



**PENGARUH PARAMETER *3D PRINTING* TERHADAP  
KUAT TARIK PRODUK BERBAHAN PLA-KUNINGAN**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Indra Cahyo Kuncoro  
181910101063**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JEMBER  
2023**



**PENGARUH PARAMETER 3D PRINTING TERHADAP  
KUAT TARIK PRODUK BERBAHAN PLA-KUNINGAN**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana  
pada program studi S1 Teknik Mesin*

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Indra Cahyo Kuncoro  
181910101063**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JEMBER  
2023**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Parameter *3D Printing* terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA-Kuningan”. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan persembahan sebesar-besarnya atas doa, bimbingan dan dukungan yang selama ini diberikan dalam menyelesaikan skripsi ini, antara lain:

1. Kedua orang tua saya Bapak Waloyo dan Ibu (Almh.) Rumiati yang telah memberikan semangat, motivasi serta doa yang senantiasa menyertai. Serta kakak saya Yayan Ika Rachmawati, S.Farm., Apt dan Angga Dwi Hermawan Amd. Kep. yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingan selama masa perkuliahan.
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku kepala Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama serta Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota skripsi yang telah membimbing, memberikan arahan, motivasi serta saran dalam melaksanakan penelitian ini.
4. Bapak Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji Utama serta Bapak Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penelitian skripsi ini.
5. Semua Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Seluruh tim riset *Filament Extruder* yang saling membantu dalam melaksanakan penelitian. Serta teman-teman Teknik Mesin angkatan 2018 yang telah membantu dalam berbagai hal sedari awal perkuliahan.

**MOTTO**

“Dengan mimpi yang selalu kutiupkan nafas didalamnya, jangankan perahu,  
bahkan aku kan mampu membuat bahtera seagung bahtera Nabi Nuh”

(Andrea Hirata Seman Said Harun)

“Yang terbaik, tak harus selalu jadi yang pertama”

(Yayan Ika Rachmawati)



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Indra Cahyo Kuncoro

NIM : 181910101063

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Pengaruh Parameter 3D Printing terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA-Kuningan* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juli 2023

Yang menyatakan,

Indra Cahyo Kuncoro

181910101063

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi berjudul *Pengaruh Parameter 3D Printing terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA-Kuningan* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 5 Juli 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Pembimbing**

**Tanda Tangan**

1. Pembimbing Utama

Nama : Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D

(.....)

NIP : 197003221995011001

2. Pembimbing Anggota

Nama : Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

(.....)

NIP : 197111141999031002

**Penguji**

1. Penguji Utama

Nama : Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro

(.....)

Wibowo S.T., M.Eng

NIP : 196707081994121001

2. Penguji Anggota

Nama : Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T.

(.....)

NIP : 197008-72002121001

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi manufaktur telah mengalami berbagai inovasi, salah satunya *3D printing*. Perkembangan *3D printing* telah diadaptasi dalam berbagai bidang. Salah satu inovasi *3D printing* saat ini adalah pembuatan filamen dengan campuran metal. Dalam penelitian ini dilakukan inovasi penelitian dengan menggunakan filamen PLA-kuningan. Proses pencetakan ini dilakukan dengan memperhatikan *extruder temperature*, *print speed*, dan *layer height* sebagai parameter kendali. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik, untuk mengetahui kombinasi parameter *3D printing* yang akan menghasilkan nilai kekuatan tarik optimal.

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dengan proses yang dapat menekan biaya fabrikasi seminimal mungkin. Matriks *orthogonal*  $L_4(2)^3$  yang akan menghasilkan empat kombinasi eksperimen dan dilakukan tiga kali replikasi sehingga menghasilkan jumlah dua belas kali eksperimen. Setelah diperoleh data hasil pengujian tarik dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). Pengolahan data ini dilakukan untuk menemukan parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap hasil pengujian kekuatan tarik.

Kombinasi parameter yang menghasilkan nilai kekuatan tarik optimal pada penelitian ini adalah *extruder temperature* sebesar 230 °C, *print speed* sebesar 20 mm/s, dan *layer height* sebesar 0,2 mm. Dengan nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 11,02 N/mm<sup>2</sup> dan terendah sebesar 7,02 N/mm<sup>2</sup>. Kombinasi faktor yang berkontribusi secara signifikan terhadap hasil kekuatan tarik yaitu, *extruder temperature* sebesar 38,81 %, *layer height* sebesar 17,5 % dan *print speed* sebesar 15,26 %.

Kata kunci: *3D printing*, PLA-kuningan, Kekuatan tarik



**ABSTRACT**

*The development of manufacturing technology has experienced various innovations, one of which is 3D printing. The progress of 3D printing has been adapted in various fields. One of the current innovations in 3D printing is the production of metal alloys filaments. In this research, an innovation is conducted using PLA-brass filament. The printing process is carried out by considering extruder temperature, print speed, and layer height as control parameters. Subsequently, tensile testing is performed to determine the optimal combination of 3D printing parameters that will yield the highest tensile strength.*

*This research utilizes the Taguchi method with the aim of improving product quality while minimizing fabrication costs. An  $L_4(2)^3$  orthogonal matrix is employed, resulting in four experimental combinations, which are replicated three times, totaling twelve experiments. After obtaining the tensile testing data, data analysis is performed using Analysis of Variance (ANOVA). This data processing is conducted to identify the parameters that significantly affect the tensile strength test results.*

*The combination of parameters that yields the optimal tensile strength in this study is an extruder temperature of 230°C, a print speed of 20 mm/s, and a layer height of 0.2 mm. The highest average tensile strength obtained is 11.02 N/mm<sup>2</sup>, while the lowest is 7.02 N/mm<sup>2</sup>. The combination of factors that significantly contribute to the tensile strength results is extruder temperature at 38.81%, layer height at 17.5%, and print speed at 15.26%.*

*Keywords: 3D printing, PLA-brass filaments, Tensile strenght*



## RINGKASAN

**Pengaruh Parameter 3D Printing terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA-Kuningan;** Indra Cahyo Kuncoro, 181910101063; 2023; 73 halaman; Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Perkembangan teknologi manufaktur saat ini telah mengalami berbagai inovasi yang meningkatkan kualitas yang dapat bersaing dipasaran. Salah satu inovasi yang sedang naik daun saat ini adalah *3D printing*. Teknologi *3D printing* telah diadaptasi dalam berbagai bidang dikarenakan proses pembuatan purwarupa yang mudah dan dapat disesuaikan. Teknologi *3D printing* atau yang dikenal dengan istilah *Additive manufacturing* merupakan metode pembuatan objek tiga dimensi dengan menyusun lapisan tipis secara berurutan hingga terbentuk objek.

Penggunaan material termoplastik dalam proses *3D printing* beberapa tahun terakhir telah mengalami perkembangan, salah satunya jenis filamen yang di pasaran terus mengalami inovasi. Peningkatan inovasi filamen berkembang pada beberapa aspek, meliputi bahan penyusunnya, sifat mekaniknya maupun spesifikasi ukuran filamen. Salah satu inovasi filamen yang berkembang adalah filamen campuran termoplastik dan metal. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tarik menggunakan filamen PLA-kuningan buatan sendiri menggunakan filamen buatan sendiri. Pengujian ini menggunakan tiga parameter kendali yaitu, *extruder temperature*, *print speed* dan *layer height* dengan masing-masing parameter memiliki dua level dan dilakukan tiga kali replikasi.

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium perancangan mekanik Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian ini dimulai pada bulan September 2022 - Mei 2023. Pengolahan data pengujian kekuatan tarik menggunakan metode Taguchi dengan matrik *orthogonal*  $L_4(2)^3$  dilakukan dengan menggunakan *Analisis of Variance* (ANOVA). Pengolahan data ini dilakukan untuk menemukan parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap hasil pengujian kekuatan tarik.

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa parameter optimal yang berkontribusi secara signifikan terhadap nilai kekuatan tarik adalah *extruder*

*temperature* pada level 230 °C, *layer height* pada level 0,2 mm dan *print speed* pada level 20 mm/s. parameter tersebut menghasilkan nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 11,02 N/mm<sup>2</sup>. Kombinasi parameter tersebut dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik filamen PLA-kuningan.

Parameter *extruder temperature* memiliki kontribusi sebesar 38,81 %. Pengaturan suhu ekstruder yang tepat akan meningkatkan ikatan antar lapisan. Parameter *layer height* memberikan kontribusi sebesar 17,5 %. Semakin banyak jumlah lapisan penyusun spesimen akan meningkatkan ikatan spesimen. Parameter *print speed* memberikan kontribusi terkecil yaitu sebesar 15,26 %. Dengan mengatur kecepatan cetak yang tepat dapat mengoptimalkan proses ekstrusi filamen dan menghasilkan cetakan yang lebih padat.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Parameter 3D Printing terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA-Kuningan” dengan baik dan selesai sesuai dengan waktu yang direncanakan. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terima kasih dengan tulus penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penyusunan skripsi dan telah memberikan berbagai dukungan kepada penulis, khususnya kepada:

1. Bapak Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membantu proses terselesaikannya penyusunan tugas skripsi.
2. Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama serta Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota skripsi yang telah membimbing, memberikan arahan, motivasi serta saran dalam melaksanakan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji Utama serta Bapak Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran terhadap penelitian skripsi ini.
4. Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tim Riset *3D printing* yang tiada lelahnya memberikan arahan, motivasi dan membimbing selama melakukan riset penelitian beserta penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai.
5. Bapak Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama masa perkuliahan.
6. Dosen dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.

7. Bapak saya Waloyo dan Ibu saya (Alm.) Rumiati serta seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan, motivasi serta doa yang tiada hentinya baik moral dan materiil kepada saya.
8. Teman-teman dekat saya yang telah membantu dan mendampingi saya selama selama masa perkuliahan (Punokawan).
9. Seluruh teman grup riset ekstrusi filamen metal *3D printing*.
10. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2018.
11. Kepada semua pihak yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat serta berguna bagi semua orang.

Jember, 5 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
PERSEMBAHAN .....	iii
MOTTO .....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
RINGKASAN .....	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat.....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Tujuan.....	3
1.3.2 Manfaat.....	3
<b>1.4 Batasan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Kuningan (<i>Brass</i>) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 <i>3D printing</i> .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 <i>Fused Deposition Modeling (FDM)</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Filamen PLA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>).....</b>	<b>8</b>
2.5.1 Prinsip Kerja Uji Tarik .....	9
2.5.2 Perilaku Mekanik Material .....	9
<b>2.6 Pengujian Struktur Mikro .....</b>	<b>10</b>
<b>2.7 Metode Taguchi.....</b>	<b>10</b>
2.7.1 Desain Eksperimen.....	10
2.7.2 Rancangan Percobaan Taguchi.....	11
<b>2.8 Hipotesis.....</b>	<b>12</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Metodologi Penelitian .....</b>	<b>13</b>

<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan.....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Alat.....	13
3.3.2 Bahan.....	14
<b>3.4 Rancangan Penelitian.....</b>	<b>14</b>
3.4.1 Variabel Bebas.....	14
3.4.2 Variabel Terikat.....	14
3.4.3 Variabel Kontrol.....	15
3.4.4 Matriks <i>Orthogonal</i> Penelitian.....	15
3.4.5 Analisis Variasi (ANOVA) dan Persen Kontribusi.....	15
<b>3.5 Pelaksanaan Penelitian.....</b>	<b>15</b>
3.5.1 Tahap Persiapan.....	15
3.5.2 Tahap Percetakan.....	15
3.5.3 Tahap Pengujian.....	16
<b>3.6 Analisis Data.....</b>	<b>16</b>
3.6.1 Analisis Pembebanan Tarik.....	16
3.6.2 Analisis Variabel Optimal.....	16
3.6.3 Analisis Struktur Mikro.....	16
<b>3.7 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>17</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 Hasil dan Analisis terhadap Kekuatan Tarik.....</b>	<b>18</b>
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik.....	19
4.1.2 Perhitungan Rasio S/N terhadap Kekuatan Tarik.....	20
4.1.3 Parameter Optimal.....	21
4.1.4 Perhitungan ANOVA terhadap Kekuatan Tarik Kombinasi Level Faktor Optimal Uji Tarik.....	22
4.1.5 Uji F.....	25
4.1.6 Persen Kontribusi ( $\rho$ ) terhadap Kekuatan Tarik.....	26
4.1.7 Prediksi Respon terhadap Nilai Kekuatan Tarik.....	27
<b>4.2 Pembahasan Pengaruh Parameter.....</b>	<b>28</b>
4.2.1 Pengaruh <i>Extruder Temperature</i> terhadap Kekuatan Tarik.....	29
4.2.2 Pengaruh <i>Layer Height</i> terhadap Kekuatan Tarik.....	29
4.2.3 Pengaruh <i>Print Speed</i> terhadap Kekuatan Tarik.....	30
<b>4.3 Analisis Struktur Mikro.....</b>	<b>31</b>
4.3.1 Analisis Fraktografi.....	31
4.3.2 Analisis Mikro.....	33
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>35</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>



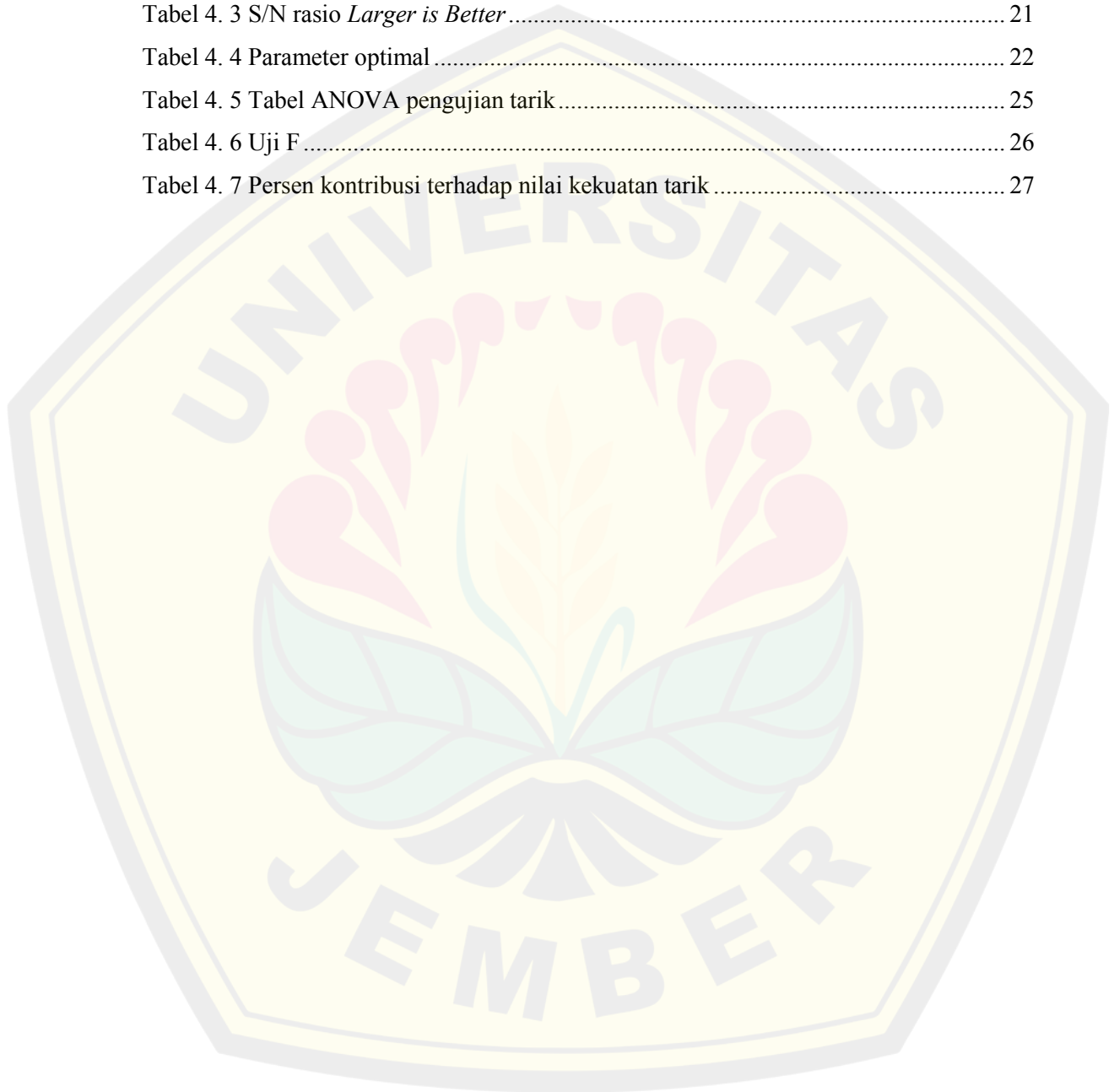
**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Mesin <i>3D printing</i> (Sumber: creality.com) .....	5
Gambar 2. 2 Skema proses <i>fused deposition modeling</i> (FDM) (Zhang <i>et al.</i> , 2019).....	6
Gambar 2. 3 Jenis filamen <i>3D printing</i> (Rao <i>et al.</i> , 2019).....	7
Gambar 2. 4 Spesimen uji tarik ASTM D638 tipe V (Wicker, 2014).....	8
Gambar 2. 5 Skema uji tarik (Diana <i>et al.</i> , 2020) .....	9
Gambar 2. 6 Kurva tegangan regangan (Setiawan, 2019) .....	9
Gambar 3. 1 Filamen PLA - kuningan .....	14
Gambar 4. 1 Hasil filamen PLA kuningan dengan mesin ekstrusi (a) berhasil dan (b) gagal.....	18
Gambar 4. 2 Mesin uji tarik .....	19
Gambar 4. 3 Spesimen uji tarik.....	19
Gambar 4. 4 Hasil pengujian kekuatan tarik.....	20
Gambar 4. 5 Plot S/N rasio <i>Larger is Better</i> .....	22
Gambar 4. 6 Tabel F dengan $\alpha = 0,05$ (Sumber: junaidichaniago.wordpress.com).....	26
Gambar 4. 7 <i>Layer height</i> 0,2 mm .....	30
Gambar 4. 8 Fraktografi patahan spesimen dengan nilai rata-rata kekuatan tarik (a) tertinggi dan (b) terendah.....	32
Gambar 4. 9 Struktur mikro filamen PLA kuningan.....	33
Gambar 4. 10 Struktur mikro spesimen dengan nilai rata-rata kekuatan tarik (a) tertinggi dan (b) terendah .....	34



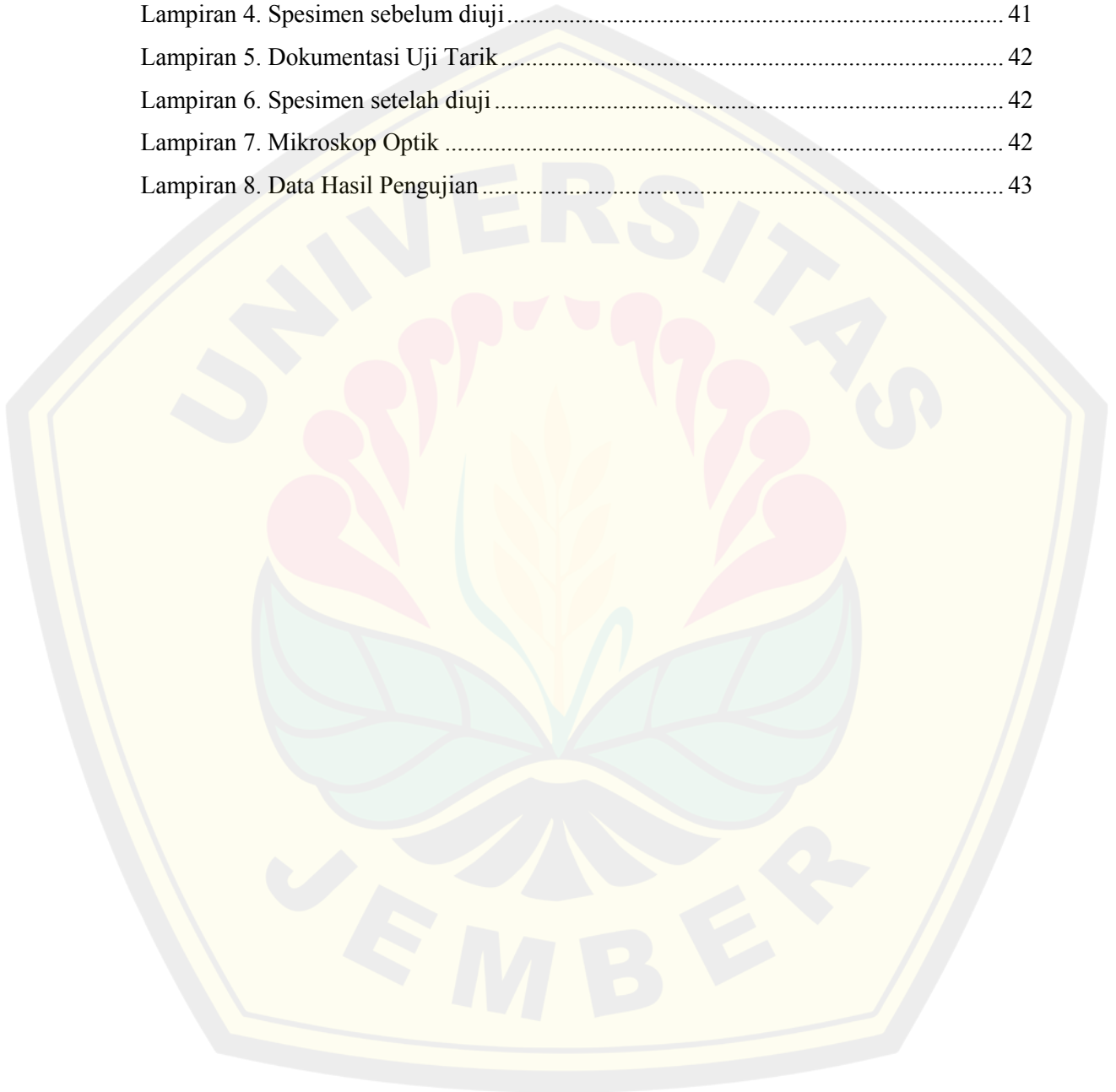
**DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Variabel bebas.....	14
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian tarik .....	20
Tabel 4. 2 Perhitungan S/N rasio pengujian tarik .....	21
Tabel 4. 3 S/N rasio <i>Larger is Better</i> .....	21
Tabel 4. 4 Parameter optimal .....	22
Tabel 4. 5 Tabel ANOVA pengujian tarik.....	25
Tabel 4. 6 Uji F.....	26
Tabel 4. 7 Persen kontribusi terhadap nilai kekuatan tarik .....	27



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Diagram Alir.....	39
Lampiran 2. Mesin Ekstrusi Filamen.....	41
Lampiran 3. Pengecekan suhu .....	41
Lampiran 4. Spesimen sebelum diuji.....	41
Lampiran 5. Dokumentasi Uji Tarik.....	42
Lampiran 6. Spesimen setelah diuji.....	42
Lampiran 7. Mikroskop Optik .....	42
Lampiran 8. Data Hasil Pengujian.....	43



DAFTAR NOTASI

$\sigma$	: Tegangan ( $\text{kg/mm}^2$ )
$p$	: Beban (kg)
$A$	: Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )
$\varepsilon$	: Regangan
$\Delta L$	: Pertambahan panjang (mm)
$L_0$	: Panjang mula-mula (mm)
$L$	: Panjang setelah tarikan (mm)
$n$	: Jumlah kombinasi eksperimen
$r$	: Jumlah replikasi
$l$	: Jumlah level
$S_T$	: Jumlah kuadrat total ( <i>sum of square</i> )
$y$	: Data yang diperoleh dari eksperimen
$\bar{y}$	: Rata-rata data yang diperoleh dari eksperimen
$S_M$	: Jumlah kuadrat <i>means</i>
$SS_A$	: Jumlah kuadrat tiap faktor A
$SS_E$	: Rata-rata jumlah kuadrat <i>error</i>
$MS_A$	: Rata-rata kuadrat tiap faktor
$MS_E$	: Rata-rata kuadrat <i>error</i>
$\rho$	: Persen kontribusi
$\mu$	: Rata-rata proses prediksi
$N_{\text{eff}}$	: Jumlah pengamatan efektif
CI	: Interval kepercayaan

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istikal	Arti dan keterangan
3D	<i>3 Dimentional (tiga dimensi)</i>
ABS	<i>Acetonitrile Butadiene Styrene</i>
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CI	<i>Confidence Interval</i>
DoF	<i>Degree of Freedom</i>
ET	<i>Extruder Temperature</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
LH	<i>Layer Height</i>
Mag	<i>Magnification (Perbesaran)</i>
MPa	<i>Megapascal</i>
PLA	<i>Polylactic acid</i>
PS	<i>Print Speed</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
TiO <sub>2</sub>	<i>Titanium dioxide</i>
TPU	<i>Thermoplastic polyurethane</i>
Void	<i>Ruang kosong</i>

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi industri saat ini menghasilkan berbagai inovasi dari para pelaku industri untuk meningkatkan kualitas produk agar dapat bersaing guna meningkatkan kedudukannya dalam pasar. Hal ini akan menghasilkan sebuah peningkatan inovasi produk sesuai dengan harapan konsumen. Perkembangan ini terjadi di berbagai bidang, termasuk bidang manufaktur. Permintaan terhadap produk manufaktur semakin meningkat seiring perkembangan zaman, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Salah satu penyokong teknologi manufaktur yang saat ini sedang berkembang adalah *3D printing*. Teknologi *3D printing* atau yang dikenal sebagai *Additive Manufacturing (AM)* merupakan proses pencetakan objek 3D dengan menyusun lapisan-lapisan tipis secara berurutan hingga membentuk sebuah objek dengan menggunakan *Computer Aided Manufacturing (CAM)*. Proses ini memungkinkan untuk menghasilkan komponen melalui proses penggabungan atau peleburan *solid-state* (Pandey & Ramani, 2021).

Teknologi *3D printing* dapat memberikan berbagai keuntungan dalam proses *manufacturing*, tidak hanya dinilai lebih cepat tapi juga dapat membuat berbagai bentuk atau dimensi yang rumit secara akurat. Hal ini dapat dilihat pada berbagai bidang manufaktur yang memanfaatkan teknologi *3D printing* sebagai metode pembuatan objek 3D dikarenakan potensi dan keuntungannya. Menurut Rusianto & Huda, (2019) mengenai keuntungan dari *3D printing* yaitu memungkinkan ide berkembang lebih cepat, sehingga mampu mencetak konsep dan dirancang pada hari yang sama untuk mengurangi proses pengembangan yang mungkin dapat berbulan-bulan menjadi beberapa hari sehingga membantu perusahaan untuk dapat lebih maju selangkah dari yang lain.

Terdapat berbagai teknik dalam teknologi *3D printing*, salah satu yang paling populer yaitu *fused deposition modeling (FDM)*. Dalam FDM, material filamen sebagai bahan cetak dilebur melalui nosel ekstrusi *printer* dan dicetak baris demi baris dan selanjutnya lapis demi lapis untuk membentuk geometri 3D

dari komponen yang dirancang. Selama proses *printing*, karakteristik mekanik bahan cetak 3D oleh FDM sangat dipengaruhi oleh beberapa variabel, seperti suhu *nozzle*, dan *platform*, kecepatan dan orientasi *printing*, tinggi deposisi lapisan, sudut *raster*, pola pengisi dan sebagainya (Liu *et al.*, 2019). Sebagian besar filamen yang digunakan dalam proses 3D *printing* adalah *Polylactic acid* (PLA) dan *Acetonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang pada dasarnya berbahan plastik.

Sebelumnya, pernah dilakukan sebuah penelitian oleh Rao *et al.*, (2019) menggunakan filamen *carbon fiber* + PLA dengan variasi parameter *layer thickness* (0,1 mm, 0,2 mm dan 0,3 mm), *infill pattern* (*cubic*, *cubic sub division*, dan *quarter cubic*) dan *extruder temperature* (205<sup>0</sup>C - 225<sup>0</sup>C). Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah kombinasi parameter dari *layer thickness* 0,1 mm, *infill pattern cubic* dan *extruder temperature* 225<sup>0</sup>C, merupakan hasil dengan nilai uji tarik tertinggi. Pada penelitian yang lain, Maguluri *et al.*, (2021) melakukan beberapa pengujian termasuk pengujian tarik dari filamen berbahan PLA. Variasi parameter yang digunakan yaitu *infill density* (50%, dan 100%), dengan *print speed* (20 mm/s dan 40 mm/s), dan *nozzle temperature* (190<sup>0</sup>C - 220<sup>0</sup>C). Dari penelitian tersebut ditemukan kombinasi parameter yang paling optimal adalah *infill density* (100%), dengan *print speed* (20 mm/s), dengan *nozzle temperature* (220<sup>0</sup>C).

Darsin *et al.*, (2022) telah melakukan pengujian pengaruh parameter 3D *printing* terhadap kekuatan tarik menggunakan filamen tembaga + PLA variasi parameter yang digunakan adalah *nozzle temperature* (220<sup>0</sup>C - 240<sup>0</sup>C), *layer height* (0.3 mm - 0.4 mm), *print speed* (80 mm/s - 100 mm/s) dan *bed temperature* (50<sup>0</sup>C - 70<sup>0</sup>C). Hasil optimal yang didapatkan dari pengujian tarik terhadap produk 3D *printing* tersebut adalah *nozzle temperature* (230<sup>0</sup>C), *layer height* (0.35 mm), *print speed* (90 mm/s) dan *bed temperature* (60<sup>0</sup>C).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah membahas pengujian sifat mekanik campuran filamen PLA + alumunium yang telah dilakukan oleh (Ilham *et al.*, 2022). Penelitian dilakukan dengan parameter variasi *extruder temperature* (200<sup>0</sup>C - 230<sup>0</sup>C), *bed temperature* (60<sup>0</sup>C - 70<sup>0</sup>C) dan *layer height* (0.10 – 0.30).

Hasil optimal yang didapatkan dalam pengujian tarik dan *impact* adalah *extruder temperature* (220°C) dan *bed temperature* (60°C).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *extruder temperature*, *layer height* dan *print speed* terhadap kekuatan tarik produk *3D printing* dengan filamen PLA + kuningan?
2. Bagaimana kombinasi parameter yang akan menghasilkan kekuatan tarik maksimal hasil cetakan produk *3D printing* dengan filamen PLA + kuningan.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini sendiri adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *extruder temperature*, *layer height* dan *print speed* terhadap kekuatan tarik produk *3D printing* dengan filamen PLA + kuningan.
2. Mengetahui kombinasi parameter yang akan menghasilkan kekuatan tarik maksimal hasil cetakan produk *3D printing* dengan filamen PLA + kuningan.

### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat berguna bagi industri manufaktur yang menggunakan material terkait;
2. Dapat menjadi referensi penelitian *3D printing* selanjutnya;
3. Dapat digunakan sebagai referensi perencanaan produksi filamen metal *3D printing* selanjutnya.



#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan ini merupakan penelitian dasar dan tidak membahas mengenai pengaplikasiannya.
2. Tidak membahas parameter lain selain *extruder temperature*, *layer height* dan *print speed*.
3. Tidak membahas sistem kelistrikan mesin *3D printing*.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

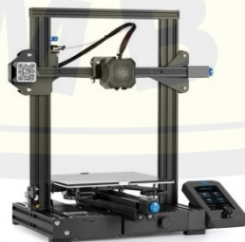
### 2.1 Kuningan (*Brass*)

Kuningan (*Brass*) merupakan material logam yang berasal dari paduan dua unsur logam, yaitu tembaga (Cu) dan seng (Zn). Komposisi penyusun kuningan adalah 70% tembaga dan 30 % seng. Batas maksimal seng yang dapat ditambahkan dalam logam kuningan adalah 42%. Hal ini dikarenakan seng memiliki sifat rapuh.

Kuningan lebih kuat daripada tembaga, tetapi tidak sampai sekuat atau sekeras baja. Beberapa sifat mekanik dari kuningan yaitu dapat menghantarkan panas dengan baik, sangat mudah dibentuk dan tahan terhadap korosi terhadap air garam. Karena sifat tersebut kuningan banyak digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, radiator, alat musik, aplikasi kapal laut, dan casing *cartridge* pada senjata api.

### 2.2 *3D printing*

*Printer* 3 dimensi adalah sebuah alat pencetak objek 3 dimensi berdasarkan simulasi permodelan *3D*. *3D printing* memungkinkan kita untuk membuat konsep desain pembuatan produk secara cepat dan dapat dicetak secara langsung. *3D printing* telah diadopsi secara global oleh medis, militer, mobil, dirgantara, industri makanan, dan sektor terkait lainnya karena fabrikasi *prototype*, model fungsional, dan model konseptual yang mudah dan dapat disesuaikan (Vardhan *et al.*, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi *3D printing* sangat meningkat secara drastis. Mesin *3D printing* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

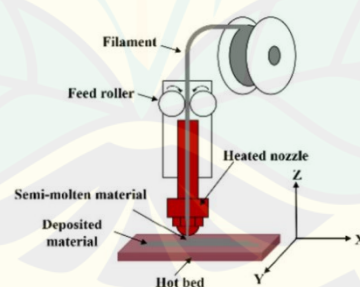


Gambar 2. 1 Mesin *3D printing* (Sumber: creality.com)

Sebelum proses percetakan oleh mesin *printer* 3 dimensi, dilakukan pembuatan simulasi permodelan *3D* dengan menggunakan *software* CAD (*Computer Aided Design*). Proses pembuatan model ini menjadi salah satu kunci penting dari keberhasilan produk hasil cetak. Teknologi *3D printing* merevolusi industri manufaktur dengan pendekatan inovatif dan mengganggu terhadap pembuatan produk (Arpan & Hoong, 2019). Jika melihat prospek perkembangan *3D printing* di masa depan, aplikasi *3D printing* ini akan dapat dijumpai di segala bidang. *3D printing* semakin memiliki peranan penting tidak hanya di berbagai bidang bisnis tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari konsumen (Ismianti & Herianto, 2018).

### 2.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

*Fused deposition modeling* (FDM) adalah salah satu metode pembuatan *3D printing*. FDM adalah metode *3D printing* yang paling banyak digunakan dan biasanya merupakan metode *3D printing* pertama yang digunakan orang. Cara kerja dari mesin FDM yaitu dengan cara ekstrusi termoplastik melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya pembuatan dibuat lapis per lapis sampai membentuk produk (Putra *et al.*, 2022). Skema proses *fused deposition modeling* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



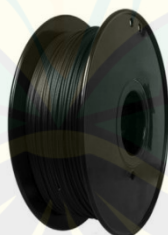
Gambar 2. 2 Skema proses *fused deposition modeling* (FDM) (Zhang *et al.*, 2019)

Berdasarkan pendekatan *3D printing* atau *fused deposition modeling* (FDM) adalah salah satu bentuk fabrikasi yang paling luas karena biaya yang rendah, konsumsi energi rendah dan kemudahan eksperimennya, terutama untuk bagian yang rumit (Ahmed *et al.*, 2020). Meskipun begitu, metode ini juga memiliki banyak kelemahan. Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya,

diketahui bahwa metode ini menghasilkan sifat termal dan mekanik yang buruk. Hal ini dapat disebabkan oleh adhesi yang buruk antar lapisan cetakan yang berdekatan dan pori-pori yang buruk. Objek yang dicetak memiliki kepadatan yang lebih rendah daripada filamen mentah. Penting untuk mendapatkan objek akhir yang dicetak dengan kepadatan tinggi dengan mengontrol parameter proses dan komposisi filamen (Vu *et al.*, 2021). Beberapa parameter penting yang mempengaruhi sifat polimer *3D printing* menggunakan metode FDM yaitu, orientasi cetak, sudut arah *raster*, presentasi dan pola pengisian, dan ketebalan lapisan (Hanon *et al.*, 2020).

#### 2.4 Filamen PLA

Filamen merupakan bahan baku utama dalam proses pengerjaan *3D printing*. Filamen bersifat termoplastik sehingga dapat diproses dalam mesin *3D printing*. Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan jenis filamen yang di pasaran terus mengalami inovasi. Peningkatan inovasi filamen berkembang pada beberapa aspek, meliputi bahan penyusunnya, sifat mekaniknya maupun spesifikasi ukuran filamen. Hal ini bertujuan untuk menunjang pengembangan produk hasil cetak agar dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Beberapa filamen yang beredar di pasaran dapat dilihat pada Gambar 2.3.

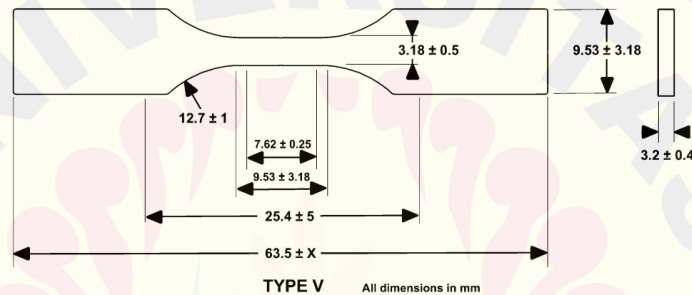


Gambar 2. 3 Jenis filamen *3D printing* (Rao *et al.*, 2019)

PLA sendiri merupakan salah satu bahan paling populer dan digunakan oleh banyak pemain dan aktivis pencetakan *3D*. Alasan menggunakan PLA adalah bahan baku alami, sehingga akan pecah saat jatuh ke tanah. Dari segi harga, produk ini cenderung murah dan membutuhkan kapasitas *defrost* yang rendah.

## 2.5 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian bahan merupakan bagian penting dalam mengetahui karakteristik suatu produk atau material. Salah satu jenis pengujian bahan adalah pengujian tarik. Sebuah sampel uji akan diberikan beban tarik, ketika mengalami gaya berlawanan yang bekerja pada permukaan yang sama dan mencoba untuk menarik sampai spesimen terpisah. Pengujian sederhana ini akan mengungkap banyak karakteristik dari material yang akan diuji. Hasil dari pengujian tarik akan menghasilkan sebuah kurva atau grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya tarik (tegangan) dengan perubahan panjang (regangan) (Dieter, 1993). Dimensi dari spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Spesimen uji tarik ASTM D638 tipe V (Wicker, 2014)

Tegangan didefinisikan sebagai beban atau gaya per satuan luas penampang atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{p}{A}$$

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

$p$  = Beban (kg)

$A$  = Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

Sedangkan regangan sendiri didefinisikan sebagai perpanjangan panjang ukur per panjang awal. Dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Pertambahan panjang (mm)

$L_0$  = Panjang mula-mula (mm)

$L$  = Panjang setelah tarikan (mm)

### 2.5.1 Prinsip Kerja Uji Tarik

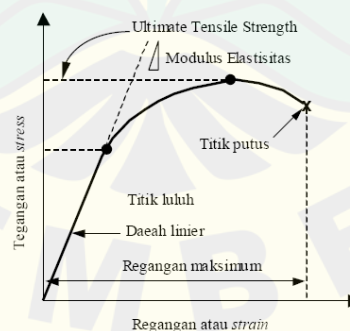
Prinsip kerja dari uji tarik adalah memberikan gaya tarik terhadap suatu spesimen sampai putus dan mengukur tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh spesimen tersebut. Oleh karena itu, alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkaman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*) (Anggoro *et al.*, 2021). Berikut merupakan skema dari uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Skema uji tarik (Diana *et al.*, 2020)

### 2.5.2 Perilaku Mekanik Material

Pada proses pengujian tarik dihasilkan sebuah kurva tegangan regangan. Kurva tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Kurva tegangan regangan (Setiawan, 2019)



## 2.6 Pengujian Struktur Mikro

Pada proses pengujian tarik hanya memberikan data mengenai modulus elastisitas dan kekuatan tarik material dan selanjutnya dikelompokkan kedalam klasifikasi masing-masing. Sementara itu, spesimen hasil uji tarik tidak memiliki data pelengkap untuk mengetahui penyebab kegagalan atau cacat dalam proses pengujian tarik tersebut. Dalam rangka mengatasi kekurangan tersebut dilakukan proses pengujian mikro sebagai data pendukung dan sebagai analisis lanjutan pada penelitian selanjutnya (Sumber: ostenco.co.id).

## 2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan salah satu dari metode di bidang teknik yang fokus pada peningkatan proses dan kualitas produk. Metode ini bertujuan untuk menekan biaya produksi dan sumber daya yang dikeluarkan seminimal mungkin dengan proses dan hasil produksi seoptimal mungkin sesuai tujuan tanpa dipengaruhi oleh faktor luar. Metode Taguchi juga disebut dengan perancangan kokoh (*robust design*) karena metode ini lebih memperhitungkan terhadap faktor gangguan (Soejanto, 2009).

### 2.7.1 Desain Eksperimen

Desain eksperimen selama produksi menurut Taguchi dibedakan menjadi tiga desain proses, yaitu desain *system*, desain parameter, dan desain toleransi. Tahap desain *system* membutuhkan pengetahuan yang mendalam mengenai sistem yang nantinya akan dirancang desain terkait dengan upaya mengembangkan suatu produk. Tujuan dari desain parameter adalah untuk menentukan nilai nominal parameter produk atau proses yang paling optimal. Sedangkan desain toleransi bertujuan menentukan toleransi nilai nominal yang ditentukan di dalam desain parameter. Dalam hal ini toleransi diartikan sebagai variasi nominal yang diperbolehkan titik disintegrasi sangat dipengaruhi oleh Taguchi *loss function*.



### 2.7.2 Rancangan Percobaan Taguchi

Menurut Soejanto, rancangan percobaan pada metode Taguchi dibagi menjadi dua tahap. Tahap penelitian tersebut melalui pendekatan sebagai berikut:

#### a. Tahap Perencanaan Eksperimen

Perancangan eksperimen merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Beberapa langkah yang diusulkan Taguchi untuk melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu dimulai dari penentuan masalah, tujuan eksperimen, menentukan metode pengukuran, mengidentifikasi faktor, memisahkan faktor kontrol dan faktor *noise*, menentukan level setiap faktor, identifikasi interaksi antar faktor kontrol, memilih *Orthogonal Array* hingga melakukan persiapan percobaan

#### b. Melakukan eksperimen dan menganalisis dengan ANOVA

Dalam menganalisis hasil eksperimen. Taguchi juga menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA), dimana ada hasil perhitungan mengenai jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *error*. Hal-hal yang dilakukan dalam analisis hasil eksperimen antara lain, koefisien keragaman yang menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi yang signifikan untuk mengurangi variasi dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang berguna meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang nantinya timbul. Taguchi memperkenalkan transformasi dari pengulangan data kepada nilai yang lain yang mengukur variabilitas yang ada. SNR menggabungkan beberapa pengulangan pada satu poin data yang mencerminkan jumlah variasi yang ada.

#### c. Interpretasi hasil

Mengevaluasi faktor-faktor mana yang berpengaruh dan tidak berpengaruh terhadap karakteristik kualitas yang dikehendaki.

##### 1. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.

Apabila dalam percobaan ada beberapa faktor dan setiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang

optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level-level yang ada.

2. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

Setelah kondisi optimal dari eksperimen *orthogonal array* didapat, maka dapat diperkirakan rata-rata proses  $\mu$  prediksi pada kondisi yang optimal.

## 2.8 Hipotesis

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh parameter proses terhadap produk *3D printing* dengan filamen PLA + kuningan. Variasi parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah *extruder temperature*, *layer height* dan *print speed*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hipotesis yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi *extruder temperature* ketika proses pencetakan produk, akan membuat filamen lebih mudah mencair. Apabila terlalu rendah akan menghasilkan beberapa bagian kosong pada spesimen uji. Apabila suhu terlalu tinggi akan membuat pengisian tidak sempurna karena filamen yang diekstrusi terlalu cair sehingga membuatnya mengalir dengan bebas. Alih-alih mengisi bagian yang kosong, justru akan menghasilkan pori-pori pada spesimen uji (Darsin *et al.*, 2022). Pada parameter *print speed* atau kecepatan gerakan *nozzle* mempengaruhi kekuatan tarik dari proses 3D printing. Kecepatan yang lambat membuat lapisan susunan lapisan kurang rapi karena gerakan *nozzle* yang terlalu lambat. Sedangkan pada kecepatan tinggi menghasilkan lapisan yang lebih tipis karena pergerakan *nozzle* yang terlalu cepat (Maguluri *et al.*, 2021). Pada parameter *layer height*, semakin kecil *layer height*, maka hasil cetakan akan memiliki kerapatan pengisi yang tinggi dan semakin kecil celah antara garis yang dapat meningkatkan integritas spesimen sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik (Rao *et al.*, 2019)
2. Kombinasi parameter *extruder temperature* pada suhu tinggi, *print speed* yang lebih rendah dan *layer height* yang lebih kecil akan menjadi kombinasi parameter yang akan menghasilkan nilai kekuatan tarik optimal.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah jenis eksperimental dan analitik untuk mengetahui pengaruh parameter proses *3D printing* terhadap kuat tarik produk dengan filamen PLA + kuningan. Spesimen uji tarik yang akan dicetak nantinya beracuan dengan standar ASTM D638. Langkah-langkah yang dilakukan dalam mempersiapkan penelitian ini adalah sebagai berikut: melakukan studi pendahuluan dari beberapa jurnal terkait, merumuskan hipotesis penelitian, menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian, melakukan penelitian untuk menentukan parameter, melakukan pengujian terhadap spesimen hasil cetak, menganalisis data hasil pengujian, menarik kesimpulan terhadap hasil penelitian, dan menyusun laporan hasil penelitian.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan Mekanik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang berada di Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Penelitian ini dilaksanakan mulai pada bulan September 2022 hingga Mei 2023. Proses ini meliputi persiapan alat dan bahan, melakukan uji coba, pengambilan data, analisis data hasil percobaan, dan pengambilan kesimpulan.

#### 3.3 Alat dan Bahan

##### 3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa mesin ekstrusi, neraca, komputer dengan *software* Autodesk Inventor 2020 (*student version*), *software* Creality Slicer v1.2.3, mesin *3D printing* yang digunakan adalah mesin Ender V2, kapi, *feeler gauge*, mesin uji *universal*, dan *software* Minitab 18.1.

### 3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa filamen PLA-kuningan yang dibuat sendiri dengan mesin ekstrusi di Laboratorium Perancangan Mekanik Fakultas Teknik Universitas Jember. Komposisi filamen ini adalah 60% PLA dan 40% kuningan. Filamen PLA + kuningan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Filamen PLA - kuningan

Spesimen yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Diameter : 1,75 mm (*tolerance*  $\pm 0.05\text{mm}$ )
- *Print temperature* : 230-250°C
- *Bed Temperature* : 100°C

## 3.4 Rancangan Penelitian

### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti sebagai objek penelitian. Variabel ini juga berpengaruh secara langsung terhadap variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Variabel bebas

<b>Faktor</b>	<b>Level 1</b>	<b>Level 2</b>
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	230	240
<i>Print Speed</i> (mm/s)	20	30
<i>Layer Height</i> (mm)	0,2	0,3

### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat memiliki hubungan sebab akibat dengan variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian tarik dari spesimen uji.

### 3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat sama untuk semua perlakuan pengujian dalam suatu penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini berupa *nozzle diameter* 0.6 mm, *outer perimeter* 2, *bed temperature* 100 °C, *pattern line*, dan *infill density* 100.

### 3.4.4 Matriks *Orthogonal* Penelitian

Pada penelitian ini, matriks *orthogonal*  $L_4(2^3)$  didesain memiliki 3 replikasi spesimen uji. Hal ini dilakukan untuk membuat desain eksperimen dari penelitian ini lebih efektif dan efisien.

### 3.4.5 Analisis Variasi (ANOVA) dan Persen Kontribusi

Perhitungan ANOVA ini dilakukan untuk mengetahui besar pengaruh faktor-faktor terhadap spesimen uji secara keseluruhan sebagai bentuk respon menggunakan S/N rasio.

## 3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini, dilaksanakan melalui berbagai tahapan. Mulai dari tahap pembuatan desain spesimen uji tarik hingga tahap perhitungan data uji. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

### 3.5.1 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dimulai dari proses pembuatan filamen dengan mesin ekstrusi hingga pembuatan desain spesimen uji tarik.

### 3.5.2 Tahap Percetakan

Selanjutnya dilakukan proses percetakan spesimen uji tarik menggunakan mesin *3D printing* Ender V2.

### 3.5.3 Tahap Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tarik dengan menggunakan *Computer Universal Testing Machines* HT-2402 dengan standar ASTM D638 tipe V hingga spesimen tersebut patah.

## 3.6 Analisis Data

Setelah dilakukan proses pengujian tarik pada spesimen uji, selanjutnya dilakukan proses analisis data. Proses analisis data ini untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari spesimen uji. Analisis yang dilakukan antara lain.

### 3.6.1 Analisis Pembebanan Tarik

Analisis data uji diambil dari data hasil uji tarik yang diperoleh. Beberapa data hasil uji tarik antara lain modulus elastisitas dan kekuatan tarik. Nilai-nilai tersebut dianalisis lebih jauh untuk mengetahui besar pengaruh tiap parameter cetak terhadap kekuatan uji tariknya.

### 3.6.2 Analisis Variabel Optimal

Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil uji tarik pada tiap kombinasi parameter pada spesimen uji tarik. Pada hasil tersebut akan dilakukan analisis data dengan menggunakan *software* Minitab hingga ditentukan kombinasi parameter paling optimal pada penelitian ini.

### 3.6.3 Analisis Struktur Mikro

Pada proses analisis struktur mikro dilakukan pada bagian bidang putus spesimen PLA kuning dengan menggunakan mikroskop. Uji struktur mikro ini untuk mengetahui kondisi struktur penyusun spesimen berdasarkan variasi parameter proses dalam percetakan 3D yang dilakukan.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan diagram yang menggambarkan seluruh alur penelitian secara lengkap dari proses awal hingga proses penyelesaian. Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

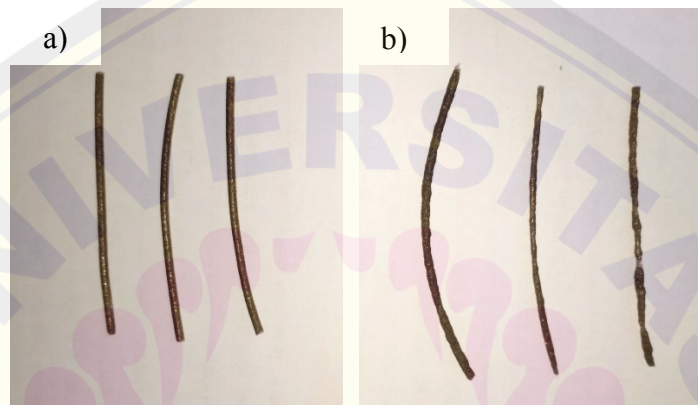




## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dan Analisis terhadap Kekuatan Tarik

Pada penelitian ini, proses pembuatan filamen *3D printing* dengan menggunakan mesin ekstrusi dengan perbandingan komposisi bahan campuran biji PLA (*Polylactic Acid*) 60% dan serbuk kuningin (*Brass Powder*) 40% . Berikut hasil filamen *3D printing* disajikan pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Hasil filamen PLA kuningin dengan mesin ekstrusi (a) berhasil dan (b) gagal

Setelah memenuhi standar diameter filamen yaitu  $1,75 \text{ mm} \pm 0,05$  dilanjutkan dengan pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D print* Ender 3 V2. Bahan yang digunakan berupa filamen PLA + kuningin dengan perbandingan 60:40. Spesimen yang dicetak berdasarkan standar dimensi dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D638 tipe V dengan toleransi yang telah ditentukan. Alasan menggunakan tipe V adalah karena tipe V merupakan spesimen yang diperkecil secara keseluruhan dari tipe I sehingga membutuhkan material yang lebih sedikit dalam pembuatannya. Selain itu, tipe V juga dinilai dapat menghasilkan tingkat akurasi yang baik sebagaimana pada tipe I. Setelah spesimen dinilai baik dan layak untuk dilakukan pengujian, selanjutnya dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji universal dengan tipe HT-2402 yang berada pada laboratorium Fakultas Matematika dan Ipa, Universitas Jember. Penelitian dilakukan pada hari Jumat, 26 Mei 2023. Mesin uji tarik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 Mesin uji tarik

Spesimen pengujian tarik berjumlah 12 buah, dimana terdapat empat macam kombinasi parameter dan setiap kombinasi dilakukan tiga kali replikasi sehingga berjumlah 12 pasang sesuai dengan matriks *orthogonal*  $L_4(2^3)$  yang digunakan pada penelitian ini. Spesimen memiliki ukuran tebal 3,2 mm, panjang 63,5 mm, dan lebar 9,53 mm sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.4. Hasil pencetakan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Spesimen uji tarik

Untuk gambar lengkapnya dapat dilihat di Lampiran 4.

#### 4.1.1 Hasil Pengujian Tarik

Setelah dilakukan pengujian, terjadi patahan pada bagian *Gauge Length* yaitu pada sepanjang 25,4 mm bagian tengah spesimen. Hasil uji tarik pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 4. 4.



Gambar 4. 4 Hasil pengujian kekuatan tarik

Untuk gambar lengkapnya dapat dilihat di Lampiran 6. Untuk data hasil uji tarik spesimen dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian tarik

Ekspe rimen	Parameter Kendali			Nilai Uji Tarik (N/mm <sup>2</sup> ).			Rata- rata
	<i>Extruder Temperature</i> (°C)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Layer Height</i> (mm)	Replikasi			
				1	2	3	
1	230	20	0,2	10,70	10,50	11,87	11,02
2	230	30	0,3	8,23	6,44	9,07	7,91
3	240	20	0,3	5,80	6,88	8,70	7,13
4	240	30	0,2	8,57	6,20	6,29	7,02

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan bahwa kombinasi parameter *extruder temperature* 230°C, *print speed* 20 mm/s, dan *layer height* 0,2 mm menghasilkan kekuatan tarik terbesar yaitu senilai 11,87 N/mm<sup>2</sup> dan kombinasi parameter *extruder temperature* 240°C, *print speed* 20 mm/s, dan *layer height* 0,3 mm menghasilkan kekuatan tarik terkecil yaitu sebesar 5,80 N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Perhitungan Rasio S/N terhadap Kekuatan Tarik

Penelitian ini menggunakan S/N rasio *Larger is Better*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi hasil pengujian tarik yang didapatkan, maka menunjukkan semakin berpengaruh parameter yang digunakan. Sesuai dengan harapan dilakukannya pengujian yaitu untuk mendapatkan hasil pengujian dengan kekuatan tarik tertinggi. Tabel perhitungan S/N rasio dengan kriteria *Larger is Better* pada eksperimen 1 dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{S/N Rasio Larger is Better} &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \\
 &= -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{(10,7)^2} + \frac{1}{(10,5)^2} + \frac{1}{(11,87)^2} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$= 20,81$$

Perhitungan S/N rasio *Larger is Better* pada eksperimen dua, tiga dan empat dilakukan dengan cara yang sama. Berikut hasil perhitungan S/N rasio pada pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Perhitungan S/N rasio pengujian tarik

Eksperimen	Parameter Kendali			S/N Rasio
	<i>Extruder Temperature</i> (°C)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Layer Height</i> (mm)	
1	230	20	0,2	20,81
2	230	30	0,3	17,69
3	240	30	0,2	16,71
4	240	20	0,3	16,65

#### 4.1.3 Parameter Optimal

Pada desain perancangan menggunakan metode Taguchi bertujuan untuk menemukan kombinasi parameter yang optimal. Parameter optimal dari setiap faktor dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan jumlah S/N rasio setiap faktor berbanding dengan jumlah level. Perhitungan parameter optimal S/N rasio *Larger is Better* dapat diketahui sebagai berikut (faktor 1 = *extruder temperature*):

$$\bar{A}_1 = \frac{20,81 + 17,69}{2}$$

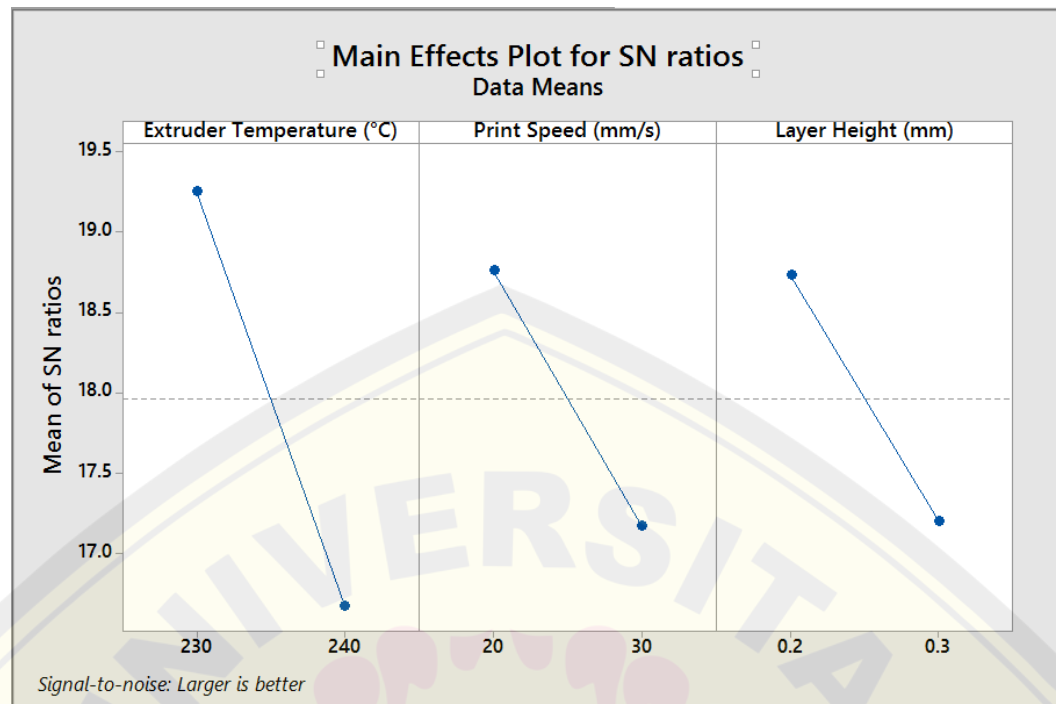
$$\bar{A}_1 = 19,25$$

Hasil perhitungan parameter optimal pada tiap faktor dan level setelah proses perhitungan S/N rasio *Larger is Better* dengan cara yang sama dapat dilihat pada Tabel 4. 3.

Tabel 4. 3 S/N rasio *Larger is Better*

<i>Level</i>	<i>Extruder Temperature</i>	<i>Print Speed</i>	<i>Layer Height</i>
1	19,25	18,76	18,73
2	16,28	17,17	17,20
<i>Delta</i>	2,57	1,59	1,53
<i>Rank</i>	1	2	3

Untuk lebih jelasnya mengenai plot S/N rasio dapat dilihat menggunakan grafik pada Gambar 4. 5.

Gambar 4. 5 Plot S/N rasio *Larger is Better*

Dari grafik pada Gambar 4. 5, parameter optimal pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Parameter optimal

Faktor Kendali	Level	Nilai
<i>Nozzle Temperature</i>	1	230°C
<i>Print Speed</i>	1	20 mm/s
<i>Layer Height</i>	1	0,2 mm

#### 4.1.4 Perhitungan ANOVA terhadap Kekuatan Tarik Kombinasi Level Faktor Optimal Uji Tarik

*Analysis of Varians* (ANOVA) merupakan suatu metode untuk mendapatkan hasil statistik pada data-data yang didapatkan pada proses pengujian. Metode ini memungkinkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pada setiap faktor terhadap semua pengukuran respon. ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi faktor sehingga dapat membantu menentukan desain parameter untuk menentukan pembuatan model.

Perhitungan ANOVA dilakukan berdasarkan data tabel *means*. Pada desain perencanaan Taguchi, analisis varian yang digunakan adalah analisis varian

dua arah. Hal ini dikarenakan pada desain eksperimen Taguchi terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Analisis varian ini terdiri dari perhitungan derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat dan *F-value*. Berikut langkah-langkah perhitungan analisis varian dua arah.

- a. Derajat kebebasan total (*Degree of Freedom*)

$$\text{DoF total} = (n \times r) - 1$$

$$\text{DoF total} = (4 \times 3) - 1$$

$$\text{DoF total} = 12 - 1 = 11$$

- b. Derajat kebebasan error

$$\text{DoF total} = (n \times r) - n$$

$$\text{DoF total} = (4 \times 3) - 4$$

$$\text{DoF total} = 12 - 4 = 8$$

- c. Derajat kebebasan tiap faktor (faktor A = *extruder temperature*)

$$\text{DoF}_A \text{ total} = l - 1$$

$$\text{DoF}_A \text{ total} = 2 - 1$$

$$\text{DoF}_A \text{ total} = 1$$

- d. Jumlah kuadrat total (*sum of square*)

$$S_T = \sum y^2$$

$$\begin{aligned} S_T &= 10,7^2 + 10,5^2 + 11,87^2 + 8,23^2 + 6,44^2 + 9,07^2 + 5,80^2 + 6,88^2 + 8,70^2 \\ &= + 8,57^2 + 6,20^2 + 6,29^2 \end{aligned}$$

$$S_T = 865.22$$

- e. Jumlah kuadrat *means*

$$S_M = n \times \bar{y}^2$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= (10,7 + 10,5 + 11,87 + 8,23 + 6,44 + 9,07 + 5,80 + 6,88 + 8,70 + 8,57 \\ &= + 6,20 + 6,29) : 12 \end{aligned}$$

$$\bar{y} = 8,27$$

jadi:

$$S_M = (n \times r) \times \bar{y}^2$$

$$S_M = 12 \times (8,27)^2$$

$$S_M = 12 \times 68.41$$



$$S_M = 820,88$$

- f. Jumlah kuadrat tiap faktor (Faktor A: *Extruder Temperature*)

$$SS_A = \frac{[Total A1]^2}{n1} + \frac{[Total A1]^2}{n1} - \frac{[Total A]^2}{n1 + n2}$$

$$SS_A = \frac{[56,81]^2}{6} + \frac{[42,44]^2}{6} - \frac{[99,25]^2}{12}$$

$$SS_A = 537,9 + 300,19 - 820,88$$

$$SS_A = 17,21$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil perhitungan  $SS_B$  dan  $SS_C$  masing-masing senilai 7,76 dan 6,77.

- g. Rata-rata jumlah kuadrat *error*

$$SS_E = SS_T - (S_M + SS_A + SS_B + SS_C)$$

$$SS_E = 865,22 - (820,88 + 17,21 + 7,76 + 6,77)$$

$$SS_E = 12,61$$

- h. Rata-rata kuadrat tiap faktor (Faktor A: *Extruder Temperature*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{dof_A}$$

$$MS_A = \frac{17,21}{1}$$

$$MS_A = 17,21$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil perhitungan  $MS_B$  dan  $MS_C$  masing-masing senilai 7,76 dan 6,77.

- i. Rata-rata kuadrat *error*

$$MS_E = \frac{SS_E}{dof_E}$$

$$MS_E = \frac{12,61}{8}$$

$$MS_E = 1,58$$

- j. *F value* (Faktor A: *Extruder Temperature*)

$$F_{value} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{value} = \frac{17,21}{1,58}$$

$$F_{value} = 10,92$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil perhitungan  $F_{value}$  pada faktor B dan C masing-masing senilai 4,92 dan 4,29.



Dari data perhitungan ANOVA di atas, pengaruh faktor kendali terhadap kekuatan tarik dapat dilihat seperti pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Tabel ANOVA pengujian tarik

Faktor Kendali	DoF	SS	MS	F value
<i>Extruder Temperature</i>	1	17,21	17,21	10,92
<i>Print Speed</i>	1	7,76	7,76	4,92
<i>Layer Height</i>	1	6,77	6,77	4,29
<i>Error</i>	8	12,61	1,58	1
$S_{Total}$	11	44,34	33,31	21,14

#### 4.1.5 Uji F

Uji F merupakan metode pengujian statistika untuk mengetahui besarnya pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat. Metode ini dapat dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan  $F_{value}$  dengan F tabel. Jenis F tabel sendiri ada banyak, tetapi pada penelitian ini menggunakan dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  dan memiliki tingkat kepercayaan 95%. Nilai pembilang N1 dan N2 dihitung menggunakan persamaan berikut.

$N1 = \text{jumlah (variabel terikat + bebas)} - 1$

$$= (3 + 1) - 1$$

$$= 3$$

$N2 = \text{jumlah eksperimen} - \text{jumlah (variabel terikat + bebas)}$

$$= (n \times r) - n$$

$$= (4 \times 3) - 4$$

$$= 12 - 4$$

$$= 8$$

Sehingga nilai F tabel ditunjukkan pada  $(F_{0,05,3,8}) = 4,07$ . Gambar F tabel dapat dilihat pada Gambar 4. 6.

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05											
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94

Gambar 4. 6 Tabel F dengan  $\alpha = 0,05$  (Sumber: junaidichaniago.wordpress.com)

Dari data di atas, diketahui bahwa pada penggunaan matriks *orthogonal*  $L_4(2^3)$  pada F tabel memiliki nilai sebesar 4,07 (Amir *et al.*, 2014). Selanjutnya dilakukan perbandingan data hasil pengujian terhadap nilai F tabel. Hasil uji F dapat dilihat pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Uji F

Sumber	F-value	F-Tabel	Pengaruh
<i>Extruder Temperature</i>	10,92	4,07	Signifikan
<i>Print Speed</i>	4,92	4,07	Signifikan
<i>Layer Height</i>	4,29	4,07	Signifikan

Dari pengolahan data pada Tabel 4. 6 diketahui bahwa ketiga parameter memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pengujian kekuatan tarik. Hal ini dibuktikan dengan ketiga parameter yang memiliki nilai yang lebih tinggi dari nilai pada F tabel.

#### 4.1.6 Persen Kontribusi ( $\rho$ ) terhadap Kekuatan Tarik

Persen kontribusi merupakan metode untuk mengetahui seberapa besar presentase pengaruh tiap parameter terhadap hasil pengujian tarik. Perhitungan  $\rho$  diperoleh sebagai presentase jumlah kuadrat terhadap jumlah kuadrat total. Berikut merupakan model perhitungan persen kontribusi pada faktor A (faktor A: *Extruder Temperature*):

$$\rho_A = \frac{SS_A}{S_{Total}} \times 100\%$$

$$\rho_A = \frac{17,21}{44,34} \times 100\%$$

$$\rho_A = 38,81\%$$

Hasil pengujian persen kontribusi terhadap nilai uji tarik terhadap faktor *extruder temperature*, *layer height*, *print speed* dan faktor *error* menggunakan cara yang sama dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Persen kontribusi terhadap nilai kekuatan tarik

Faktor Kendali	Persen Kontribusi
<i>Extruder Temperature</i>	38,81 %
<i>Layer Height</i>	17,50 %
<i>Print Speed</i>	15,26 %
<i>Error</i>	28,43 %
Total	100 %

Dari nilai error pada Tabel 4. 7 menunjukkan bahwa masih terdapat faktor berpengaruh di luar parameter uji yang memberikan kontribusi *error* sebesar 28,43 % terhadap hasil kekuatan tarik.

#### 4.1.7 Prediksi Respon terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Sebelumnya, pada Tabel 4. 4 diketahui parameter optimal kekuatan tarik yang dapat memberikan hasil paling optimal. Berdasarkan tabel tersebut, kombinasi parameter optimal yang diketahui adalah sebagai berikut:

- Extruder temperature* ( $^{\circ}\text{C}$ ) level 1
- Print speed* (mm/s) pada level 1
- Layer height* (mm) pada level 1

Selanjutnya, dilakukan perhitungan rata-rata proses prediksi ( $\mu$ ) untuk mengetahui nilai kekuatan tarik optimal menggunakan kombinasi parameter optimal yang telah didapatkan. Perhitungan rata-rata proses prediksi ( $\mu$ ) dapat diketahui menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \mu &= \bar{y} + (y_1 - \bar{y}) + (y_2 - \bar{y}) + (y_3 - \bar{y}) \\ \mu &= 8,27 + \left( \frac{10,7 + 10,5 + 11,87 + 8,23 + 6,44 + 9,07}{6} - 8,27 \right) + \left( \frac{10,7 + 10,5 + 11,87 + 5,8 + 6,88 + 8,7}{6} - 8,27 \right) + \left( \frac{10,7 + 10,5 + 11,87 + 8,57 + 6,2 + 6,29}{6} - 8,27 \right) \\ \mu &= 8,27 + (9,47 - 8,27) + (9,08 - 8,27) + (9,02 - 8,27) \\ \mu &= 11,02 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan rata-rata prediksi menggunakan parameter optimal didapat sebesar 11,02 N/mm<sup>2</sup>. Lalu, dilakukan perhitungan interval kepercayaan rata-rata prediksi nilai pengujian tarik menggunakan persamaan berikut ini.

$$N_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah tital eksperimen}}{1 + \text{derajat kebebasan}}$$

$$N_{\text{eff}} = \frac{12}{1+(1+1+1)}$$

$$N_{\text{eff}} = \frac{12}{4}$$

$$N_{\text{eff}} = 3$$

Perhitungan interval kepercayaan rata-rata prediksi nilai kekuatan tarik hasil optimal dapat dihitung sebagai berikut.

Diketahui:  $F_{0,05;3;8} = 4,07$  dan  $MSE = 1,58$

$$CI = \pm \sqrt{\frac{F_{0,05;3;8} \cdot MSE}{N_{\text{eff}}}}$$

$$CI = \pm \sqrt{\frac{4,07 \cdot 1,58}{3}}$$

$$CI = \pm 1,46$$

Dengan demikian, interval kepercayaan untuk rata-rata kekuatan tarik dengan tingkat kepercayaan 95% adalah sebagai berikut.

$$\mu - CI < \mu \text{ prediksi} < \mu + CI$$

$$11,02 - 1,46 < 11,02 < 11,02 + 1,46$$

$$9,56 < 11,02 < 12,48$$

#### 4.2 Pembahasan Pengaruh Parameter

Penentuan parameter dalam proses *3D printing* adalah variabel yang sangat penting dalam penentuan nilai ambang batas yang berfungsi untuk mengontrol hasil dan kualitas cetakan. Parameter dalam penelitian ini meliputi *extruder temperature*, *print speed* dan *layer height*. Pemilihan parameter yang tepat akan menghasilkan hasil cetakan dengan nilai kekuatan yang optimal.

#### 4.2.1 Pengaruh *Extruder Temperature* terhadap Kekuatan Tarik

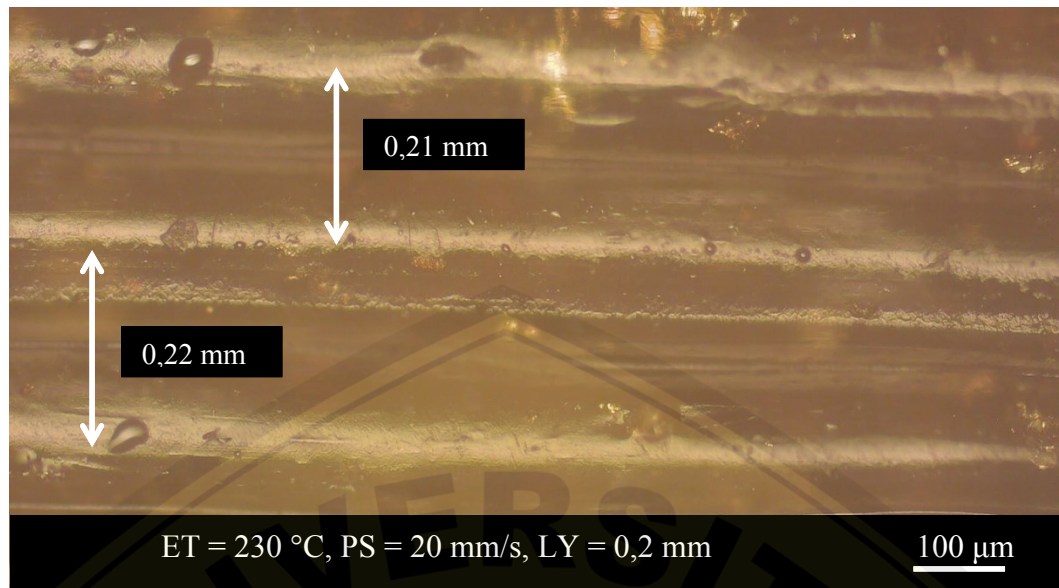
Parameter *extruder temperatur* menjadi parameter dengan faktor kontribusi terbesar dalam menentukan nilai kekuatan tarik. *Extruder temperature* memiliki tingkat kontribusi sebesar 38,81 % dalam menentukan nilai kekuatan tarik. Hal ini dikarenakan *extruder temperature* berpengaruh secara langsung dalam proses ikatan *layer by layer*. Pada suhu 240 °C filamen meleleh menjadi terlalu cair sehingga filamen akan mengalir terlalu bebas dan mengakibatkan pengisian spesimen tidak maksimal.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Darsin *et al.*, (2022) yang memiliki kesimpulan dalam penelitiannya bahwa *nozzle temperature* dalam proses pencetakan *3D printing* sangat mempengaruhi kekuatan tarik dan sifat mekanik material. Suhu *nozzle temperature* juga berperan penting dalam adhesi antar lapisan saat proses pencetakan.

#### 4.2.2 Pengaruh *Layer Height* terhadap Kekuatan Tarik

Parameter *layer height* menjadi faktor yang memiliki pengaruh kontribusi kedua pada pengujian ini dengan faktor kontribusi sebesar 17,5 %. *Layer height* yang mengatur tinggi lapisan akan menentukan seberapa tebal tiap lapisan dalam spesimen cetak. Semakin tipis lapisan akan menyebabkan semakin banyak jumlah lapisan yang menyusun produk cetakan dan meningkatkan nilai kekuatan tarik. *Layer height* yang semakin tipis juga memperkecil terjadinya porositas, dikarenakan semakin rapatnya jarak antar lapisan. *Layer height* 0,2 dapat dilihat pada Gambar 4. 7.





Gambar 4. 7 Layer height 0,2 mm

Pernyataan ini didukung dengan adanya penelitian oleh Rao *et al.*, (2019) menekankan bahwa yang menyatakan nilai kekuatan tarik tertinggi berada pada ketebalan terendah. Hal ini dikarenakan semakin rendah jarak antar lapisan penyusun spesimen akan membuat jumlah lapisan yang semakin banyak dan menghasilkan daerah ikatan yang tinggi antar lapisan.

#### 4.2.3 Pengaruh *Print Speed* terhadap Kekuatan Tarik

Parameter *layer height* menjadi parameter dengan pengaruh kontribusi paling rendah yaitu sebesar 15,26 %. Pada pengaturan kecepatan tinggi filamen yang mencair tidak dapat menempel pada *bed* secara menyeluruh. Kecepatan gerakan *nozzle* membuat proses ekstrusi filamen tidak terekstrusi maksimal dan tetap menempel pada *nozzle* sehingga menyebabkan kegagalan pengisian dan struktu yang tidak sesuai dengan desain. Parameter *prints speed* harus diatur lebih lambat agar proses ekstrusi filamen berlangsung dengan baik dan dapat mengisi spesimen cetak secara menyeluruh sehingga dapat menghasilkan cetakan dengan struktur yang lebih padat dan kuat.

Pernyataan ini sesuai dengan Maguluri *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa parameter *printing speed* merupakan proses penting yang dapat mempengaruhi sifat tarik bahan cetakan. Ketika *print speed* lebih rendah, ekstrusi



bahan cair filamen dapat diendapkan dengan lancar karena fluiditas yang sangat baik. Selain itu, suhu antar lapisan yang berdekatan akan meningkat ketika proses ekstrusi menyentuh lapisan lainnya dan meningkatkan kekuatan ikatan antar *layer* dan meningkatkan kekuatan tarik spesimen yang dicetak.

Berdasarkan pengaruh dari ketiga parameter dan nilai dari kekuatan tarik spesimen, dinyatakan bahwa aplikasi dari penelitian ini masih belum mampu untuk diaplikasikan terhadap produk hasil *3D printing* dan hanya dilakukan sebagai penelitian saja. Hal ini dikarenakan kemampuan dari kekuatan tarik yang rendah. Nilai rata-rata teringgi kekuatan tarik PLA kuningan hanya sebesar  $11,02 \text{ N/mm}^2$ . Sedangkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Wicker, (2014) menggunakan standar ASTM yang sama dan menggunakan filamen ABS, ABS+TiO<sub>2</sub>, dan ABS+TPU. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimal dari bahan filamen tersebut masing-masing sebesar 28,5 MPa, 32,2 MPa, dan 24,0 MPa. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan nilai kekuatan tarik yang cukup besar.

### 4.3 Analisis Struktur Mikro

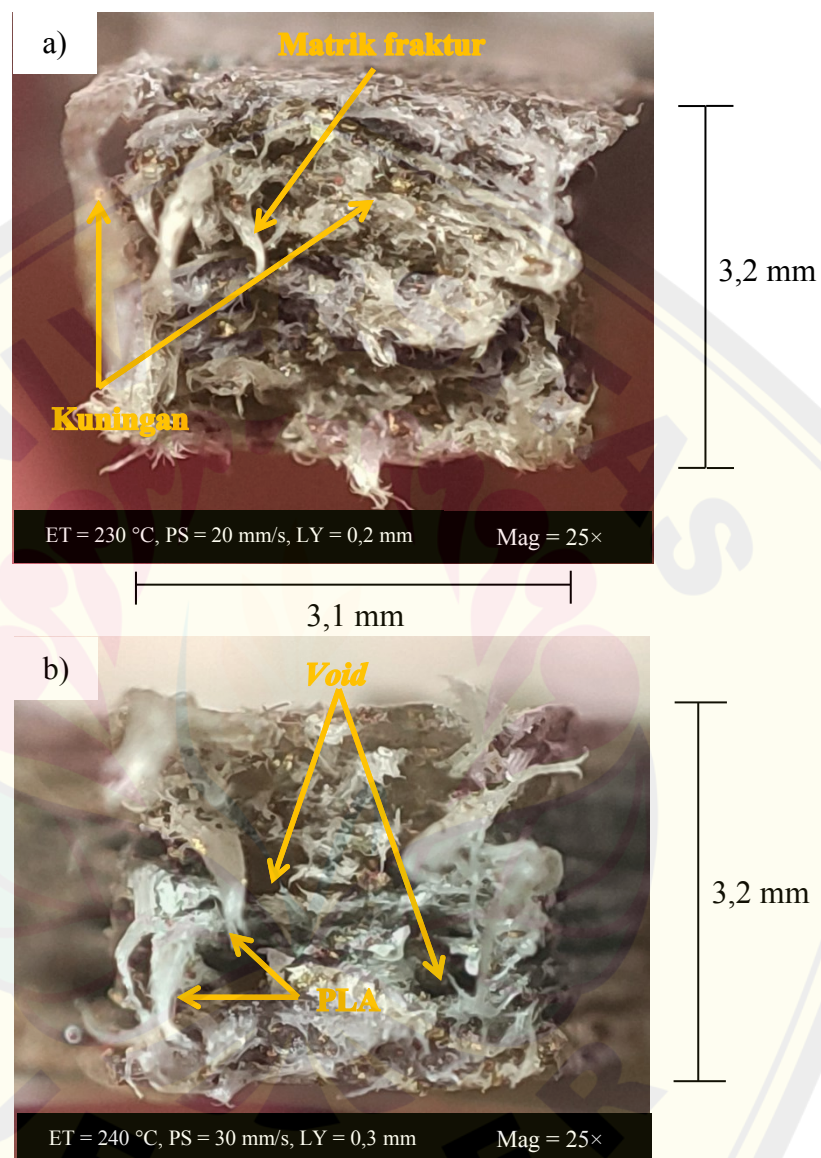
Proses analisis selanjutnya pada penelitian ini adalah analisis struktur mikro. Analisis struktur mikro dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur penyusun dari spesimen dan pengaruh struktur terhadap sifat mekanis spesimen. Analisis struktur mikro pada penelitian ini melalui dua metode, yaitu analisis fraktografi dan analisis mikro.

#### 4.3.1 Analisis Fraktografi

Proses analisis fraktografi dilakukan pada bagian patahan spesimen menggunakan mikroskop digital. Analisis fraktografi dilakukan untuk memahami karakteristik kegagalan polimer *3D print* pada bagian *gauge* spesimen uji (Lu *et al.*, 2020). Dari analisis fraktografi ini akan diketahui berbagai bentuk kegagalan yang akan berpengaruh pada sifat mekanis dari spesimen.

Analisis fraktografi dilakukan pada spesimen satu replikasi tiga yang menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar  $11,87 \text{ N/mm}^2$  dan

spesimen empat replikasi dua dengan nilai kekuatan tarik  $6,20 \text{ N/mm}^2$ . Pemilihan ini untuk membandingkan perbedaan fraktur spesimen dengan rata-rata nilai kekuatan tertarik dan terendah. Hasil uji fraktografi dapat dilihat pada Gambar 4. 8.



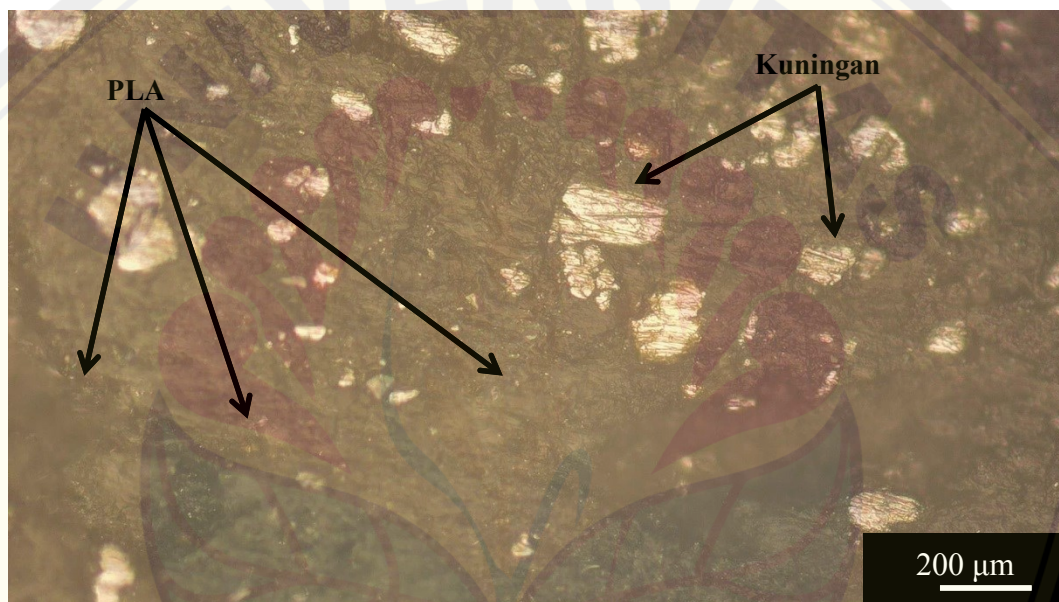
Gambar 4. 8 Fraktografi patahan spesimen dengan nilai rata-rata kekuatan tarik (a) tertinggi dan (b) terendah

Gambar 4. 8 menunjukkan bagian fraktur spesimen setelah mengalami pengujian tarik. Pada Gambar 4. 8 a menunjukkan susunan lapisan yang padat dan hampir tidak ada *void*. Bagian putih pada patahan menunjukkan kemampuan PLA dalam mengalami deformasi. Partikel kuningan yang terdapat pada bagian patah

Gambar 4. 8 a juga lebih banyak dibandingkan pada Gambar 4. 8 b. Pada Gambar 4. 8 b memperlihatkan bahwa terdapat beberapa *void* pada lapisan. *Void* ini muncul karena ketidaksempurnaan dalam proses pencetakan. Dengan semakin banyak *void* yang muncul juga mengakibatkan semakin mengurangi nilai kekuatan tarik spesimen.

#### 4.3.2 Analisis Mikro

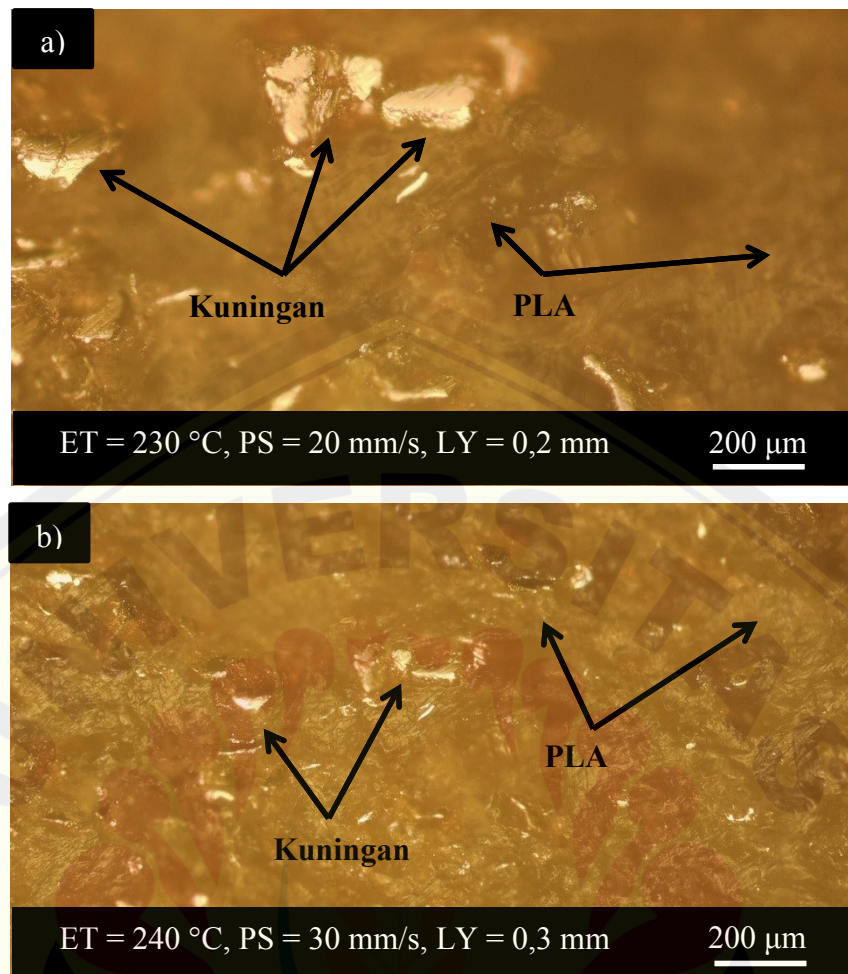
Proses analisis mikro dilakukan untuk mengetahui struktur penyusun dari spesimen berbahan filamen PLA kuningan. Struktur mikro filamen PLA kuningan sebelum melalui proses dicetak dapat dilihat pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Struktur mikro filamen PLA kuningan

Hasil uji struktur mikro pada filamen PLA kuningan di atas menunjukkan bahwa persebaran area kuningan berkumpul pada sebagian area dan sebagian area lagi diisi oleh PLA. Proses analisis dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Selanjutnya, dilanjutkan dengan analisis struktur mikro dilakukan pada spesimen satu replikasi tiga yang menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar  $11,87 \text{ N/mm}^2$  dengan spesimen empat replikasi dua dengan nilai kekuatan tarik  $6,20 \text{ N/mm}^2$ . Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4. 10.





Gambar 4. 10 Struktur mikro spesimen dengan nilai rata-rata kekuatan tarik (a) tertinggi dan (b) terendah

Hasil analisis struktur mikro pada Gambar 4. 10 menunjukkan spesimen *3D printing* berbahan filamen PLA kuningan pada gambar a dan b hanya sedikit mengalami perbedaan. Bagian putih pada gambar menunjukkan partikel kuningan, sedangkan pada bagian kuning menunjukkan kandungan PLA. Hal ini sesuai dengan pendapat Vakharia *et al.*, (2021) bahwa bagian titik putih terang merupakan partikel logam. Pada hasil analisis spesimen terlihat bahwa persebaran area material kuningan kurang merata. Pada spesimen dengan nilai kekuatan tarik lebih tinggi, persebaran area kuningan lebih merata dibandingkan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan penelitian Pengaruh Parameter *3D printing* Terhadap Kuat Tarik Produk Berbahan PLA kuningan adalah sebagai berikut.

1. Parameter *extruder temperature*, *print speed*, dan *layer height* pada *3D printing* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji kekuatan tarik filamen PLA-kuningan. *Extruder temperature* memiliki kontribusi sebesar 38,81 %. Pengaturan suhu ekstruder yang tepat akan meningkatkan ikatan antar lapisan. Parameter *layer height* memberikan kontribusi sebesar 17,5 %. Semakin banyak jumlah lapisan penyusun spesimen akan meningkatkan ikatan spesimen. Parameter *print speed* memberikan kontribusi terkecil yaitu sebesar 15,26 %. Dengan mengatur kecepatan cetak yang tepat dapat mengoptimalkan proses ekstrusi filamen dan menghasilkan cetakan yang lebih padat.
2. Kombinasi nilai parameter yang dapat memberikan hasil optimal terhadap kekuatan tarik pada bahan PLA kuningan adalah *extruder temperature* 230 °C, *print speed* 20 mm/s, dan *layer height* 0,2 mm.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis terhadap penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian dengan parameter lain, seperti *infill pattern*, dan *bed temperature* untuk menentukan pola dan suhu *bed* optimal sehingga dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik.
2. Melakukan pengujian dengan rentang nilai parameter yang lebih kecil sehingga dapat menentukan secara akurat nilai parameter yang lebih optimal.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimalkan proses pembuatan filamen agar dapat meningkatkan hasil cetakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, W., Siraj, S. & Al-Marzouqi, A.H. (2020). 3D printing PLA waste to produce ceramic based particulate reinforced composite using abundant silica-sand: Mechanical properties characterization, *Polymers*, 12(11), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.3390/polym12112579>.
- Amir, A., Junaidi & Yulmardi (2014). Metodologi Penelitian Ekonomi dan Penerapannya, *IPB Press*, 1, pp. 1–4.
- Anggoro, N.T., Nugroho, E. & Asroni, A. (2021). Analisa alat uji tarik buatan lokal dengan variasi bahan teknik terhadap kekuatan hasil pengujian, *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, Vol.2(1), p. No.47-51.
- Arpan, M.F.Z.I.B.M. & Hoong, L.J. (2019). Effect of printing temperature on mechanical properties of copper metal polylactide acid, *AIP Conference Proceedings*, 2137(August), pp. 040003-1-04003–7. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5121001>.
- Darsin, M., Mauludy, R.R., Hardiatama, I., Fachri, B.A., Ramadhan, M.E. & Parningotan, D. (2022). Analysis of the effect 3D printing parameters on tensile strength using Copper-PLA filament, *SINERGI*, 26(1), pp. 99–106.
- Diana, L., Safitra, A.G. & Ariansyah, M.N. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer, 4(2), pp. 59–67.
- Hanon, M.M., Alshammas, Y. & Zsidai, L. (2020). Effect of print orientation and bronze existence on tribological and mechanical properties of 3D-printed bronze/PLA composite, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(1–2), pp. 553–570. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05391-x>.
- Ilham, A., Arafat, A., Rifelino & Nurdin, H. (2022). Pengaruh Nozzle Temperature dan Layer Height Hasil 3D Printing Terhadap Uji Bending Material ABS 3D Printing On Bending Test Of ABS Materials, *VOMEK*, 4(1), pp. 144–150.
- Ismianti & Herianto (2018). Framework Prediksi Penggunaan 3D Printing Di Indonesia Pada Tahun 2030, *Seminar Nasional IENACO*, ISSN 2337-(2013), pp. 546–553.
- Liu, Z., Lei, Q. & Xing, S. (2019). Mechanical characteristics of wood, ceramic, metal and carbon fiber-based PLA composites fabricated by FDM, *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), pp. 3743–3753. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.034>.
- Lu, Y., Tran, P., Leary, M., Pille, P. & Brandt, M. (2020). 3D Printing of polymer composites with material jetting: Mechanical and fractographic analysis,



*Additive Manufacturing*, 36(May), p. 101558. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101558>.

Maguluri, N., Suresh, G. & Rao, K.V. (2021). Assessing the effect of FDM processing parameters on mechanical properties of PLA parts using Taguchi method, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Original M. Available at: <https://doi.org/10.1177/08927057211053036>.

Pandey, R. & Ramani, H.B. (2021). Materials Today : Proceedings A study of metallurgical and processing approach of additive layer manufacturing processes for metal tool components production, *Materials Today: Proceedings*, Article in. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.103>.

Putra, R.D., Suzen, Z.S. & Hasdiansah (2022). Optimasi Parameter Proses 3D Printing Kekuatan Tarik Filament ABS Menggunakan Metode Taguchi, *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, pp. 479–484.

Rao, V.D.P., Rajiv, P. & Geethika, V.N. (2019). Effect of fused deposition modelling (FDM) process parameters on tensile strength of carbon fibre PLA, *Materials Today: Proceedings*, 18(xxxx), pp. 2012–2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.009>.

Rusianto, T. & Huda, S. (2019). A riview : jenis dan pencetakan 3D printing untuk pembuatan prototipe, *Jurnal Teknologi*, Volume 12(28), pp. 14–21.

Setiawan, S.Y. (2019). Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekan Pada Proses Ekstrusi Di Mesin Printer 3D.

Soejanto, I. (2009). *Desain eksperimen dengan metode Taguchi*. 1st edn. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Vakharia, V.S., Kuentz, L., Salem, A., Halbig, M.C., Salem, J.A. & Singh, M. (2021). Additive manufacturing and characterization of metal particulate reinforced polylactic acid (Pla) polymer composites, *Polymers*, 13(20). Available at: <https://doi.org/10.3390/polym13203545>.

Vardhan, H., Kumar, R. & Chohan, J.S. (2019). Investigation of tensile properties of sprayed aluminium based PLA composites fabricated by FDM technology, *Materials Today: Proceedings*, 33, pp. 1599–1604. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.335>.

Vu, M.C., Jeong, T.H., Kim, J.B., Choi, W.K., Kim, D.H. & Kim, S.R. (2021). 3D printing of copper particles and poly(methyl methacrylate) beads containing poly(lactic acid) composites for enhancing thermomechanical properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 138(5), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1002/app.49776>.

Wicker, R.B. (2014). Fracture Surface Analysis of 3D-Printed Tensile Specimens

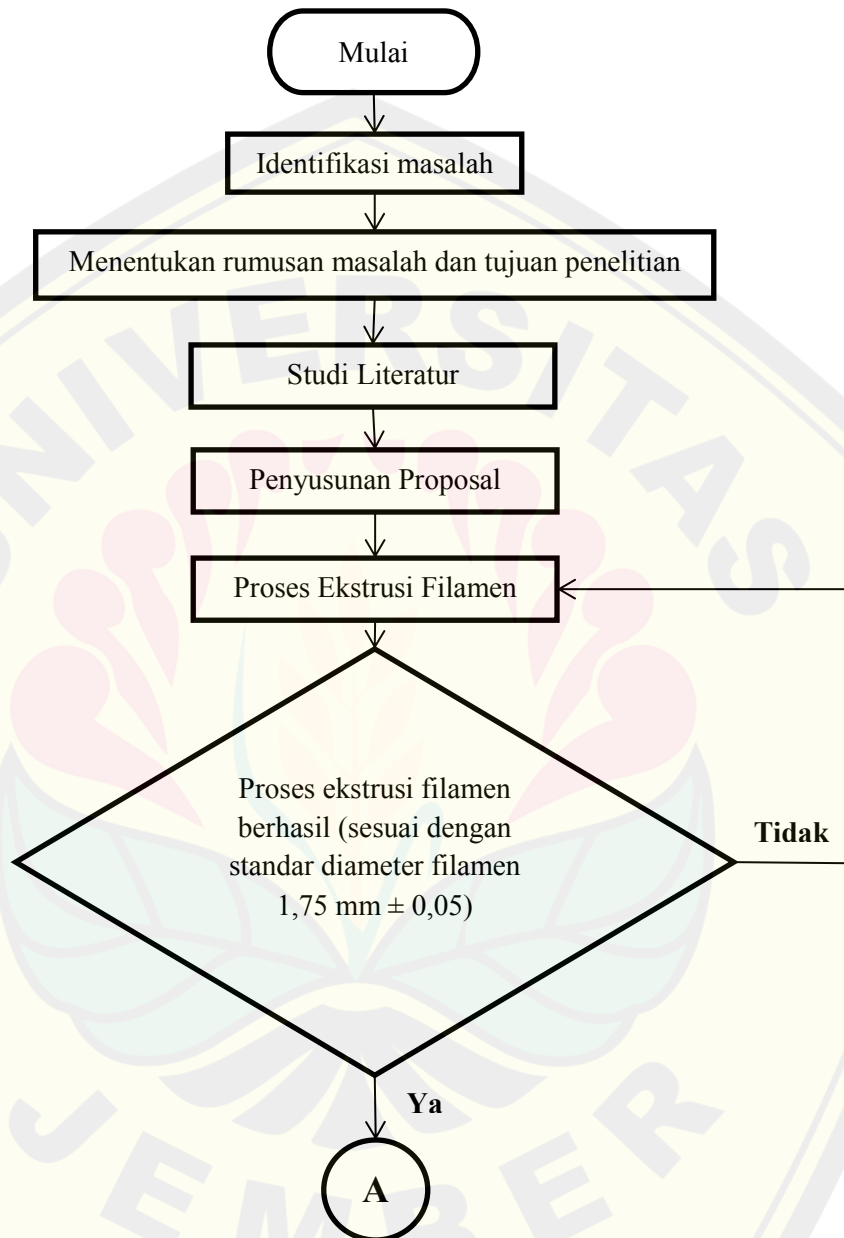
of Novel ABS- Fracture Surface Analysis of 3D-Printed Tensile Specimens of Novel ABS-Based Materials, (November 2016). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11668-014-9803-9>.

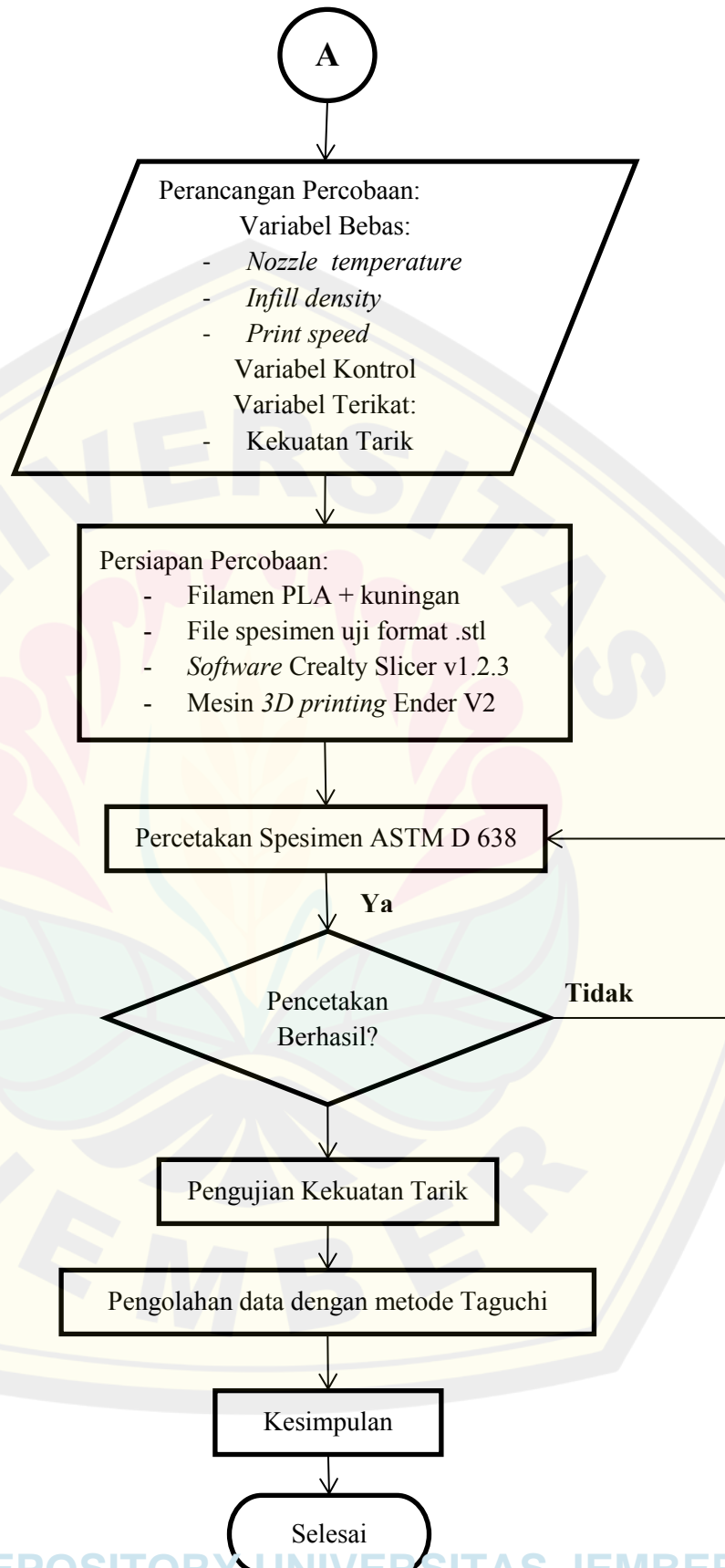
Zhang, X., Chen, L., Mulholland, T. & Osswald, T.A. (2019). Characterization of mechanical properties and fracture mode of PLA and copper/PLA composite part manufactured by fused deposition modeling, *SN Applied Sciences*, 1(6), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0639-5>.



LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir





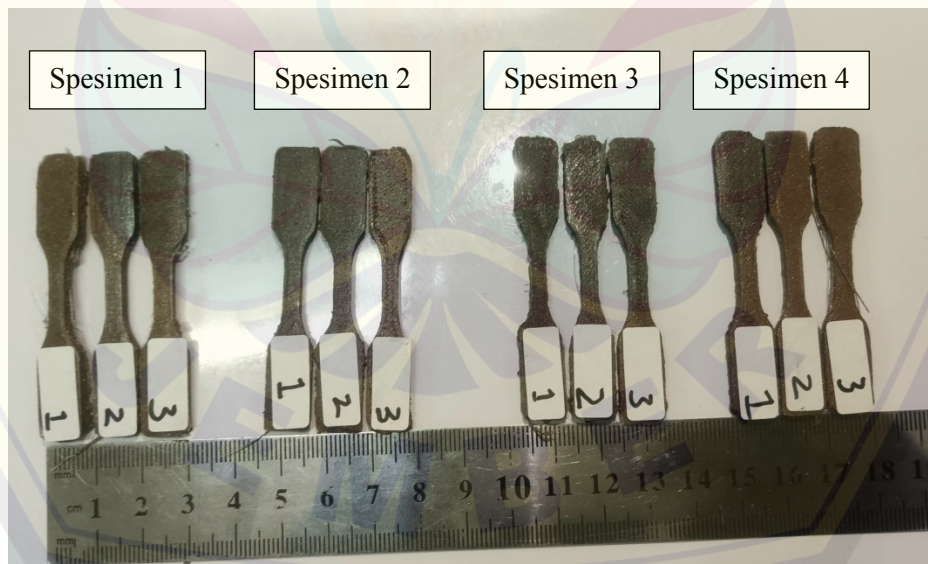
Lampiran 2. Mesin Ekstrusi Filamen



Lampiran 3. Pengecekan suhu

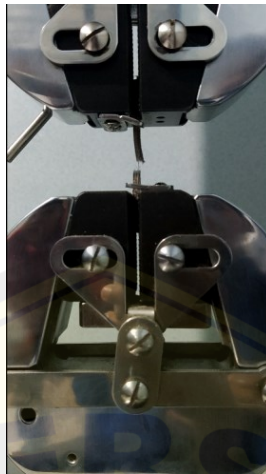


Lampiran 4. Spesimen sebelum diuji





Lampiran 5. Dokumentasi Uji Tarik



Lampiran 6. Spesimen setelah diuji



Lampiran 7. Mikroskop Optik





Lampiran 8. Data Hasil Pengujian



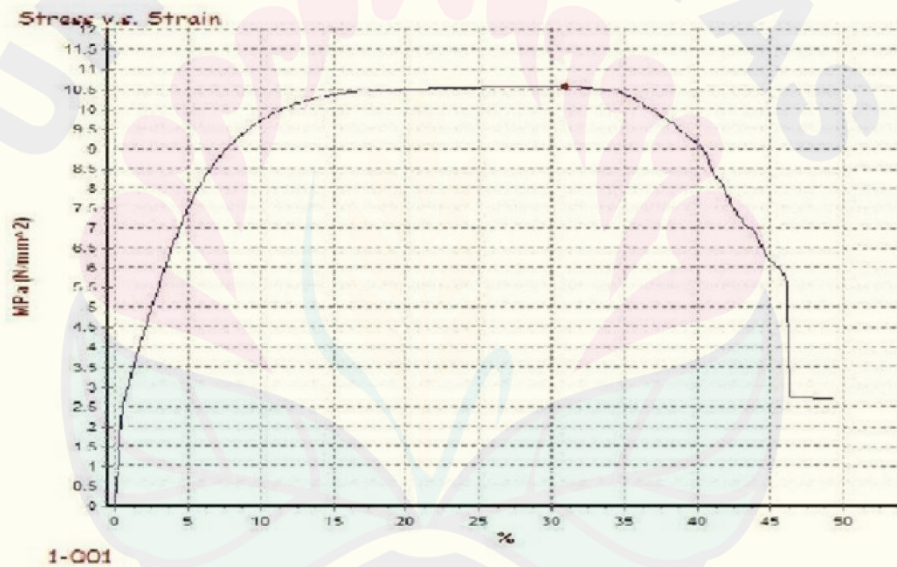
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 1

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX1_1	10.18	108.9	6.98	7.27	10.70	46.92



*Penanggung Jawab*

*Operator*

*Drs. Sujito, Ph.D.*

*Edy Sutrisno*



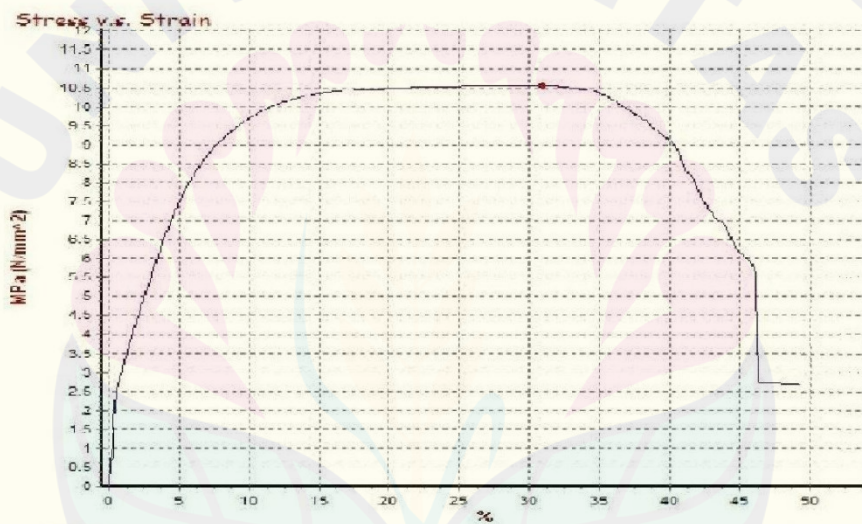
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 2

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX1_2	10.18	106.9	6.91	7.17	10.50	46.92



2-001

Penanggung Jawab

Drs. Sujito, Ph.D.

Operator

Edy Sutrisno



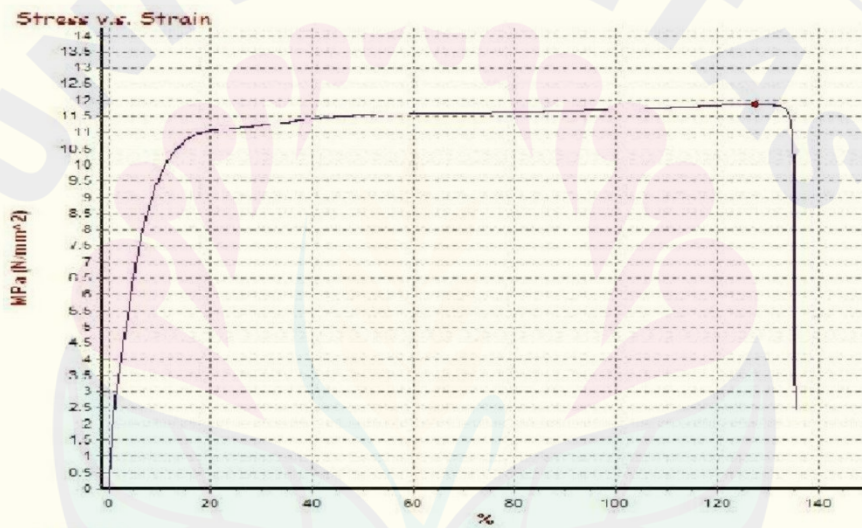
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 3

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX1_3	10.18	120.8	7.71	8.12	11.87	46.92



3-001

Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno



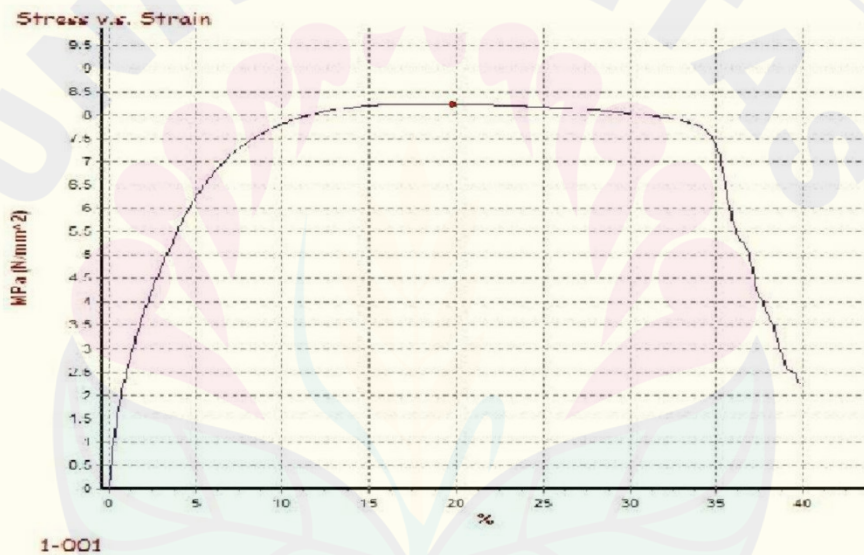
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 1

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX2_1	10.18	83.7	5.57	5.67	8.23	46.92



Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno





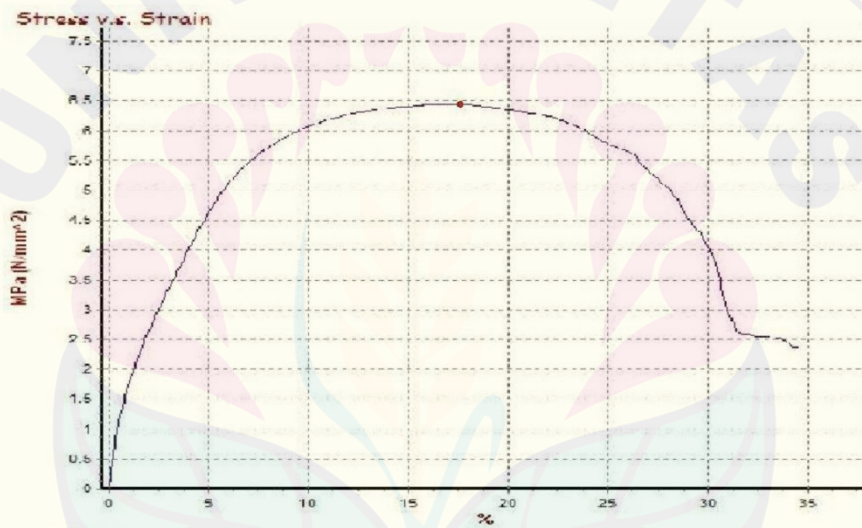
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 2

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX2_2	10.18	65.6	4.78	4.98	6.44	46.92



Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno



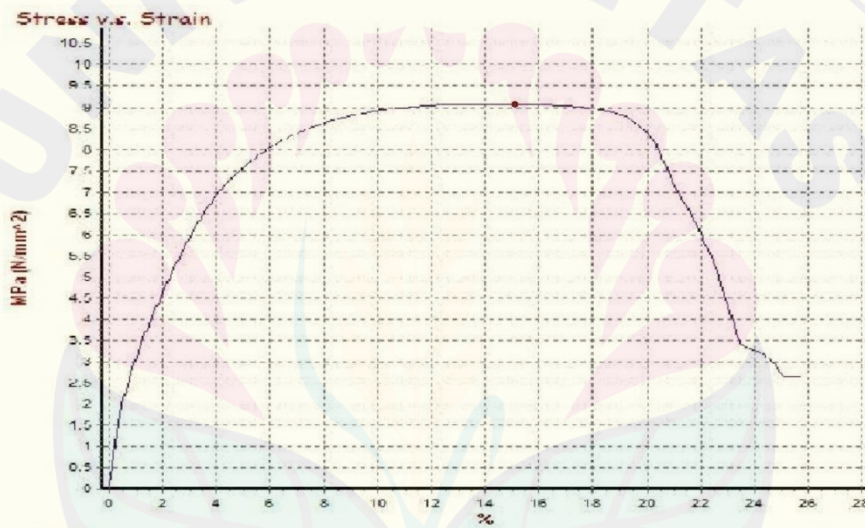
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 3

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX2_3	10.18	92.3	6.51	6.57	9.07	46.92



3-001

Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 1

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX3_1	10.18	59.0	4.00	4.13	5.80	46.92



Penanggung Jawab

Drs. Sujito, Ph.D.

Operator

Edy Sutrisno



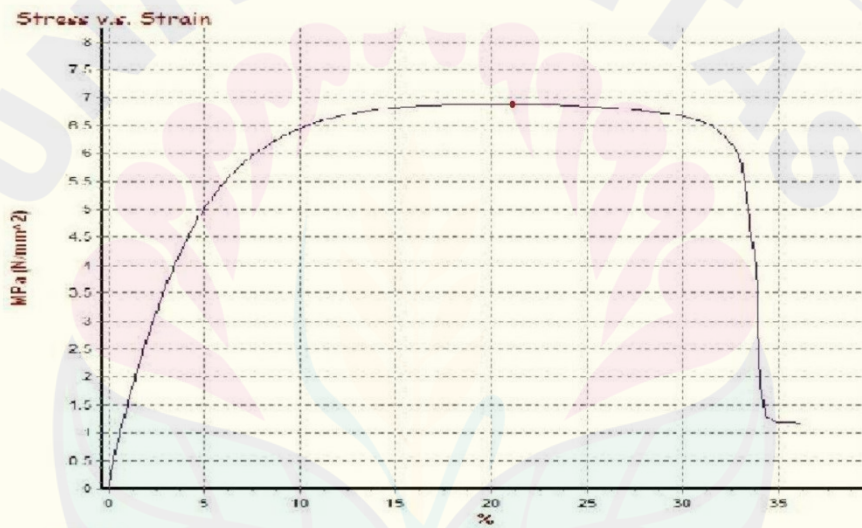
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 2

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX3_2	10.18	70.0	4.64	4.77	6.88	46.92



2-001

*Penanggung Jawab*

*Operator*

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno



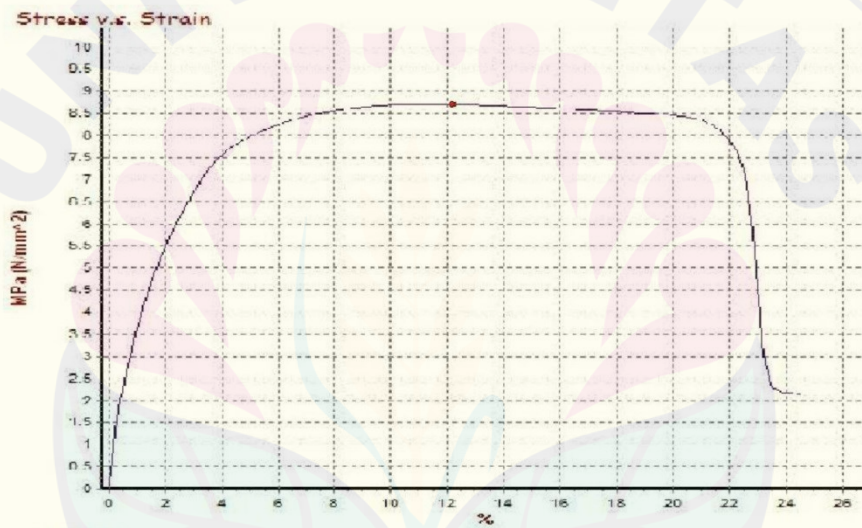
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 3

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX3_3	10.18	88.6	6.02	5.85	8.70	46.92



3-001

Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno



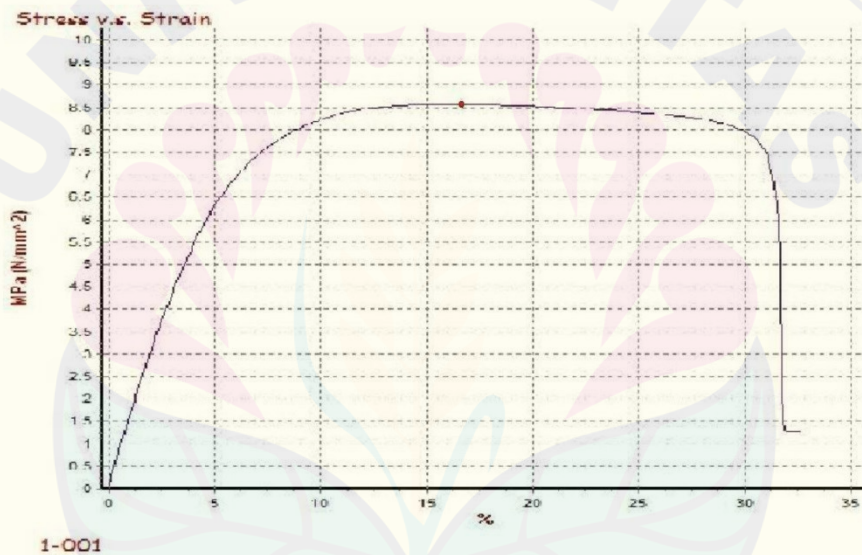
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 1

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX4_1	10.18	87.2	5.96	6.18	8.57	46.92



Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno





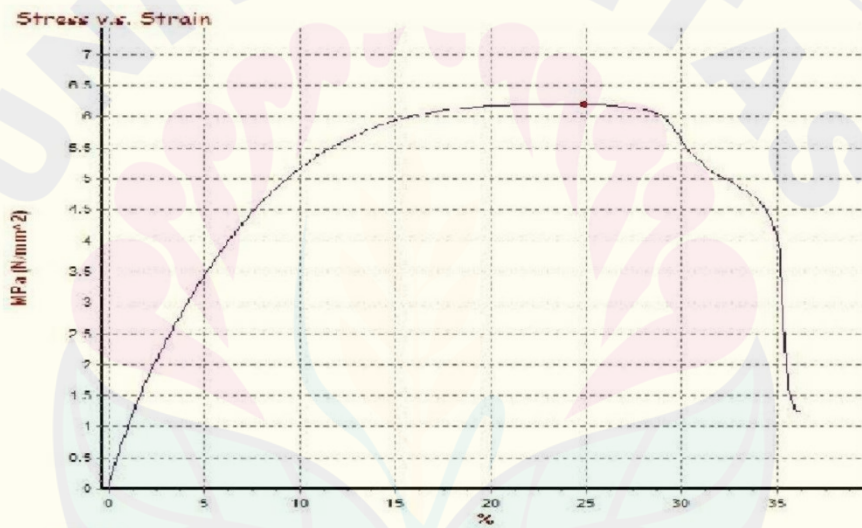
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 2

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX4_2	10.18	63.1	4.08	4.33	6.20	46.92



2-001

Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno



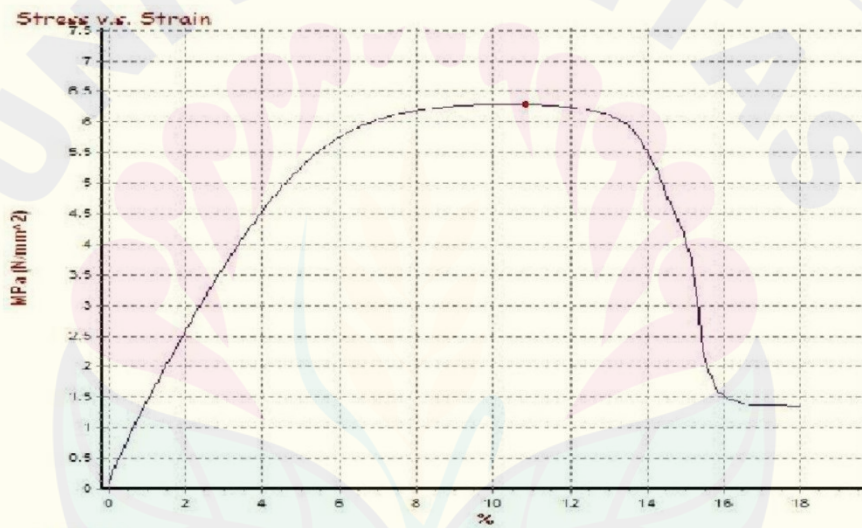
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
 Jalan. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331) 334293 Fax. (0331)330225

**TEST REPORT**

Test Description : PLA-KUN

Test No. : 3

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
EX4_3	10.18	64.0	4.82	4.97	6.29	46.92



3-001

Penanggung Jawab

Operator

Drs. Sujito, Ph.D.

Edy Sutrisno