Parameter Eksperimen Konstan.....	III-3
Tabel III.4 Aplikasi Matriks Ortogonal $L_{18}(2^1 \times 3^7)$	III-5
Tabel III.5 Rekapitulasi Data Uji Tarik	III-7
Tabel III.6 Data Uji Kekerasan (<i>Repeated Measurement</i>)	III-8
Tabel III.7 Rekapitulasi Data Uji Kekerasan	III-10
Tabel III.8 Data Residual pada Setiap Respon	III-11
Tabel III.9 Rekapitulasi Pengujian Normalitas Data.....	III-12
Tabel III.10 Rekapitulasi Pengujian Homogenitas Varian	III-12
Tabel III.11 Rasio S/N Terhadap Respon Uji Tarik	III-13
Tabel III.12 Rata-rata Rasio S/N untuk Kekuatan Tarik Maksimum	III-14
Tabel III.13 Rasio S/N Terhadap Respon Uji Kekerasan.....	III-15
Tabel III.14 Rata-rata Rasio S/N untuk Kekuatan Tarik Maksimum	III-16
Tabel III.15 Rekapitulasi Urutan Faktor Beserta Nilai Level Pilihan	III-17
Tabel III.16 ANOVA Rasio S/N untuk Kekuatan Tarik Maksimum.....	III-18
Tabel III.17 ANOVA untuk <i>Shore D Hardness</i>	III-19
Tabel III.18 Rekapitulasi Hasil ANOVA	III-20

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Tren Pasar 3D <i>Printing</i>	I-2
Gambar I.2 Proporsi Penggunaan Material 3D <i>Printing</i>	I-3
Gambar I.3 Proporsi Penggunaan Material Bioplastic 2021	I-4
Gambar I.4 Metodologi Penelitian	I-8
Gambar II.1 Klasifikasi Material 3D <i>Printing</i>	II-1
Gambar II.2 Model Umum Proses	II-7
Gambar II.3 Grafik Respon	II-16
Gambar II.4 Kurva Stress-Strain.....	II-20
Gambar II.5 Spesimen sesuai ASTM D638 Tipe IV	II-22
Gambar III.1 Mesin Uji Tarik Instron 2663-901	6
Gambar III.2 Kurva <i>Stress-Strain recycle</i> PLA Daur Ulang (<i>Treatment 1-4</i>).....	7
Gambar III.3 Instrumen <i>Shore D Durometer</i>	8
Gambar III.4 Respon Rasio S/N untuk Kekuatan Tarik Maksimum.....	14
Gambar III.5 Grafik Respon Rasio S/N untuk <i>Shore D Hardness</i>	16
Gambar III.6 <i>Shore D Hardness Interaction Plot</i>	19

BAB I

PENDAHULUAN

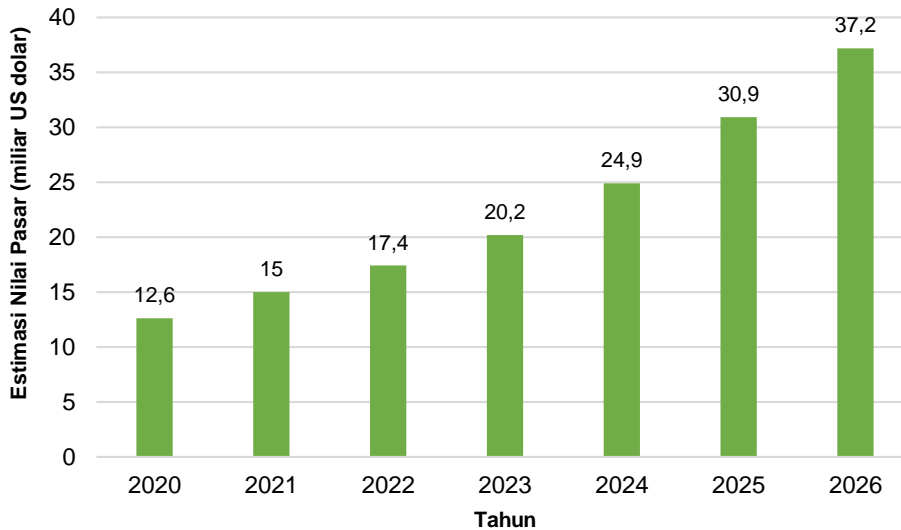
Pada bab ini akan dibahas mengenai hal yang mendasari dilakukannya penelitian. Pembahasan tersebut disusun menjadi beberapa bagian yaitu latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan. Berikut merupakan pembahasan untuk masing-masing subbab.

I.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini, banyak perusahaan manufaktur yang telah menerapkan teknologi 3D *printing* untuk keperluan bisnisnya. Hal ini disebabkan teknologi 3D *printing* menawarkan berbagai keunggulan dalam proses produksi, seperti mempermudah pembuatan produk dengan desain yang kompleks. Selain itu, 3D *printing* tidak bergantung pada peralatan yang relatif mahal.

3D *printing* (*additive manufacturing*) merupakan proses produksi secara adiktif dimana benda kerja dibentuk dengan menggunakan lapisan material (Redwood, Schoffer, & Garret, 2017). Menurut Redwood et al (2017), 3D *printing* lebih efisien dari sudut penggunaan material dibandingkan teknik manufaktur konvensional (*formative* ataupun *subtractive*), dimana material biasanya melalui proses pemotongan sehingga mengakibatkan sebagian material terbuang. Adapun keterbatasan dari 3D *printing*, yaitu tidak memiliki kapabilitas untuk memproduksi komponen dengan sifat material yang serupa terhadap komponen yang dihasilkan melalui teknik manufaktur konvensional. Hal tersebut disebabkan oleh komponen yang dihasilkan melalui 3D *printing* bersifat anisotropik dan tidak sepenuhnya padat. Anisotropik berarti sifat material bergantung pada arah atau orientasi atom (Callister & Rethwisch, 2018).

Pada tahun 2020, pasar global 3D *printing* mengalami peningkatan sebesar 21% dari tahun 2019 (Everett, 2021). Kemudian, sekitar 65% teknik bisnis mulai memproduksi lebih banyak melalui teknologi 3D *printing*. Adapun laporan prediksi berupa data pasar 3D *printing* yang dapat dilihat pada Gambar I.1.

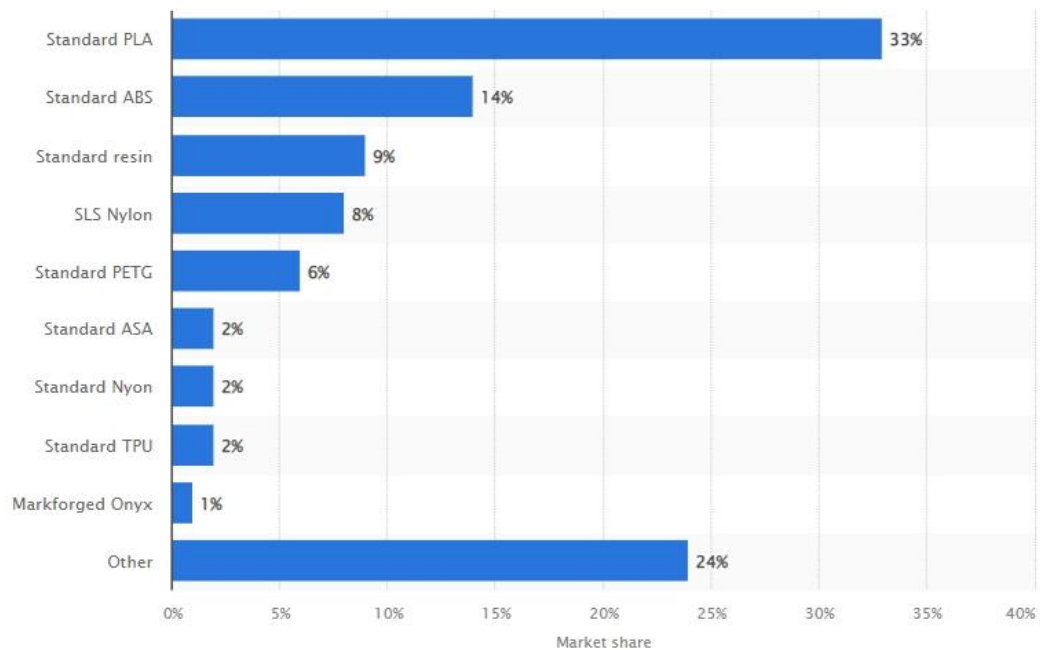


Gambar I.1 Tren Pasar 3D *Printing*
(Sumber: Everett, 2021)

Pada Gambar I.1, Everett (2021) membandingkan laporan dari sembilan perusahaan analis pasar terkemuka untuk mengevaluasi segmen pasar 3D *printing*. Berdasarkan dari laporannya, pasar 3D *printing* diprediksi akan meningkat dengan rata-rata nilai estimasi sebesar 15 juta US dolar pada tahun 2021 hingga 37,2 juta US dolar pada tahun 2026. Estimasi tersebut memperhitungkan nilai pendapatan dari 3D *printing*, perangkat lunak, material, dan jasa. Dengan kata lain, penggunaan teknologi 3D *printing* diramalkan akan mengalami peningkatan lebih dari dua kali lipat dari tahun 2021 hingga lima tahun mendatang. Menurut Everett (2021), setiap tahunnya perusahaan bidang teknik terus mencari manfaat dari 3D *printing* yang manfaatnya tidak hanya sekedar prototipe tetapi juga terhadap produk akhir yang memiliki kegunaan.

Berdasarkan data dunia (Statista, 2018) pada Gambar I.2, diketahui terdapat beberapa material yang digunakan pada teknologi 3D *printing* sebagian besar adalah material PLA. Pada Gambar I.2, diketahui bahan *polylactic acid* (PLA) memiliki proporsi penggunaan terbesar, yaitu 33% dari keseluruhan bahan 3D *printing* lainnya. PLA tergolong ke dalam material polimer yang bersifat termoplastik. Dalam teknologinya, material PLA digunakan pada teknik pencetakan FDM (*Fused Deposition Modeling*). Umumnya FDM digunakan untuk menghasilkan prototipe, mainan, miniatur, *packaging*, *electronic housing*, *casing*,

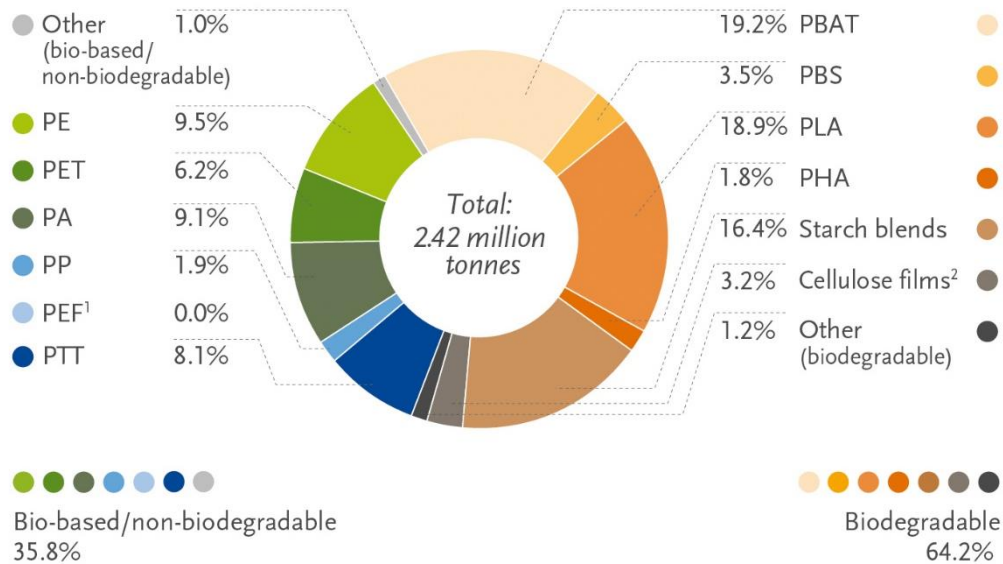
jig dan *fixture*, dan lainnya. Berdasarkan hal ini maka diketahui bahwa penggunaan material PLA relatif populer dengan pengaplikasian yang beragam (Mikula et al, 2020). Pada Gambar 1.2 ditampilkan jenis material yang umum digunakan dalam 3D *printing* (Statista, 2018).



Gambar 1.2 Proporsi Penggunaan Material 3D *Printing*
(Sumber: <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>)

Berdasarkan artikel Mikula et al (2020), akhir dari aktivitas 3D *printing* juga dapat menghasilkan sisa-sisa atau limbah material yang bisa disebabkan dari kegagalan pencetakan atau material bekas pendukung struktur. Selain aplikasi pada 3D *printing*, material PLA banyak diaplikasikan pada keperluan rumah tangga, seperti pakaian, botol-botol, *cup*, dan peralatan makan (Sin & Tueen, 2019). Berdasarkan dari literatur Sombatsompop, Srimalanon, Markpin, & Prapagdee (2021) diketahui bahwa produksi material PLA telah mencapai sekitar 293.000 ton pada tahun 2019. Kemudian, terdapat survei yang menunjukkan bahwa sebagian besar material PLA diaplikasikan untuk pengemasan makanan dimana penggunaannya hanya sekali pakai, dan penggunaan ini diprediksi akan terus meningkat.

Berdasarkan Gambar I.3, diketahui material PLA telah menempati posisi kedua terbesar dalam kapasitas produksi dari bioplastik, yaitu sebesar 18,9% dari 2,42 juta ton. Pada Gambar I.3 ditampilkan proporsi penggunaan material bioplastik 2021.



Gambar I.3 Proporsi Penggunaan Material Bioplastic 2021
(Sumber: <https://www.european-bioplastics.org/market/>)

Berdasarkan artikel Mikula et al (2020), saat ini telah ditemukan cara untuk mengolah kembali limbah berbahan PLA menjadi filamen PLA daur ulang. Hal ini memberikan alternatif lain bagi para pengguna filamen PLA berbahan *virgin* (non daur ulang) untuk juga menggunakan filamen PLA daur ulang. Dengan begitu, terdapat upaya untuk mengurangi jumlah limbah plastik spesifiknya plastik PLA. Adapun dampak dari proses daur ulang ditambah dengan proses saat 3D *printing*, yaitu penurunan kekuatan mekanik pada material PLA akibat panas yang diterima. Oleh karena itu, masih terdapat komposisi material PLA non daur ulang dalam pengolahan daur ulang untuk meningkatkan sifat mekaniknya.

I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Berdasarkan dari hasil penelitian terdahulu, peningkatan penggunaan 3D *printing* secara global memicu pencarian alternatif baru untuk diterapkan dalam kehidupan, yaitu penggunaan filamen PLA berbahan daur ulang. Namun, ditemukan pula adanya fenomena berupa penurunan sifat material salah satunya adalah sifat mekanik dari hasil pengolahan daur ulang hingga saat diproses dalam

3D *printing* (Mikula et al, 2020). Walaupun sifat material telah ditingkatkan dengan pencampuran bahan *virgin*, biasanya mutu dari filamen daur ulang tidak akan sebaik dibandingkan dengan filamen berbahan *virgin* (Singh et al, 2017).

Menurut Kuhn dan Medlin (2000), sifat mekanik sebagai salah satu sifat material memiliki keterkaitan terhadap perancangan produk. Salah satu kriteria dalam perancangan produk adalah keamanan produk. *Safety factor* dijadikan sebagai target ukuran tegangan (*stress*) dari prototipe, misalnya tegangan maksimum yang diperbolehkan. Oleh karena itu, sifat mekanik akan berperan sebagai ukuran untuk melihat kekuatan dari hasil pencetakan yang menggunakan filamen PLA berbahan daur ulang. Dengan kata lain, sifat mekanik dijadikan sebagai respon dalam eksperimen.

Saat ini telah dilakukan penelitian terhadap sifat mekanik dari berbagai bahan polimer hasil daur ulang yang diterapkan pada FDM. Akan tetapi, informasi mengenai sifat mekanik hasil daur ulang masih terbatas. Walaupun demikian, filamen yang berbahan daur ulang telah dijual secara umum. Menurut Anderson (2017), penelitian terhadap sifat mekanik bahan daur ulang yang dibandingkan dengan bahan *virgin* akan memberikan pengetahuan dasar untuk pengembangan teknologi 3D *printing* berikutnya. Akan tetapi, penelitian Anderson (2017) hanya membandingkan kekuatan tarik dari hasil cetakan secara statistik antara cetakan spesimen yang berbahan PLA *virgin* dengan daur ulang, dimana tidak terdapat variasi perlakuan sehingga tidak dapat mengetahui parameter yang berpengaruh signifikan terhadap proses.

Beberapa penelitian (Babagowda, Math, Goutham, & Prasad, 2018; Tan, Tanoto, Jonoadji, & Christian, 2021) telah mencoba meneliti beberapa parameter 3D *printer* berteknologi FDM yang menggunakan filamen PLA daur ulang. Pada penelitian Babagowda et al (2018) diteliti 2 parameter, yaitu: *layer thickness* (3 level) dan komposisi material daur ulang (5 level). Sementara itu, Tan et al (2021) meneliti 3 parameter dengan 3 level pada setiap parameter, yaitu: *fan speed*, *extrusion temperature*, dan *bed temperature*. Berdasarkan penelitian Tan et al (2021) faktor dari *fan speed*, *extrusion temperature*, *bed temperature*, serta interaksi antara *extrusion temperature* dan *bed temperature* merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Akan tetapi, pada penelitian ini mesin *printer* tidak memiliki kapabilitas untuk mengatur *bed temperature* sehingga terdapat kemungkinan bahwa pengaturan dari *fan speed* dan *extrusion*

temperature yang terbaik akan berbeda. Dengan demikian, terdapat perbedaan perlakuan dari penelitian terdahulu sehingga ingin diketahui hasil yang diperoleh bila 3D *printing* dilakukan dengan filamen berkomposisi PLA daur ulang yang memiliki spesifikasi tertentu, serta mesin 3D *printer* tertentu.

Adapun penelitian yang menunjukkan bahwa pengaturan parameter tertentu pada mesin 3D *printer* berteknologi FDM memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik (Popescu, Zapciu, Amza, Baci, & Marinescu, 2018). Parameter yang telah diteliti dan dinyatakan memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik, yaitu *printing temperature*, *printing speed*, *layer height*, *raster angle*, dan lainnya.

Komposisi filamen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 55% daur ulang (45% *virgin*). Penentuan filamen disesuaikan dengan filamen yang tersedia dipasar *online*. Lalu, mesin 3D *printer* yang digunakan adalah *Anycubic Mega Zero Printer*. Desain eksperimen yang digunakan adalah metode Taguchi. Metode ini cocok untuk eksperimen dengan jumlah faktor yang relatif banyak sehingga lebih efisien dari segi waktu dan biaya dibandingkan dengan perancangan *full factorial*. Selain itu, metode Taguchi juga memiliki penekanan pada *noise* (gangguan) agar perancangan eksperimen bersifat lebih kokoh sehingga variabilitas pada respon akibat dari faktor tak terkendali dapat diminimalisir. Sementara itu, pengujian sifat mekanik dilakukan dengan uji tarik dan uji kekerasan. Parameter yang diteliti adalah jenis material, *printing temperature*, *layer height*, *printing speed*, dan *fan speed*.

Dengan demikian, ingin diketahui sifat mekanik dari material PLA daur ulang untuk dibandingkan dengan material *virgin* yang diproses dengan teknologi 3D *printer* tertentu. Selain itu, parameter tersebut akan dianalisis sehingga diketahui nilai-nilai parameter yang sebaiknya digunakan untuk menghasilkan macam-macam kekuatan mekanik terbaik. Berdasarkan identifikasi permasalahan di atas maka dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Apa parameter 3D *printer* yang mempengaruhi sifat mekanik dari hasil cetakan secara signifikan bila menggunakan filamen PLA daur ulang?
2. Bagaimana pengaturan parameter 3D *printer* yang sebaiknya digunakan bila menggunakan filamen PLA daur ulang agar menghasilkan sifat mekanik yang terbaik?

I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi

Penelitian yang dilakukan memiliki batasan masalah dan asumsi penelitian. Batasan masalah terdapat pada jumlah parameter mesin 3D *printer* yang diteliti, dimana hanya meneliti parameter *printing temperature*, *layer height*, *printing speed*, dan *fan speed*. Sementara itu, faktor lingkungan seperti suhu ruangan dan kelembapan udara di sekitar mesin diasumsikan tidak berubah.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki hal-hal yang ingin dicapai. Tujuan ini disesuaikan dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Tujuan penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

1. Mengetahui parameter 3D *printer* yang mempengaruhi sifat mekanik dari hasil cetakan secara signifikan bila menggunakan filamen PLA daur ulang.
2. Mengetahui pengaturan parameter 3D *printer* yang sebaiknya digunakan bila menggunakan filamen PLA daur ulang agar menghasilkan sifat mekanik yang terbaik.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, baik kepada pengguna teknologi yang serupa maupun penelitian berikutnya. Manfaat dari penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

1. Penerapan parameter yang sesuai pada mesin 3D *printer* untuk memproses filamen PLA berbahan daur ulang sehingga dapat mencegah kejadian cacat produksi.
2. Perusahaan dapat mengurangi kerugian material akibat kurang tepatnya pengaturan parameter pada mesin 3D *printer*.

I.6 Metodologi Penelitian

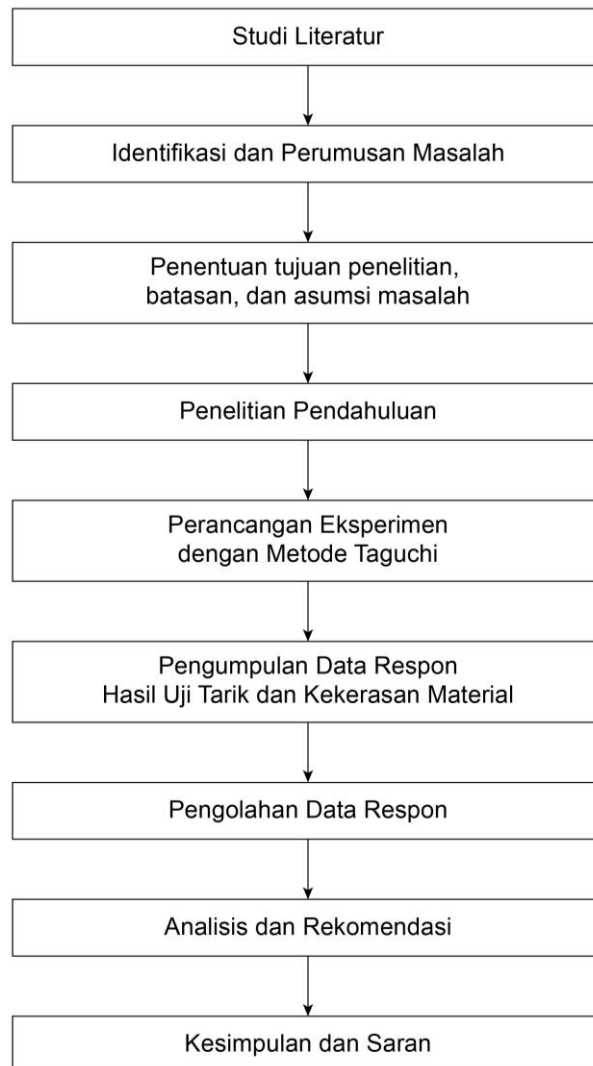
Metodologi penelitian akan membahas tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian. Selain itu juga disebutkan metode-metode yang digunakan sesuai persoalan. Dengan begitu, proses penelitian dapat berjalan secara tersistematis.

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian informasi-informasi dan studi literatur terkait topik penelitian. Informasi berupa permasalahan akan dijadikan sebagai sumber pendukung dilakukannya penelitian. Studi literatur bersumber dari jurnal, artikel, dan buku sebagai referensi selama proses pelaksanaan penelitian.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahap ini dijelaskan masalah yang sedang timbul saat ini. Identifikasi masalah dilakukan dengan observasi melalui studi literatur yang terkait dengan topik. Berdasarkan hasil pencarian, dibuat pertanyaan mengenai hal-hal yang perlu dijawab sebagai pendorong kegiatan penelitian.



Gambar I.4 Metodologi Penelitian

3. **Penentuan Tujuan Penelitian, Batasan, dan Asumsi Masalah**
Pembatasan masalah ditujukan untuk membatasi permasalahan yang dihadapi agar permasalahan yang diteliti menjadi lebih spesifik. Sementara asumsi dilakukan untuk menyederhanakan masalah tetapi tidak mengakibatkan pengaruh yang signifikan terhadap penelitian.
4. **Penelitian Pendahuluan**
Pada tahap ini dilakukan percobaan awal untuk mengeksplorasi faktor-faktor eksperimen. Dengan begitu, dapat ditetapkan faktor dan level faktor sehingga dapat dilakukan eksperimen.
5. **Perancangan Eksperimen dengan Metode Taguchi**
Dalam perancangannya terdapat tiga tahapan utama yang dilakukan, yaitu: tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisis.
6. **Pengumpulan Data Respon Hasil Uji Tarik dan Kekerasan Material**
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dari pengujian spesimen. Hasil uji tarik dan kekerasan terhadap spesimen akan memperoleh data mengenai sifat mekaniknya. Data-data tersebut kemudian direkapitulasi untuk diolah dan analisis lebih lanjut.
7. **Pengolahan Data Respon**
Pada tahap ini dilakukan pengolahan data hasil uji tarik. Pengolahan data dilakukan dengan analisis varian Taguchi, uji F, dan rasio S/N. Selain itu juga dilakukan perbandingan antara sifat mekanik dari spesimen berbahan PLA daur ulang dengan PLA *virgin*.
8. **Analisis dan Rekomendasi**
Pada tahap ini dilakukan analisis penelitian pendahuluan dan pengolahan data sehingga diperoleh penjabaran lebih jelas terkait kegiatan penelitian. Kemudian, berdasarkan analisis akan direkomendasikan kombinasi perlakuan yang terbaik berdasarkan level faktor penelitian.
9. **Kesimpulan dan Saran**
Pada bagian ini, akan dipaparkan kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian. Selain itu juga diberikan rekomendasi yang dapat diterapkan sebagai referensi bagi pengguna teknologi yang serupa dan penelitian berikutnya.

I.7 Sistematika Penulisan

Pada subbab ini, akan dijelaskan mengenai isi dari sistematika penulisan laporan dari hasil penelitian. Penelitian ini terdiri atas lima bagian utama. Selanjutnya dijelaskan sekilas mengenai pembahasan dari masing-masing bab.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Hal-hal tersebut berguna dalam mendorong sebuah penelitian perlu dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang diterapkan dalam penelitian ini. Kegiatan penelitian menjadi lebih terjamin kualitas dan kebenarannya bila menggunakan studi literatur yang terpercaya. Studi literatur terkait topik penelitian terdiri dari material *polylactic acid (PLA)*, *fused deposition modeling (FDM)*, *design of experiment Taguchi*, *analysis of variance*, sifat material, dan uji sifat mekanik.

BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang seluruh proses yang dilakukan dalam penelitian. Namun, sebelum melakukan eksperimen yang sesungguhnya dilakukan percobaan awal sebagai eksplorasi terhadap parameter yang akan diteliti. Selanjutnya, dibahas mengenai perancangan eksperimen, pengumpulan data respon, dan pengolahan data dengan bantuan *software* Minitab 19.

BAB IV ANALISIS

Bab ini menjelaskan alasan mengenai keputusan yang dilakukan selama penelitian. Bab ini terdiri atas analisis percobaan awal, analisis perancangan eksperimen, analisis penentuan respon, faktor dan level faktor, dan analisis uji sifat mekanik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran. Berdasarkan dari hasil analisis terhadap pengolahan data, informasi-

informasi penting dirangkum kembali sehingga diperoleh kesimpulan. Selain itu juga terdapat pula saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian serupa kedepannya.