



**ANALISIS PENGARUH VARIASI *INFILL PATTERN*  
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN 3D  
*PRINTING* BERBAHAN *FILAMENT WOOD***

**SKRIPSI**

Oleh

**Muhammad Izzaman**

**NIM 181910101058**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2023**



**ANALISIS PENGARUH VARIASI *INFILL PATTERN*  
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN 3D  
*PRINTING* BERBAHAN *FILAMENT WOOD***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana

Teknik

Oleh

**Muhammad Izzaman**

**NIM 181910101058**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2023**

## PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur terhadap Allah Subhanahu Wa Ta'ala, sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi wa Sallam. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua Orang tua dan Kakak Saya yaitu Ayah saya Abdullah Bawazier, Ibu Saya Siti Salwiyah dan Kakak Saya Rizki Amalia yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat kepada saya.
2. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya. Semoga Bapak/Ibu selalu diberikan kesehatan dan keberkahan di dunia maupun di akhirat.
3. Dosen Pembimbing Akademik saya Bpk. Ir. Santoso Mulyadi, S.T., M.T yang selalu membimbing dan mengarahkan pemrograman KRS saya.
4. Dosen Pembimbing Skripsi saya Bpk. Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. dan Bpk. Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Dosen Penguji saya Bpk. Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. dan Bpk. Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., IPM yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

**MOTTO**

“Barangsiapa tujuan hidupnya adalah dunia, maka Allah akan menceraikan-beraikan urusannya, menjadikan kefakiran di kedua pelupuk matanya, dan ia tidak mendapatkan dunia kecuali menurut ketentuan yang telah ditetapkan baginya.

Barangsiapa yang niat (tujuan) hidupnya adalah negeri akhirat, Allah akan mengumpulkan urusannya, menjadikan kekayaan di hatinya, dan dunia akan mendatangnya dalam keadaan hina.”

(HR. Imam Ahmad)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Izzaman

NIM : 181910101058

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi *Infill Pattern* terhadap Kekuatan Tarik pada Spesimen 3D Printing Berbahan Filamen Wood**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Januari 2023

Yang menyatakan,

Muhammad Izzaman

NIM 181910101058

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *INFILL PATTERN*  
TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN 3D  
*PRINTING* BERBAHAN *FILAMENT WOOD***

Oleh

Muhammad Izzaman

NIM 181910101058

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Variasi *Infill Pattern* terhadap Kekuatan Tarik pada Spesimen 3D *Printing* Berbahan Filamen *Wood*” karya Muhammad Izzaman telah diuji dan dilaksanakan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

NIP. 196709241994121001

NIP. 198501172012121001

Dosen Penguji Utama,

Dosen Penguji Anggota,

Ir. Dedi Dwilaksana S.T., M.T.

Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T., IPM

NIP. 196912011996021001

NIP. 197510062002121002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., IPM

NIP. 197008261997021001

**RINGKASAN**

**“Analisis Pengaruh Variasi *Infill Pattern* terhadap Kekuatan Tarik pada Spesimen 3D Printing Berbahan Filamen *Wood*”**; Muhammad Izzaman, 181910101058; 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam industri manufaktur, desain suatu produk memiliki peranan yang sangat penting. Pembuatan suatu produk tentunya harus memiliki konsep produk dimana konsep tersebut diterjemahkan dari gambar teknik menjadi *prototyping*. Salah satu teknologi yang saat ini banyak digunakan dalam membuat *prototyping* adalah menggunakan 3D printing. 3D printing adalah proses manufaktur yang dapat membuat benda berbentuk 3 dimensi. *Fused Deposition Modelling* (FDM) merupakan salah satu metode 3D printing yang terkenal sekaligus murah. FDM memiliki prinsip kerja yaitu dengan memanaskan filamen yang kemudian diekstrusi melalui *nozzle* dengan cara lapis demi lapis sehingga produk dapat terbentuk. Terdapat cukup banyak jenis filamen yang dapat digunakan pada 3D printing, seperti PLA, ABS, PETG, *Wood* dan lain sebagainya. Pada 3D printing yang menggunakan metode FDM, terdapat beberapa parameter, seperti pola isian, ketebalan dinding, kerapatan isian, sudut orientasi dan beberapa parameter lainnya. Salah satu parameter yang patut dipertimbangkan adalah pola isian (*infill pattern*). Berbagai literatur menyatakan bahwa jenis *infill pattern* memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik hasil cetakan 3D printing dan terhadap waktu yang dibutuhkan.

Penelitian ini mengkaji pengaruh *infill pattern* terhadap kekuatan tarik menggunakan filamen *wood*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jenis *infill pattern* yang memiliki kekuatan tarik tertinggi sehingga bisa dijadikan referensi pada proses produksi menggunakan mesin 3D Printing. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jenis *infill pattern* dengan 5 jenis, yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*. Eksperimen yang dilakukan menggunakan 1



faktor 5 level dengan menggunakan metode *one way* ANOVA untuk membandingkan pengaruh terhadap kekuatan tarik.

Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan bahwa *infill pattern* memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik. Jenis *infill pattern* yang memiliki kekuatan tarik tertinggi didapatkan oleh jenis *infill pattern concentric* dengan nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 23,303 N/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya diikuti oleh jenis *infill pattern cubic*, *zig-zag* dan *grid* masing-masing memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 16,40 N/mm<sup>2</sup>, 15,187 N/mm<sup>2</sup> dan 13,503 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah didapatkan oleh jenis *infill pattern triangle* dengan nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 12,77 N/mm<sup>2</sup>. *Infill pattern concentric* memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi karena pola strukturnya membentuk garis lurus dan sejajar dengan arah beban pada saat dilakukan pengujian tarik.

## SUMMARY

**“Analysis of the Effect of Infill Pattern Variations on Tensile Strength in 3D Printing Specimens Made from Wood Filaments”:** Muhammad Izzaman, 181910101058; 63 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the manufacturing industry, the design of a product has a very important role. Making a product, of course, must have a product concept where the concept is translated from technical drawings to prototyping. One of the technologies currently widely used in making prototyping is using 3D printing. 3D printing is a manufacturing process that can make objects in 3 dimensions. Fused Deposition Modeling (FDM) is one of the most popular and inexpensive 3D printing methods. FDM has a working principle, namely by heating the filament which is then extruded through the nozzle layer by layer so that the product can be formed. There are quite many types of filaments that can be used in 3D printing, such as PLA, ABS, PETG, Wood, and so on. In 3D printing using the FDM method, there are several parameters such as the fill pattern, wall thickness, fill density, orientation angle, and several other parameters. One of the parameters worth considering is the fill pattern (fill pattern). Various literature states that the type of infill pattern has an influence on the mechanical properties of 3D printing results and on the time required.

This study examines the effect of the infill pattern on tensile strength using filament wood. This study aims to obtain the type of infill pattern that has the highest tensile strength so that it can be used as a reference in the production process using a 3D printing machine. This research was conducted by varying the types of infill patterns with 5 types, namely triangle, grid, cubic, concentric, and zig-zag. Experiments were carried out using 1 factor 5 levels using the one-way ANOVA method to compare the effect on tensile strength.

Based on the results of this study, it was found that the infill pattern affected the tensile strength. The type of infill pattern that has the highest tensile

strength is obtained by the type of concentric infill pattern with an average maximum tensile strength value of 23,303 N/mm<sup>2</sup>. This is followed by a cubic, zig-zag, and grid infill patterns, each of which has an average maximum tensile strength of 16.40 N/mm<sup>2</sup>, 15.187 N/mm<sup>2</sup>, and 13.503 N/mm<sup>2</sup>. While the lowest tensile strength value was obtained by the infill pattern triangle type with an average maximum tensile strength value of 12.77 N/mm<sup>2</sup>. The concentric infill pattern has the highest tensile strength value because the structural pattern forms a straight line and is parallel to the load direction during the tensile test.



## PRAKATA

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi *Infill Pattern* terhadap Kekuatan Tarik pada Spesimen 3D *Printing* Berbahan Filamen *Wood*” yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat, karunia dan kasih sayang yang tidak terhingga yang dirasakan oleh penulis dalam setiap detik kehidupan ini.
2. Kedua Orang tua dan Kakak Saya yaitu Ayah saya Abdullah Bawazier, Ibu Saya Siti Salwiyah dan Kakak Saya Rizki Amalia yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat kepada saya.
3. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya. Semoga Bapak/Ibu selalu diberikan kesehatan dan keberkahan di dunia maupun di akhirat.
4. Dosen Pembimbing Akademik saya Bpk. Ir. Santoso Mulyadi, S.T., M.T yang selalu membimbing dan mengarahkan pemrograman KRS saya.
5. Dosen Pembimbing Skripsi saya Bpk. Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. dan Bpk. Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Dosen Penguji saya Bpk. Ir. Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. dan Bpk. Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., IPM yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman Kontrakan Puri yaitu Agung, Faris, Deni, Catur, Angga, Maul dan Dinasti serta dulur-dulur M20 semuanya.

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO .....	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA .....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
<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 Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2 . TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 3D Printing (Additive Manufacturing) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Filamen.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 FDM (Fused Deposition Modelling) .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Bagian-bagian mesin FDM .....	10
2.3.2 Cara Kerja Mesin FDM.....	15
2.3.3 Parameter Proses FDM (Fused Deposition Modelling).....	16
<b>2.4 Uji Tarik.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Metode Oneway ANOVA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 Penelitian Sebelumnya.....</b>	<b>22</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Metode Penelitian.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>24</b>

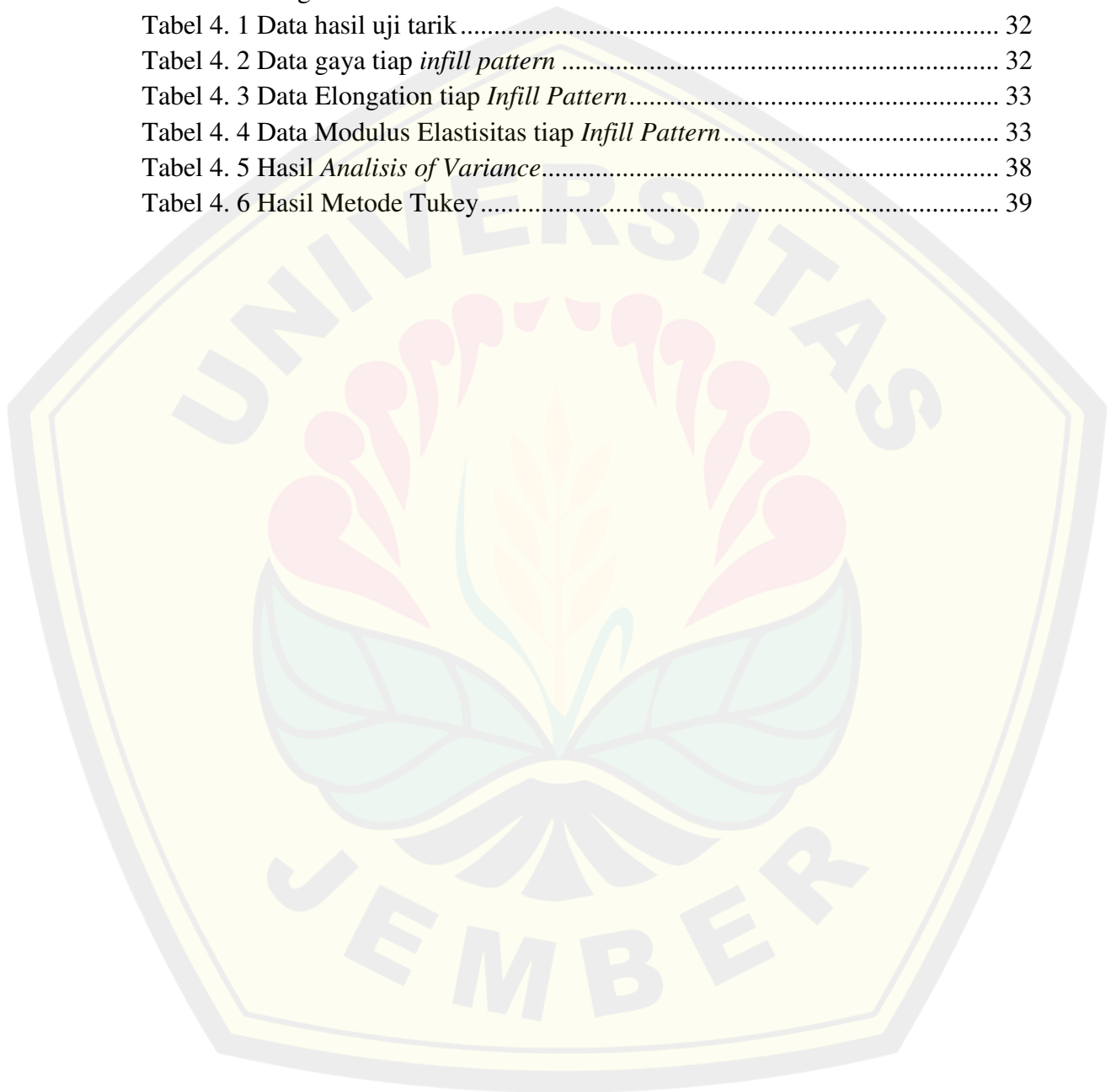
<b>3.3 Alat dan Bahan</b> .....	<b>24</b>
3.3.1 Alat.....	24
3.3.2 Bahan .....	25
<b>3.4 Prosedur Penelitian</b> .....	<b>25</b>
<b>3.5 Variabel Penelitian</b> .....	<b>26</b>
3.5.1 Variabel Bebas .....	26
3.5.2 Variabel Terikat .....	27
3.5.3 Variabel Kontrol.....	27
<b>3.6 Pengambilan Data</b> .....	<b>28</b>
<b>3.7 Diagram Alir</b> .....	<b>29</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Data Hasil Percobaan Uji Tarik</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2 Pengolahan Data</b> .....	<b>33</b>
4.2.1 Uji Normalitas Data .....	33
4.2.2 Uji Homogenitas Data.....	36
4.2.3 Pengujian <i>One Way</i> ANOVA.....	37
4.2.4 Pengujian <i>Post Hoc</i> .....	39
<b>4.3 Pembahasan Pengaruh <i>Infill Pattern</i></b> .....	<b>39</b>
<b>4.4 Pengaruh <i>Infill Pattern</i> Terhadap Waktu Pencetakan</b> .....	<b>45</b>
4.4.1 Waktu Cetak Tiap <i>Infill Pattern</i> .....	45
4.4.2 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik dengan Waktu Cetak .....	46
<b>4.5 Aplikasi Pada Kehidupan</b> .....	<b>46</b>
4.5.1 Produk .....	46
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>48</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>48</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi mesin 3D printing berdasarkan jenis bahan .....	6
Gambar 2. 2 Filamen 3D printing (Saputra, 2019) .....	6
Gambar 2. 3 Knop laci (Pringle, et al., 2019) .....	9
Gambar 2. 4 Skema mesin FDM (Pandzic, 2019) .....	10
Gambar 2. 5 Print bed (Saputra, 2019) .....	11
Gambar 2. 6 Extruder (Saputra, 2019) .....	11
Gambar 2. 7 Nozzle (Saputra, 2019).....	12
Gambar 2. 8 Motor stepper (Saputra, 2019) .....	13
Gambar 2. 9 Frame (Saputra, 2019).....	13
Gambar 2. 10 Mekanisme perpindahan mesin 3D printing (Saputra, 2019) .....	14
Gambar 2. 11 Motherboard (Saputra, 2019) .....	14
Gambar 2. 12 Alur kerja mesin 3D printing (Saputra, 2019).....	15
Gambar 2. 13 Jenis Infill Pattern (Suzen dan Hasdiansah, 2021).....	18
Gambar 2. 14 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 (Kumar, 2019).....	18
Gambar 3. 1 Mesin 3D printing (Sumber: penulis)	24
Gambar 3. 2 Filamen wood (Sumber: penulis) .....	25
Gambar 3. 3 Diagram Alir .....	29
Gambar 4. 1 Benda uji hasil cetak 3D printing.....	30
Gambar 4. 2 Benda uji setelah dilakukan pengujian tarik .....	31
Gambar 4. 3 Uji Normalitas Data Kelompok Triangle .....	34
Gambar 4. 4 Uji Normalitas Data Kelompok Grid .....	34
Gambar 4. 5 Uji Normalitas Data Kelompok Cubic .....	35
Gambar 4. 6 Uji Normalitas Data Kelompok Concentric .....	35
Gambar 4. 7 Uji Normalitas Data Kelompok Zig-zag .....	36
Gambar 4. 8 Hasil Uji Homogenitas .....	37
Gambar 4. 9 Diagram Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Maksimum .....	40
Gambar 4. 10 Gambar mikro <i>infill pattern concentric</i> .....	41
Gambar 4. 11 Gambar mikro <i>infill pattern triangle</i> .....	41
Gambar 4. 12 Gambar SEM hasil pengujian tarik (Akhoundi & Behravesah, 2019) .....	42
Gambar 4. 13 Diagram nilai kekuatan tarik (Jasim et al., 2022) .....	43
Gambar 4. 14 Diagram Nilai Elongation .....	43
Gambar 4. 15 Diagram Nilai Modulus Elastisitas .....	44
Gambar 4. 16 Waktu cetak tiap <i>Infill pattern</i> .....	45
Gambar 4. 17 Hasil perbandingan kekuatan tarik dengan waktu cetak .....	46
Gambar 4. 18 Knop Laci.....	47

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Perhitungan metode oneway ANOVA.....	21
Tabel 3. 1 Variabel Bebas .....	27
Tabel 3. 2 Variabel Kontrol .....	27
Tabel 3. 3 Pengambilan Data Kekuatan Tarik .....	28
Tabel 4. 1 Data hasil uji tarik .....	32
Tabel 4. 2 Data gaya tiap <i>infill pattern</i> .....	32
Tabel 4. 3 Data Elongation tiap <i>Infill Pattern</i> .....	33
Tabel 4. 4 Data Modulus Elastisitas tiap <i>Infill Pattern</i> .....	33
Tabel 4. 5 Hasil <i>Analisis of Variance</i> .....	38
Tabel 4. 6 Hasil Metode Tukey.....	39





## BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Manufaktur merupakan kata yang berasal dari bahasa latin yang terdiri dari dua suku kata, yaitu *manus* dan *factus* yang memiliki arti dibuat dengan tangan. Manufaktur dapat diartikan sebagai proses merubah bahan baku menjadi suatu produk, mulai dari perancangan produk, pemilihan material, dan tahap-tahap proses dimana produk tersebut dibuat (Supriyanto, 2013). Desain suatu produk memiliki peranan penting dalam industri manufaktur, dimana inovasi-inovasi terus bermunculan untuk mendapatkan pasar penjualan sehingga beberapa perusahaan berlomba-lomba melakukan pengembangan produk. Pembuatan suatu produk tentunya harus memiliki konsep produk dimana konsep tersebut diterjemahkan dari gambar teknik menjadi *prototyping*. Salah satu teknologi yang saat ini banyak digunakan dalam membuat *prototyping* adalah menggunakan *3D printing* (Manurung, 2022).

*3D printing* atau yang juga sering disebut *addictive manufacturing* adalah proses manufaktur yang dapat membuat benda berbentuk 3 dimensi, tentunya hal ini berbeda dengan mesin *printer* biasa yang hanya dapat membuat gambar atau tulisan secara 2 dimensi. *3D printing* sudah ada sejak tahun 1980-an, pertama kali dibuat oleh ilmuwan bernama Chuck Hull yaitu pada tahun 1984. *Fused Deposition Modelling* merupakan salah satu dari beberapa teknologi *3D printing* yang terkenal sekaligus murah. FDM memiliki prinsip kerja yaitu dengan memanaskan *thermoplastic* yang kemudian diekstrusi melalui *nozzle* dengan cara lapis demi lapis sehingga produk dapat terbuat (Pristiansyah dkk, 2019).

Terdapat cukup banyak jenis filamen yang dapat digunakan pada *3D printing*, seperti *poly lactic acid (PLA)*, *acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*, *polyethylene terephthalate glycol (PETG)*, filamen kayu (*Wood*) dan lain sebagainya. Filamen *wood* merupakan filamen yang terunik dibandingkan dengan filamen lainnya karena memiliki warna dan tekstur seperti batang kayu. Umumnya filamen *wood* yang berada dipasaran terbuat dari perbandingan filamen PLA sebesar 70% dan serat kayu tertentu sebesar 30% yang biasanya digunakan

untuk membuat *action figure*, dekorasi rumah, *furniture* dan karya seni (Mayanda, 2021). Filamen kayu menawarkan beberapa keunggulan, seperti biodegradabilitas, tidak beracun, deformasi rendah, dan elastisitas yang baik. Produk jadi yang dicetak sangat elastis, ekonomis dan ringan (Fico et.al., 2022).

Dalam bidang manufaktur, salah satu parameter penentu spesifikasi suatu produk adalah kekuatan produk itu sendiri. Pada 3D *printing* yang menggunakan metode FDM, kekuatan dari suatu produk bukan hanya mengandalkan filamen saja, namun parameter lainnya juga mempengaruhi kekuatan dari produk yang dibuat. Parameter tersebut seperti pola isian, ketebalan dinding, kerapatan isian, sudut orientasi dan beberapa parameter lainnya (Durgashyam et al., 2019).

Salah satu parameter yang patut dipertimbangkan adalah pola isian atau biasa disebut *infill pattern*. Berbagai literatur menyatakan bahwa jenis *infill pattern* memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik hasil cetakan 3D *printing* dan terhadap waktu yang dibutuhkan. (Khan, S.F. et al., 2018) mengatakan bahwa spesimen dengan pola isian yang berbeda memberikan hasil yang berbeda, sehingga dapat disimpulkan bahwa sifat kekuatan mekanik tergantung pada pola isian yang digunakan. (Finali, 2020) melakukan penelitian mengenai pengaruh *infill pattern* terhadap kekuatan tarik menggunakan filamen PLA. Variasi *infill pattern* yang digunakan adalah *rectilinear*, *triangular* dan *honeycomb*. Parameter kontrol yang digunakan yaitu *nozzle temperature* 215<sup>0</sup> C, *bed temperature* 60<sup>0</sup> C, *layer height* 0,2 mm dan *infill density* 100 %. Hasil yang didapatkan bahwa *infill pattern triangular* memiliki kekuatan tarik tertinggi, yaitu sebesar 29,01 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini menandakan bahwa *infill pattern* memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik, terbukti dengan menggunakan parameter yang sama pada setiap *infill pattern*, namun memberikan hasil kekuatan tarik yang berbeda.

Penelitian mengenai pengaruh *infill pattern* terhadap kekuatan tarik filamen *wood* belum banyak dilakukan sehingga dibutuhkan penelitian tentang topik tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan bentuk *infill pattern* dengan 5 jenis bentuk, yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*. Pemilihan *infill pattern* penelitian ini didasari dari penelitian sebelumnya yaitu jenis *infill pattern* yang memberikan kekuatan tarik tertinggi dengan tambahan

jenis *infill pattern* acak, yang nantinya akan dibandingkan dengan penelitian ini, apakah memberikan hasil yang sama atau berbeda. Eksperimen yang dilakukan menggunakan 1 faktor 5 level dengan menggunakan metode *one way ANOVA* untuk membandingkan pengaruh terhadap kekuatan tarik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *infill pattern* jenis (*triangle, grid, cubic, concentric* dan *zig-zag*) terhadap kekuatan tarik hasil cetakan *3D printing* menggunakan filamen *wood*?
2. Manakah dari jenis *infill pattern* (*triangle, grid, cubic, concentric* dan *zig-zag*) yang memberikan hasil optimal baik dari segi kekuatan maupun dari segi waktu yang dibutuhkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *infill pattern* jenis (*triangle, grid, cubic, concentric* dan *zig-zag*) terhadap kekuatan tarik hasil cetakan *3D printing* menggunakan filamen *wood*;
2. Menentukan jenis *infill pattern* (*triangle, grid, cubic, concentric* dan *zig-zag*) yang memberikan hasil optimal baik dari segi kekuatan maupun dari segi waktu yang dibutuhkan.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, diantaranya:

1. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya tentang *3D printing* khususnya menggunakan filamen *wood*;
2. Memperoleh informasi tentang pengaruh *infill pattern* terhadap kekuatan tarik dan waktu pencetakan menggunakan filamen *wood*;

3. Dapat sebagai referensi perencanaan produksi menggunakan *3D printing*.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah filamen *wood* merk eSun;
2. Tidak membahas sifat mekanis selain kekuatan tarik;
3. Parameter lain mengikuti parameter mesin dalam keadaan *default*;
4. Suhu ruangan dianggap tetap.



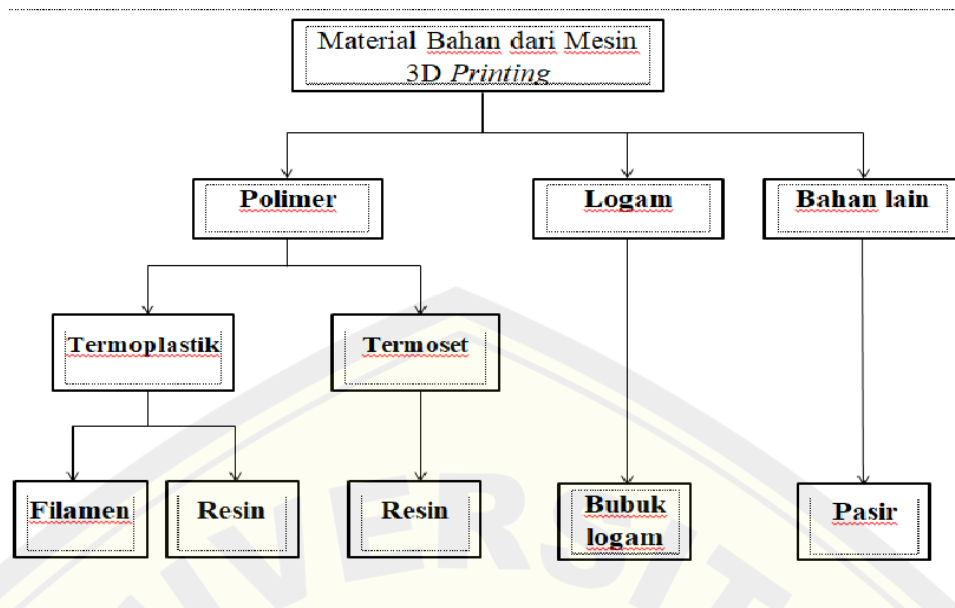
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 3D Printing (*Additive Manufacturing*)

3D *printing* (*Additive manufacturing*) adalah proses pembuatan benda berbentuk 3 dimensi. Proses pencetakan 3D dilakukan melalui proses aditif, dimana benda dibuat dengan meletakkan/menambahkan bahan lapis demi lapis. Teknik yang digunakan pada 3D *printing* sangat berbeda dengan teknik pemesinan tradisional yang lebih dikenal dengan proses subtraktif dimana produk dibuat dengan mengurangi material awal melalui proses penyayatan. Dengan begitu, pembuatan benda menggunakan proses *additive manufacturing* lebih efektif dibandingkan pembuatan benda menggunakan proses *subtractive manufacturing* dikarenakan tidak adanya material yang terbuang.

Hideo Kodama dari Nagoya Municipal Industrial Research Institute adalah orang yang pertama kali memublikasikan 3D *printing* pada tahun 1982. Pertama kali 3D *printer* dapat bekerja atas hasil karya Charles W. Hull dari 3D Systems Corp. pada tahun 1984. Teknologi 3D *printing* banyak digunakan, terutama dalam produksi ponsel, perhiasan, penerbangan, otomotif, sepatu, desain industri, arsitektur, konstruksi, kedokteran gigi, industri medis, pendidikan, teknik sipil, seni, dll.

Sejak mesin 3D *printing* ditemukan, banyak jenis mesin 3D *printing* yang telah dikembangkan. Mesin 3D *printing* tersebut dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan bahan produk yang digunakan (Saputra, 2019). Pembagian mesin 3D *printing* berdasarkan bahan yang digunakan dapat dibagi menjadi 3: (1) Mesin 3D *printing* menggunakan bahan polimer, (2) Mesin 3D *printing* menggunakan bahan logam, (3) Mesin 3D *printing* menggunakan bahan lain, contohnya yaitu menggunakan pasir. Lebih jelasnya lagi, klasifikasi mesin 3D *printing* dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Klasifikasi mesin 3D printing berdasarkan jenis bahan

## 2.2 Filamen

Filamen merupakan bahan baku dalam pembuatan produk pada mesin 3D *printing* FDM. Bahan filamen adalah bahan plastik yang telah digulung, bertujuan untuk memudahkan pengerjaan pencetakan produk. Biasanya, filamen berbentuk silinder dengan diameter 1.75 mm.



Gambar 2. 2 Filamen 3D printing (Saputra, 2019)

Adapun jenis-jenis filamen yaitu sebagai berikut:

a. ABS (*Acrylonitrile Butadine Styrene*)

ABS adalah bahan yang paling umum digunakan untuk mesin 3D *printing*. Bahan ini mempunyai sifat serbaguna, seperti ketahanan termal, ringan, reflektifitas, dll. ABS cenderung mudah dicetak, namun memiliki kecenderungan menyusut pada saat pendinginan, sehingga sedikit berpengaruh pada hasil cetak. Saat menggunakan ABS, alas cetak harus dipanaskan terlebih dahulu dan dikasih perekat. Bahannya relatif aman untuk manusia, tetapi menghasilkan sedikit bau plastik saat ABS dipanaskan.

b. PLA (*Poly Lactic Acid*)

PLA adalah plastik polimer yang terbuat dari bahan *biodegradable* seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. Dikarenakan terbuat dari bahan *biodegradable*, membuat PLA ramah lingkungan, sehingga membuat bahan ini semakin populer. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi.

c. HIPS (*High Impact Polystyrene*)

Filamen ini sangat mirip dengan ABS, namun perbedaan utamanya adalah HIPS larut dalam larutan limonene. Objek 3D yang kompleks juga dapat dicetak menggunakan kombinasi filamen 3D lainnya, di mana HIPS adalah bahan pendukung yang kemudian dapat dengan mudah dilepas dengan menempatkan hasil cetakan 3D dalam larutan limonene. Larutan limonene ini adalah alternatif yang bagus untuk membersihkan bahan pendukung.

d. PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

Filamen PETG adalah senyawa plastik yang termasuk dalam keluarga yang sama dengan PET (*Polyethylene Terephthalate*). Menggabungkan keunggulan senyawa plastik ABS dan PLA dengan warna bening/transparan dan mengkilap.

e. PVA (*Polyvinyl Alcohol*)

Filamen ini adalah filamen mesin 3D *printing* yang larut dalam air. Kemampuan tersebut membuat filamen PVA ideal sebagai bahan pendukung untuk pencetakan 3D PLA yang kompleks.

*f. Nylon*

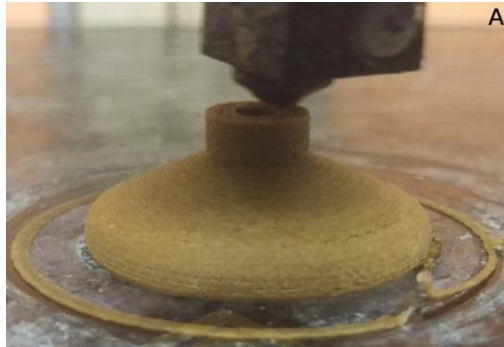
*Nylon* adalah polimer sintesis yang sifat utamanya yang ringan. Meski begitu, *nylon* tetap memiliki kekuatan, kelenturan dan daya tahan yang baik. Uniknya, jika menggunakan filamen ini, proses pewarnaan bahan bisa dilakukan sebelum atau sesudah produk dicetak. Namun, kekurangannya adalah bahannya yang mudah menyerap, sehingga harus disimpan di tempat yang kering. *Nylon* biasa digunakan untuk mencetak suku cadang mekanik, alat ringan, prototipe, dll.

*g. Wood*

Filamen *wood* merupakan filamen 3D *printing* yang memiliki karakteristik warna dan hasil seperti kayu. Potongan kecil kayu, serpihan dan partikel dapat digiling menjadi fraksi yang lebih kecil untuk menghasilkan bubuk kayu halus, yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan pengisi dan penguat dalam polimer untuk dijadikan filamen 3D *printing*. Bubuk kayu biasanya ditambahkan ke PLA bertujuan untuk mengurangi biaya, meningkatkan sifat mekanik dan termal dari matriks PLA. Saat bubuk kayu ditambahkan pada filamen termoplastik, harga filamen akan mengalami penurunan, sehingga penggunaan 3D *printing* akan meningkat secara signifikan. Konsumen akan lebih memilih filamen ramah lingkungan untuk produk cetak 3D mereka (Ayrilmis, 2018).

Penggunaan bahan alami seperti kayu membantu menurunkan penggunaan plastik berbasis minyak bumi dan mengurangi dampak bagi lingkungan. Harga rendah partikel kayu sisa juga merupakan salah satu alasan mereka digunakan, yang juga membatasi jumlah yang lebih mahal dari polimer termoplastik (Kariz et.al, 2017). Jenis kayu yang biasa digunakan untuk pembuatan filamen diantaranya adalah *bamboo, birch, cedar, cork, ebony, olive* dan *pine*. Aplikasi dari filamen *wood* sangat bervariasi, salah satu contohnya yaitu pembuatan knop laci.



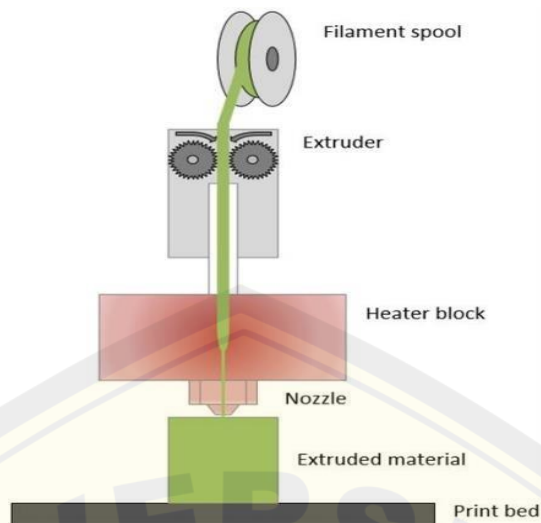


Gambar 2. 3 Knop laci (Pringle, et al., 2019)

### 2.3 FDM (*Fused Deposition Modelling*)

Sejauh ini teknologi AM (*Additive Manufacturing*) yang paling umum digunakan adalah metode FDM (*Fused Deposition Modelling*), diproduksi dan dikembangkan oleh Stratasys, USA. Paten FDM awal diberikan kepada pendiri Stratasys yaitu Scott Crump pada tahun 1992. FDM menggunakan ruang pemanas untuk mencairkan polimer yang dimasukkan ke dalam sistem yang disebut sebagai filamen. Filamen didorong ke dalam ruang dan dorongan inilah yang menghasilkan tekanan ekstrusi.

Proses pembentukan objek 3D dalam proses FDM menggunakan teknik lapis demi lapis. Ketika mesin 3D *printing* mulai bekerja, sistem pemanas akan melelehkan bahan filamen dan kemudian filamen tersebut diekstrusi menggunakan *nozzle* sehingga membentuk lapisan. *Nozzle* bergerak berdasarkan pada perintah program G-code yang telah dibuat sebelumnya. Setelah lapisan pertama terbentuk, *nozzle* akan bergerak ke atas untuk membentuk lapisan berikutnya (Noor, 2019).



Gambar 2. 4 Skema mesin FDM (Pandzic, 2019)

### 2.3.1 Bagian-bagian mesin FDM

Menurut (Saputra, 2019) untuk melakukan pekerjaan dengan baik, mesin 3D *printing* membutuhkan beberapa komponen utama. Beberapa komponen utama tersebut adalah sebagai berikut.

#### a. *Print Bed*

*Print bed* adalah permukaan yang digunakan sebagai alas selama proses pencetakan 3D. *Print bed* berfungsi juga sebagai penyangga objek yang akan dicetak sehingga posisi produk tidak berubah sama sekali selama proses pencetakan. Jika posisi *print bed* dan produk berubah selama proses pencetakan, maka akan mempengaruhi hasil yang akan diperoleh. *Print bed* harus memiliki kemampuan untuk menahan beban produk dan menahan panas sampai dengan 120 derajat. Dalam beberapa jenis filamen, *print bed* membutuhkan suhu tinggi untuk menjaga produk jadi tetap menempel pada alas.



Gambar 2. 5 Print bed (Saputra, 2019)

#### b. *Extruder*

*Extruder* adalah komponen yang berfungsi memindahkan filamen yang dibutuhkan dari *roller* ke *nozzle*. *Extruder* ini bekerja sesuai dengan arahan yang telah diprogram ECU mesin 3D *printing*. *Extruder* akan mengalir terus menerus saat *nozzle* membuat *layer* pertama produk. Saat mesin 3D *printing* memindahkan *nozzle* dari satu titik ke titik yang lain, terutama dimana tidak ada filamen yang mengalir, maka *extruder* akan menahan filamen sehingga cairan filamen tidak keluar dari *nozzle*. Jika *extruder* tidak berfungsi dengan baik, maka hasil produk 3D akan menjadi tidak rata karena suplai yang tidak mencukupi atau bahkan berlebihan, sehingga produk juga akan menjadi rusak.



Gambar 2. 6 Extruder (Saputra, 2019)

c. *Nozzle*

*Nozzle* adalah salah satu komponen utama dalam mesin 3D *printing*. *Nozzle* berfungsi untuk mencairkan filamen dan mengarahkannya sehingga membentuk sebuah lapisan sesuai dengan desain produk yang akan dicetak. Pelelehan yang disebabkan oleh *nozzle* tersebut, berasal dari suhu tinggi pemanas listrik yang ada dibagian *nozzle*. Proses kerja *nozzle* adalah ketika filamen plastik ditekan ke *nozzle* oleh *extruder*, *nozzle* sudah dalam keadaan panas berdasarkan *settingan* yang berada didalam *file*. Pada saat yang sama, filamen dalam bentuk plastik padat terkena suhu tinggi pada *nozzle*, kemudian filamen plastik meleleh dan keluar dari ujung *nozzle*.



Gambar 2. 7 Nozzle (Saputra, 2019)

d. Motor Stepper

Motor stepper adalah motor penggerak yang kecepatan geraknya dikontrol secara elektronik. Densitas motor stepper sangat kecil, sehingga kelebihan motor stepper ini adalah dapat bergerak dalam jangkauan yang kecil. Motor stepper dapat membuat jarak yang kecil dan putaran yang kecil, sehingga motor jenis ini sangat ideal untuk mesin 3D *printing*. Penggunaan motor stepper pada mesin 3D *printing* adalah untuk menggerakkan alas pada sumbu Y dan Z, untuk menggerakkan *nozzle* pada sumbu X dan untuk *extruder*. Jenis motor stepper yang digunakan pada mesin 3D *printing* memiliki jenis dan tipe yang sama.



Gambar 2. 8 Motor stepper (Saputra, 2019)

e. Rangka/*Frame*

Fungsi dari *frame* adalah untuk merakit semua komponen yang diperlukan pada mesin 3D *printing*. Kebanyakan *frame* terbuat dari aluminium, namun jenis rangka berbahan akrilik saat ini sedang banyak digunakan.

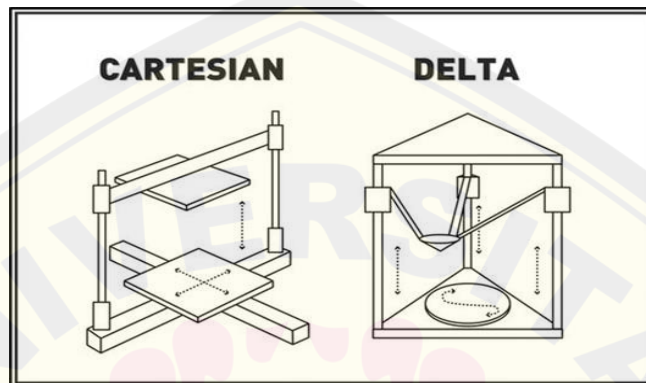


Gambar 2. 9 Frame (Saputra, 2019)

f. Mekanik Pemindah

Mekanik pemindah membantu *nozzle* bergerak menuju titik koordinat kartesius yang diperintah oleh sistem. Pada mesin 3D *printing* terdiri dari 2 jenis mekanisme, model cartesian dan delta/segitiga. Mesin 3D *printing* model cartesian memiliki tiga arah perpindahan, yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z.

Model cartesian menggunakan garis lurus sebagai titik kerja dan memiliki tiga motor untuk membantu proses perpindahan. Motor pertama akan mengatur perpindahan *nozzle* untuk bergerak secara horizontal pada sumbu Z. Motor kedua akan mengatur pergerakan *nozzle* dalam arah vertikal. Motor ketiga berfungsi sebagai penggerak dari *bed*.



Gambar 2. 10 Mekanisme perpindahan mesin 3D printing (Saputra, 2019)

g. *Motherboard*

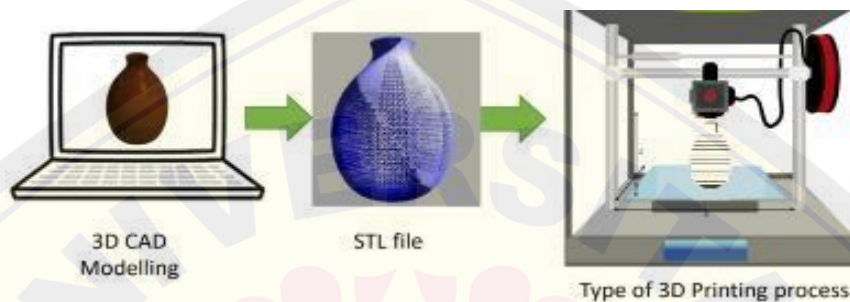
Proses kerja mesin 3D *printing* terdiri dari banyak bagian pendukung yang saling berhubungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pusat pengendali yang mampu mengendalikan seluruh komponen yang dapat bekerja bersama-sama dalam waktu yang bersamaan. Pengontrol elektronik yang mampu mengendalikan kinerja komponen pendukung ini yaitu menggunakan arduino.



Gambar 2. 11 Motherboard (Saputra, 2019)

### 2.3.2 Cara Kerja Mesin FDM

Pekerjaan atau alur kerja *3D printing* dengan metode FDM terdiri dari beberapa tahap. Tahapan sederhana pembuatan produk 3D dimulai dengan desain 3D, kemudian konversi format desain 3D dan terakhir proses pencetakan dengan *3D printing* (Saputra, 2019). Konsep cara kerja *3D printing* adalah seperti gambar 2.9 berikut:



Gambar 2. 12 Alur kerja mesin 3D printing (Saputra, 2019)

(Saputra, 2019) mengatakan, tahapan-tahapan sederhana yang sudah dijelaskan itu memiliki cakupan yang luas disetiap tahapannya. Lebih lanjut, tahapan-tahapan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Desain 3D

Model desain 3D ini merupakan desain produk yang akan dicetak menggunakan *3D printing*. Model desain 3D dapat diperoleh dengan berbagai cara, diantaranya yaitu melakukan pemindaian pada objek 3D, mencari gambar objek di internet dan bisa juga dengan membuat desain sendiri melalui aplikasi, seperti inventor, autocad, solidwork, dll. Gambar yang telah diperoleh tadi, kemudian disimpan dalam bentuk *file STL*. Format *file STL* ini dibutuhkan agar dapat dibaca oleh alat sehingga desain dapat dicetak dengan mesin *3D printing*.

b. Konversi format desain 3D

Desain 3D yang telah disiapkan dalam bentuk file STL, baik yang didapat dari proses pemindaian 3D, mencari di *repository* maupun membuat sendiri dengan aplikasi, selanjutnya akan dipecah sehingga membentuk beberapa lapisan. Fungsi dari membentuk desain menjadi lapisan-lapisan adalah untuk

mendiskripsikan dalam bentuk perintah kerja pada mesin 3D *printing*. Proses pemecahan desain tersebut menggunakan aplikasi konverter *file* STL menjadi *file* G-code, yang biasa disebut Slicer. Ada banyak jenis aplikasi slicer, seperti Repitier Host, Simplify 3D, Ultimaker Cura, dll. Selama proses slicer ini, banyak hal yang akan diperhitungkan, mulai dari ketebalan yang diinginkan, posisi, kerapatan isi, kecepatan pencetakan, dll.

c. Proses pencetakan benda 3D

Proses pencetakan benda 3D sebenarnya akan berjalan secara otomatis berdasarkan pengaturan dari tahap sebelumnya. Selama proses pencetakan, apabila terdapat kotoran pada *nozzle* atau *bed* maka perlu dibersihkan agar tidak mengganggu proses pencetakan dan untuk memastikan hasil yang diperoleh tetap dalam kondisi baik. Semakin besar ukurannya, semakin lama waktu yang dibutuhkan. Jadi, untuk mencetak benda 3D, perlu menggunakan *SDCard* untuk menyimpan *file* desain. Selanjutnya, sistem akan membaca *SDCard* untuk melakukan pencetakan benda 3D. Dengan mode penyimpanan *SDCard*, tidak perlu laptop untuk mengontrol proses pencetakan.

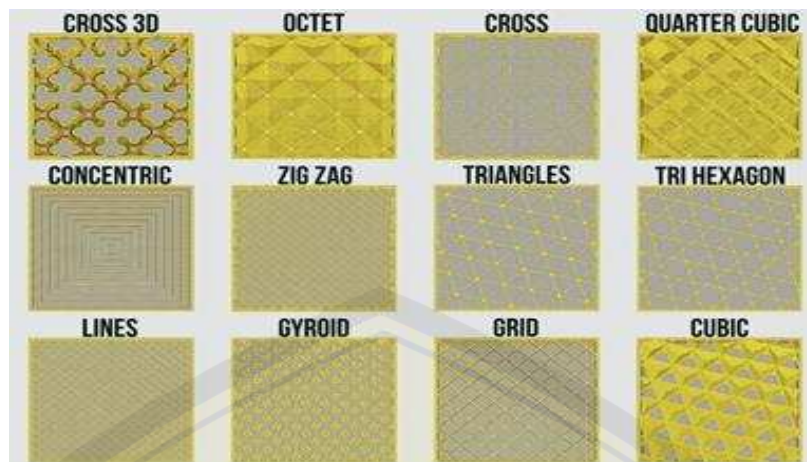
### 2.3.3 Parameter Proses FDM (*Fused Deposition Modelling*)

Parameter adalah bentuk gambaran yang digunakan untuk menetapkan nilai pada mesin sehingga mampu memberikan hasil yang diinginkan dalam prosesnya. Parameter pada mesin 3D *printing* dimasukkan melalui perangkat lunak slicer untuk menghasilkan bahasa pemrograman, yaitu G-code, yang kemudian dibaca oleh mesin sebagai perintah untuk proses pencetakan (Noor, 2019). Beberapa parameter memiliki dampak besar pada karakteristik proses pencetakan dan efisiensi produksinya. Berikut adalah beberapa parameter pada mesin 3D *printing*:

- a. Suhu *nozzle* merupakan suhu dimana filamen diekstrusi bertujuan agar filamen mencair sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
- b. Suhu *bed* merupakan suhu dimana benda menempel pada papan saat proses pencetakan.



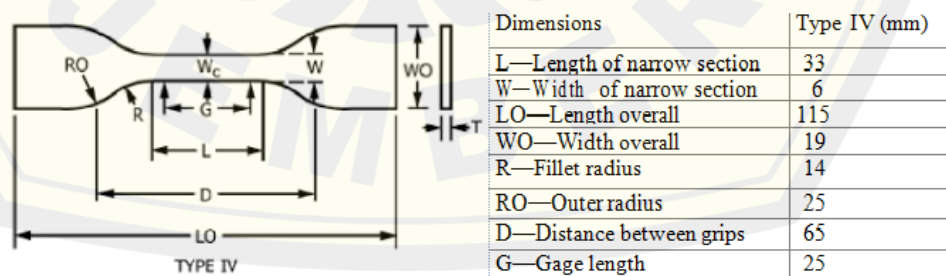
- c. *Layer height* merupakan ketebalan pada setiap lapisan. Ketebalan dari filamen yang diekstrusi selalu lebih kecil daripada diameter *nozzle*.
- d. Sudut *raster* merupakan sudut dari pola isian. Sudut *raster* ini dapat menentukan arah derajat pada saat pencetakan.
- e. *Infill density* merupakan tingkat kepadatan atau volume material dari benda yang akan dicetak, berkisar dari 0% sampai 100%. Semakin tinggi kepadatan memberikan sifat mekanik yang lebih baik daripada kepadatan yang lebih rendah, hanya saja membutuhkan waktu yang lebih lama pada saat pencetakan.
- f. *Speed* merupakan kecepatan gerakan pada saat proses mencetak. Menurut (Noor, 2019), pada saat pengaturan default, terdapat 3 pengaturan kecepatan yang perlu diperhatikan, yaitu:
1. Kecepatan *perimeter* adalah kecepatan kontur pada benda. Proses pencetakan yang lebih lambat dapat menghasilkan kontur benda yang dicetak memiliki sisa material yang sedikit.
  2. Kecepatan *infill* adalah kecepatan untuk membuat pola yang dimulai dari inti objek 3D. Kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan ekstrusi yang lebih tipis, sehingga dapat mempengaruhi penyatuan antar bagian yang diekstrusi.
  3. Kecepatan *travel* adalah kecepatan gerak *print head* saat tidak dalam proses pencetakan.
- g. *Infill pattern* merupakan pola isian dari objek 3D yang akan dicetak. Pemilihan *infill pattern* dapat berdasarkan dari jenis model, kekuatan struktur dan kecepatan cetak yang diinginkan. Banyak sumber yang menyatakan bahwa *infill pattern* mempengaruhi sifat mekanik suatu objek. Beberapa macam *infill pattern* yaitu antara lain: *line*, *cubic*, *grid*, *concentric*, *gyroid*, *triangles*, *cross*, dll. Pada bidang manufaktur, parameter *infill pattern* dapat menjadi sebuah referensi untuk memberikan informasi sifat mekanik pada struktur internal pada alat mekanik, mesin, konstruksi dan *prototype* (Suryawan, 2021).



Gambar 2. 13 Jenis Infill Pattern (Suzen dan Hasdiansah, 2021)

### 2.4 Uji Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan memberikan beban pada material dengan menerapkan gaya yang berlawanan dengan arah menjauhi titik tengah. Uji tarik dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu material dan sebagai data yang digunakan untuk mendukung spesifikasi material. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar untuk menguji dan mempelajari kekuatan bahan. Hasil pengukuran uji tarik adalah kurva yang memberikan hubungan antara gaya yang diberikan dan perpanjangan yang dialami benda uji (Bhaskara dkk., 2018). Terdapat banyak jenis dari bentuk spesimen uji tarik. Spesimen uji tarik ASTM D638 merupakan salah satu spesimen uji tarik yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik material polimer.



Gambar 2. 14 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 (Kumar, 2019)

Adapun rumus dari pangujian kekuatan tarik adalah sebagai berikut:

a. Tegangan

Tegangan adalah gaya yang diterima oleh suatu material per satuan luas.

Untuk memperolehnya, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  = kekuatan tarik N/mm<sup>2</sup>

$F$  = Gaya (N)

$A$  = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

b. Regangan

Regangan adalah hasil pertambahan panjang spesimen. Untuk memperolehnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = regangan

$\Delta L$  = pertambahan panjang (mm)

$L_0$  = panjang mula-mula (mm)

$L$  = panjang setelah tarikan (mm)

Sifat mekanik pertama yang dapat dilihat dari kurva uji tarik yang dihasilkan adalah kuat tarik maksimum. Kekuatan tarik maksimum atau yang sering disebut dengan UTS adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material yang diuji sebelum terjadi patah. Jadi besarnya kekuatan tarik ditentukan oleh tegangan maksimum yang diperoleh dari kurva tarik (Bhaskara dkk., 2018).

Untuk memperoleh nilai UTS, dapat dihitung sebagai berikut:

$$UTS = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

UTS = Kekuatan tarik maksimum (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Beban maksimum (N)

$A$  = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Metode *Oneway* ANOVA

ANOVA adalah metode statistik untuk menganalisis pengaruh satu atau lebih variabel independen pada skala kategorik (disebut "faktor") terhadap variabel dependen, yaitu respons pada skala kontinu. Pada awal perkembangannya, ANOVA dirancang untuk menganalisis data penelitian eksperimental, namun dalam perkembangan selanjutnya, ANOVA juga digunakan untuk menganalisis data penelitian observasional, meskipun hasil teoritis nilai validitas dianggap lebih rendah dari hasil analisis data penelitian eksperimental (Harlan, 2018).

*Oneway* ANOVA merupakan analisis statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan antara lebih dari dua kelompok nilai dengan satu variabel bebas. Manfaat metode *oneway* ANOVA adalah untuk melihat apakah terdapat perbedaan efek akibat perlakuan yang berbeda. ANOVA digunakan dalam banyak penelitian yang melibatkan uji perbandingan antara kelompok sampel independen pada suatu variabel (Harlan, 2018). Hasil perhitungan dengan menggunakan metode *oneway* ANOVA diuraikan dalam tabel persamaan di bawah ini:

Tabel 2. 1 Perhitungan metode oneway ANOVA

Sumber Variansi	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Rerata kuadrat	$F_{uji}$	$F_{tabel}$
			$RKP =$		
Perlakuan	$JKP$	$k - 1$	$JKP / (k - 1)$	$F_{uji} =$	
			$RKG =$	$\frac{RKP}{RKG}$	$F_{(k-1), (n-k); \alpha}$
Galat	$JKG$	$(n - k)$	$JKG / (n - k)$		
Total	$JKT$	$n - 1$			

k : Jumlah kelompok numerik

n : Jumlah data

JKP : Jumlah kuadrat perlakuan (*Treatment sum of squares*; SSTr)

JKG : Jumlah kuadrat galat (*Error sum of squares*; SSE)

JKT : Jumlah kuadrat total (*Total sum of squares*; SSTo)

RKP : Rerata kuadrat perlakuan (*Treatment mean of squares*; MSTr)

RKG : Rerata kuadrat galat (*Error mean of squares*; MSE)

Yang mana hasil hipotesis  $H_0$  ditolak bila  $F_{uji} >$  dari  $F_{tabel}$ . Berikut tahapan-tahapan pengujian dengan metode *one way ANOVA*:

- 1) Uji atau asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.
- 2) Uji atau asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.
- 3) Uji atau asumsikan bahwa data masing-masing homogen.
- 4) Tulis  $H_1$  dan  $H_0$  dalam bentuk kalimat.

$H_1$  : Terdapat perbedaan yang signifikan antara masing-masing kelompok sampel.

$H_0$ : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara masing-masing kelompok sampel.

- 5) Hipotesis statistiknya:

$H_1$  : salah satu tanda ada yang  $\neq$

$H_0$  :  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

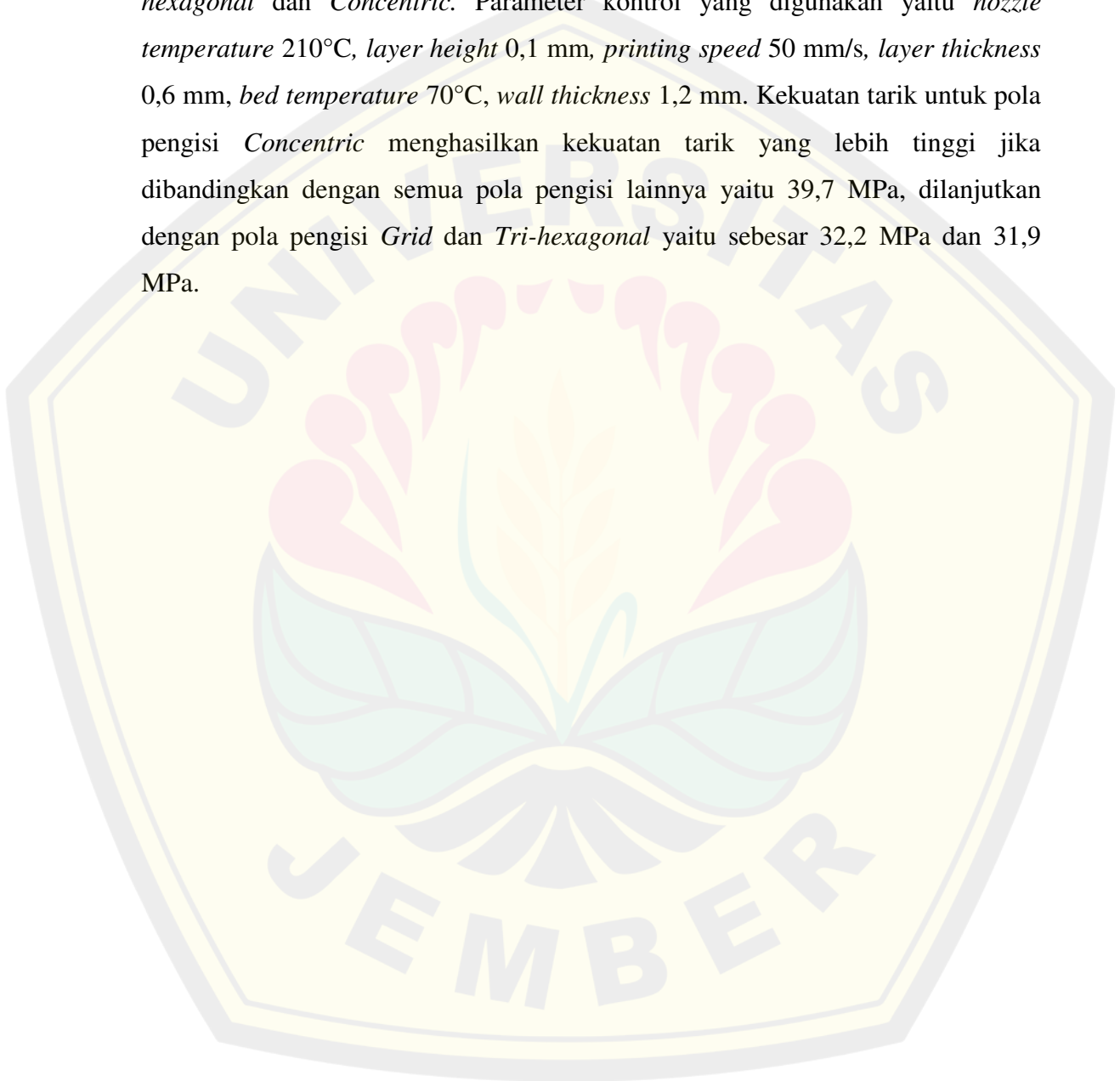
Penelitian yang dilakukan oleh (Annanto dkk., 2021) adalah menyelidiki *infill pattern* yang optimal baik dari segi kekuatan dan waktu. Bahan yang digunakan adalah *poly lactic acid* (PLA) dengan variasi *infill pattern* yaitu *Rectilinear*, *Stars*, *3D HoneyComb*, *Archimedean Chords* dan *Support Cubic* dengan kerapatan masing-masing 30%. Spesimen dengan *infill* berjenis *3D Honeycomb* memberikan nilai kekuatan yang paling besar dengan nilai 27,92 MPa, sedangkan *infill* berjenis *Archimedean chords* menghasilkan kekuatan terkecil dengan nilai sebesar 22,27 MPa. Dari hasil perbandingan antara hasil kekuatan dan waktu cetak didapatkan bahwa *infill* berjenis *Rectilinear* merupakan jenis *infill* yang paling optimal dengan nilai sebesar 0,6, sementara *infill* berjenis *Archimedean Chords* merupakan jenis *infill* yang paling tidak optimal dengan nilai sebesar 0,49.

(Suzen & Hasdiansah, 2021) melakukan penelitian untuk mengevaluasi pengaruh geometri *infill* terhadap kekuatan tarik spesimen *Additive Manufacturing*. Filamen yang digunakan adalah filamen PLA+ Sugoi. Penelitian ini memvariasikan bentuk geometri *infill* yang tersedia pada Ultimaker Cura yaitu sebanyak 13 bentuk *infill* dengan *infill density* 100%, *layer thickness* 0,2 mm, *printing speed* 50 mm/s, *travel speed* 100 mm/s dan *bed temperature* 60°C. Sedangkan *nozzle temperature* menggunakan 3 variasi yaitu 205°C, 215°C dan 225°C. Dari percobaan diperoleh hasil optimum dengan *infill pattern* jenis *Concentric* sebesar 32,40 MPa, sedangkan jenis *infill Cross* menghasilkan kekuatan terkecil yaitu sebesar 19,10 MPa.

(Yeoh et al., 2020) melakukan penelitian untuk menyelidiki pengaruh parameter *infill pattern* terhadap sifat mekanik berbahan PLA dan cPLA. *Infill pattern* yang digunakan adalah *Zig-zag*, *Grid* dan *Concentric*. Parameter kontrol yang digunakan yaitu *nozzle temperature* 200°C, *layer height* 0,2 mm, *layer thickness* 0,2 mm, *printing speed* 14 mm/s, *wall thickness* 0,8 mm dan *infill density* 80%. Pada pengujian menggunakan filamen PLA diperoleh hasil kekuatan tarik terbesar dengan *infill pattern* jenis *Zig-zag* yaitu sebesar 23,409 MPa, dilanjutkan dengan jenis *infill Concentric* dan *Grid* yaitu sebesar 21,442 MPa dan

15,620 MPa. Sedangkan pada pengujian menggunakan filamen cPLA diperoleh hasil kekuatan tarik terbesar dengan *infill pattern* jenis *Grid* yaitu sebesar 28,328.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Rismalia et al., 2019) yaitu menyelidiki pengaruh parameter *infill pattern* dan *density* terhadap sifat tarik menggunakan bahan PLA. *Infill pattern* yang digunakan adalah *Grid*, *Tri-hexagonal* dan *Concentric*. Parameter kontrol yang digunakan yaitu *nozzle temperature* 210°C, *layer height* 0,1 mm, *printing speed* 50 mm/s, *layer thickness* 0,6 mm, *bed temperature* 70°C, *wall thickness* 1,2 mm. Kekuatan tarik untuk pola pengisi *Concentric* menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan semua pola pengisi lainnya yaitu 39,7 MPa, dilanjutkan dengan pola pengisi *Grid* dan *Tri-hexagonal* yaitu sebesar 32,2 MPa dan 31,9 MPa.



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

**3.1 Metode Penelitian**

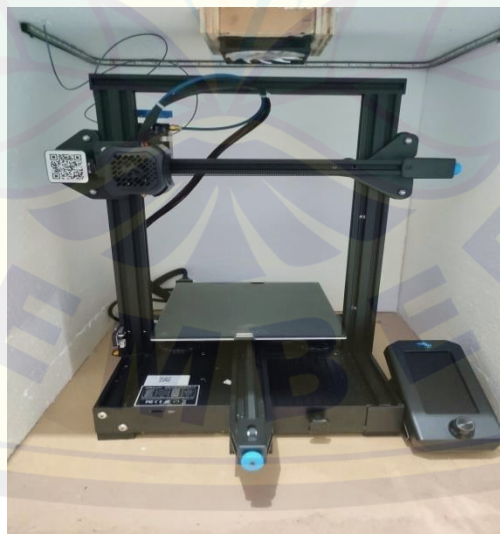
Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental dan analisis untuk mengetahui pengaruh variasi *infill pattern* jenis (*triangle, grid, cubic, concentric* dan *zig-zag*) terhadap kekuatan tarik dengan metode *one way ANOVA*.

**3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pengujian spesimen *3D printing* pada penelitian ini dilakukan di Gedung Laboratorium Fisika Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Jember. Waktu penelitian dilakukan mulai bulan Agustus 2022 – Januari 2023.

**3.3 Alat dan Bahan****3.3.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *3D printing* Creality Ender 3 V2, kapi, stopwatch, laptop berisi aplikasi Ultimaker Cura 5.1 dan aplikasi Minitab19 serta alat uji tarik HT-2402.



Gambar 3. 1 Mesin 3D printing



### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah filamen *wood* dengan perbandingan komposisi PLA 50% dan bubuk kayu 50%. Spesifikasi dari filamen *wood* adalah sebagai berikut:

Warna	: <i>Wood</i>
Diameter	: 1,75 mm
Toleransi	: 0,02 mm
Panjang	: 330 m
Berat bersih	: 0,5 kg



Gambar 3. 2 Filamen wood

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan;
2. Membuat desain spesimen uji tarik pada *software* Autodesk Inventor;
3. Mengekspor hasil desain spesimen menjadi format (STL);
4. Memasukkan desain spesimen ke *software* Ultimaker Cura;
5. Mengatur parameter pencetakan 3D pada *software* Ultimaker Cura;
6. Melakukan proses *slicing* menggunakan *software* Ultimaker Cura;
7. Mengekspor hasil *slicing* menjadi format (gcode);
8. Melakukan bed leveling untuk menentukan posisi sumbu Z yang benar dan mengatur ketinggian antara *nozzle* dengan bed;

9. Memanaskan *nozzle* sesuai dengan suhu yang telah diatur sehingga filamen dapat keluar dengan lancar. Untuk menjaga suhu *nozzle* dan *bed*, terdapat *thermocouple* yang dapat mendeteksi suhu pada *nozzle* dan *bed* sehingga jika suhu tersebut naik atau turun, maka sistem akan mendeteksinya yang kemudian akan mengembalikannya ke suhu yang telah diatur.
10. Memasukkan *file* desain yang telah di-*slicing* dengan format (gcode) ke dalam mesin 3D *printing* Creality Ender 3 V2 menggunakan *SD card*;
11. Memilih *file* yang akan dicetak;
12. Mencetak spesimen;
13. Melepas spesimen dari *bed* setelah selesai melakukan pencetakan;
14. Membersihkan *nozzle* setelah melakukan proses pencetakan;
15. Melakukan uji tarik pada spesimen yang telah dicetak;
16. Menganalisis data yang telah diperoleh dari pengujian tarik spesimen.

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel merupakan segala sesuatu yang menjadi fokus bahasan pada penelitian dan ditetapkan oleh peneliti dengan variasi tertentu yang akan dipelajari untuk memperoleh informasi sehingga dapat menarik kesimpulan. Variabel pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang perubahannya tidak bergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan diselidiki faktor mana saja yang berpengaruh terhadap variabel terikat yang relevan dan hanya melihat faktor-faktor yang dianggap penting. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pola pengisi (*infill pattern*). Pemilihan *infill pattern* penelitian ini didasari dari penelitian sebelumnya yaitu jenis *infill pattern* yang memberikan kekuatan tarik tertinggi dengan tambahan jenis *infill pattern* acak, yang nantinya akan dibandingkan dengan penelitian ini, apakah memberikan hasil yang sama atau berbeda. Untuk variasi pola pengisi ada 5 level yang berbeda, setiap level menggunakan 3 pengulangan untuk menguji hasil secara akurat.

Tabel 3. 1 Variabel Bebas

<b>Faktor</b>	<b>Level</b>
<i>Infill Pattern</i>	<i>Triangle</i>
	<i>Grid</i>
	<i>Cubic</i>
	<i>Concentric</i>
	<i>Zig-zag</i>

### 3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel lain, juga dikenal sebagai variabel respon. Oleh karena itu, variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik maksimum dari benda uji cetakan 3D.

### 3.5.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan faktor yang nilainya dapat disesuaikan atau dikendalikan, variabel yang perlu dikontrol, dipertahankan konstan atau diacak sehingga pengaruhnya dapat dinetralkan, dikecualikan atau disamakan dalam semua kondisi. Pemilihan variabel kontrol ini berdasarkan pada parameter-parameter yang dapat ditemukan di pengaturan pada mesin 3D *printing* melalui perangkat lunak Ultimaker Cura pada kategori *basic*. Pemilihan nilai yang digunakan berdasarkan rekomendasi untuk pencetakan 3D *printing* menggunakan filamen *wood*.

Tabel 3. 2 Variabel Kontrol

<b>No</b>	<b>Variabel Kontrol</b>	<b>Nilai</b>
1	Kecepatan <i>Infill</i>	40 mm/s
2	<i>Bed Temperature</i>	60 °C
3	<i>Nozzle Temperature</i>	210 °C
4	<i>Infill Density</i>	100%
5	<i>Layer Height</i>	0,2 mm

### 3.6 Pengambilan Data

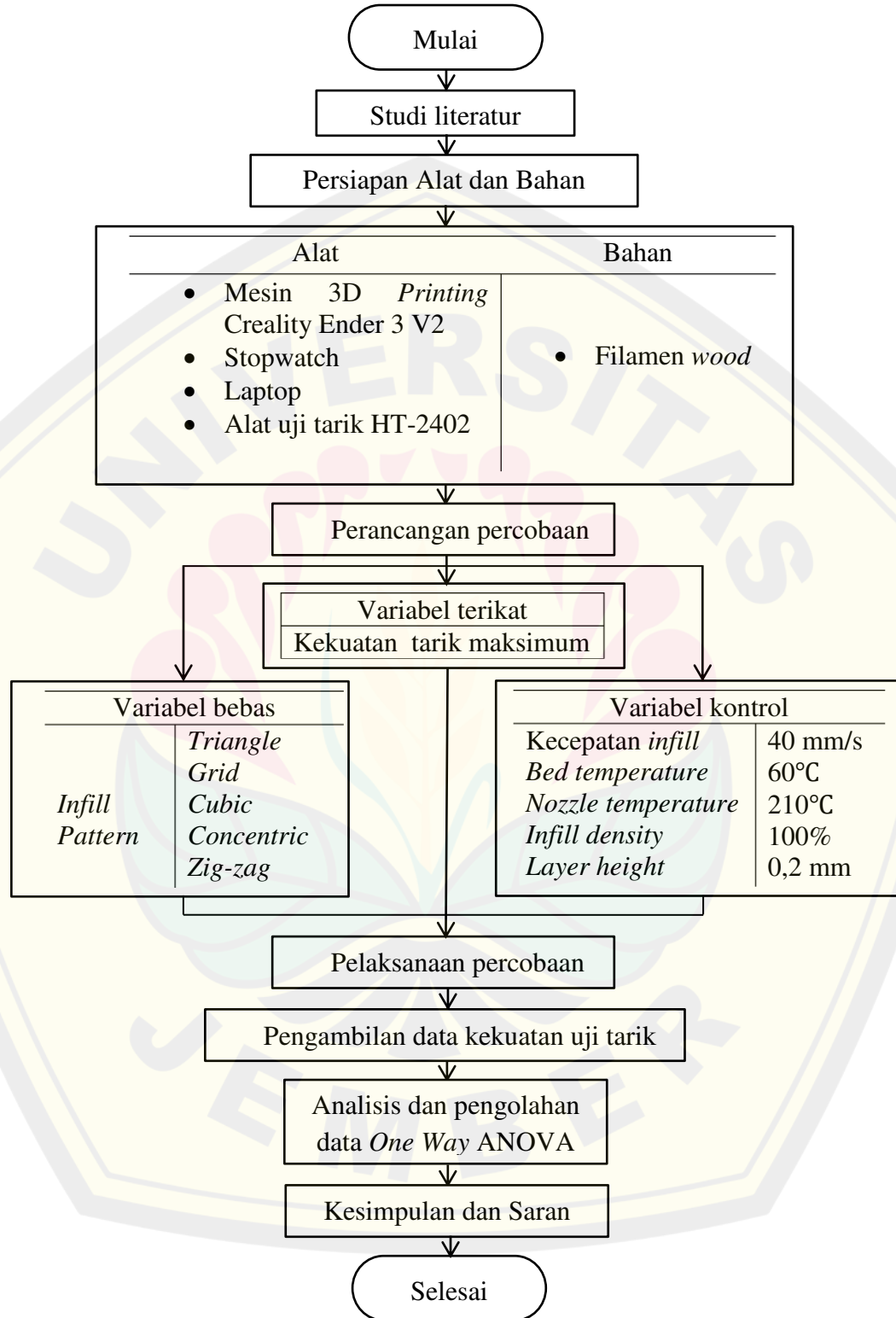
Nilai kekuatan mekanik dicatat dengan menunjukkan hasil kekuatan spesimen tertinggi sebelum spesimen menjadi rusak. Karena pengujian yang dilakukan adalah pengujian destruktif. Untuk pengolahan data menggunakan metode *one way* ANOVA, pengaruh setiap pola pengisi terhadap kekuatan tarik produk ditentukan dengan mengikuti nilai yang diketahui. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data, menggunakan perangkat lunak statistik yaitu minitab19.

Tabel 3. 3 Pengambilan Data Kekuatan Tarik

No	<i>Infill Pattern</i>	Kecepatan <i>Infill</i>	<i>Bed Temperature</i>	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Infill Density</i>	Layer Height	Replikasi			Rata-rata
							1	2	3	
1	<i>Triangle</i>	40 mm/s	60 °C	210 °C	100%	0,2 mm				
2	<i>Grid</i>	40 mm/s	60 °C	210 °C	100%	0,2 mm				
3	<i>Cubic</i>	40 mm/s	60 °C	210 °C	100%	0,2 mm				
4	<i>Concentric</i>	40 mm/s	60 °C	210 °C	100%	0,2 mm				
5	<i>Zig-zag</i>	40 mm/s	60 °C	210 °C	100%	0,2 mm				

3.7 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut.

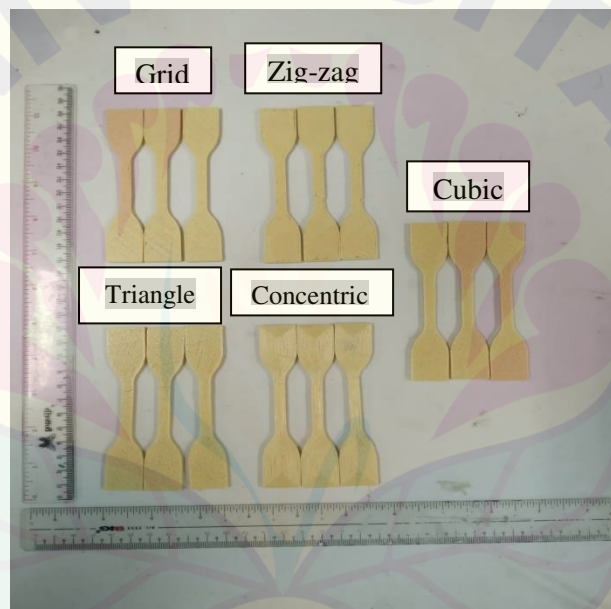


Gambar 3. 3 Diagram Alir

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Data Hasil Percobaan Uji Tarik

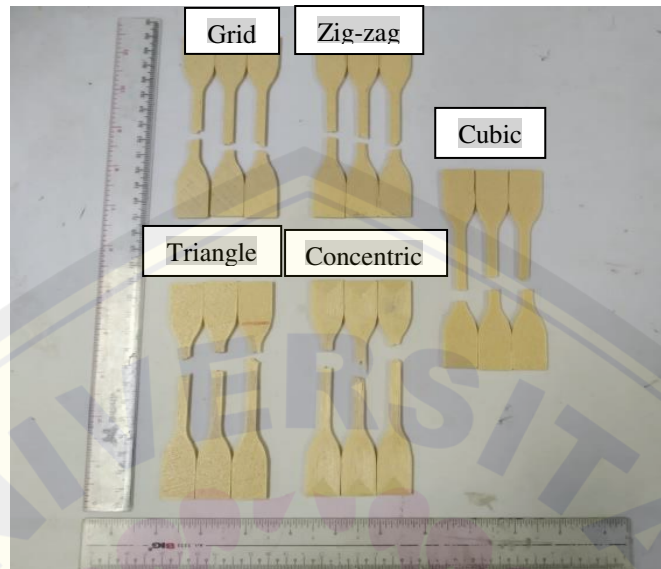
Data percobaan diperoleh berdasarkan rancangan percobaan yang telah dibuat dengan menggunakan metode *one way* ANOVA dengan satu variabel bebas yaitu pola pengisi (*infill pattern*). Proses pengambilan data dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Jenis *infill pattern* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*. Dari variasi pola pengisi (*infill pattern*) ini, akan diperoleh hasil data uji kekuatan tarik tertinggi menggunakan filamen *wood* yang dicetak dengan printer 3D.



Gambar 4. 1 Benda uji hasil cetak 3D printing

Proses pencetakan benda uji membutuhkan filamen sepanjang 2,11 meter dengan berat 3,5 gram untuk masing-masing *infill pattern*. Benda uji yang telah selesai dicetak, kemudian akan dilakukan uji tarik yang bersifat destruktif. Benda uji yang telah dicetak, diberi label nama agar mempermudah saat melakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan di Gedung Laboratorium Fisika Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Jember dengan menggunakan mesin uji tarik

HT-2402. Gambar benda uji yang telah dilakukan pengujian tarik, dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Benda uji setelah dilakukan pengujian tarik

Setelah dilakukan percobaan, didapatkan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) seperti pada tabel 4.1. Data hasil pengujian tarik didapatkan dalam bentuk grafik. Adapun grafik dari hasil pengujian tarik, dapat dilihat pada lampiran 3. Untuk mengetahui nilai UTS, dapat menggunakan rumus yaitu Gaya (F) dibagi dengan luas penampang ( $A_0$ ). Luas penampang dapat diketahui dengan mengalikan tebal benda uji dengan lebar bagian dalam yaitu  $3,2 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 19,2 \text{ mm}^2$  dan untuk gaya dapat dilihat pada tabel 4.2. Berikut contoh perhitungan nilai UTS pada *infill pattern Concentric* replikasi pertama:

$$UTS = \frac{F}{A}$$

$$UTS = \frac{448,7}{19,2}$$

$$UTS = 23,37 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 4. 1 Data hasil uji tarik

No	<i>Infill Pattern</i>	Kekuatan Tarik Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )			Rata-rata
		Replikasi			
		1	2	3	
1.	<i>Triangle</i>	11,29	13,02	14,00	12,77
2.	<i>Grid</i>	13,04	14,45	13,02	13,503
3.	<i>Cubic</i>	16,02	16,60	16,58	16,40
4.	<i>Concentric</i>	23,37	23,81	22,73	23,303
5.	<i>Zig-zag</i>	14,78	16,42	14,36	15,187

Berikut adalah tabel besar gaya (F) pada masing-masing *infill pattern*:

Tabel 4. 2 Data gaya tiap *infill pattern*

No	<i>Infill Pattern</i>	Gaya (N)		
		Replikasi		
		1	2	3
1.	<i>Triangle</i>	216,7	250,0	268,9
2.	<i>Grid</i>	250,3	277,4	250,0
3.	<i>Cubic</i>	307,6	318,7	318,4
4.	<i>Concentric</i>	448,7	457,1	436,4
5.	<i>Zig-zag</i>	283,8	315,3	275,7

Pada pengujian tarik, selain didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum juga didapatkan nilai elongation (pemanjangan) dan modulus elastisitas. Elongation termasuk parameter penting karena dapat menentukan keuletan dari suatu material, sedangkan modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material. Berikut adalah data elongation dan modulus elastisitas tiap *infill pattern* yang didapatkan dari pengujian tarik:



Tabel 4. 3 Data Elongation tiap *Infill Pattern*

No	<i>Infill Pattern</i>	Elongation (%)			Rata-rata
		Replikasi			
		1	2	3	
1.	<i>Triangle</i>	2,714	2,442	2,524	2,56
2.	<i>Grid</i>	2,642	3,001	2,795	2,813
3.	<i>Cubic</i>	3,211	2,908	3,139	3,086
4.	<i>Concentric</i>	3,621	3,575	4,190	3,795
5.	<i>Zig-zag</i>	2,924	3,067	2,636	2,876

Tabel 4. 4 Data Modulus Elastisitas tiap *Infill Pattern*

No	<i>Infill Pattern</i>	Modulus Elastisitas (N/mm <sup>2</sup> )			Rata-rata
		Replikasi			
		1	2	3	
1.	<i>Triangle</i>	416,03	533,32	554,88	501,41
2.	<i>Grid</i>	493,48	481,54	465,77	480,26
3.	<i>Cubic</i>	498,96	570,82	528,29	532,69
4.	<i>Concentric</i>	645,39	666	542,46	617,95
5.	<i>Zig-zag</i>	505,62	535,42	544,56	528,53

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.2.1 Uji Normalitas Data

Uji normalitas merupakan uji untuk mengevaluasi sebaran data dalam sekumpulan data atau variabel, untuk mengetahui apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal. Uji normalitas yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu menggunakan uji Kolmogorov-Sminov pada aplikasi Minitab19 dan setiap percobaan diulang sebanyak 3 kali. Asumsi atau hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

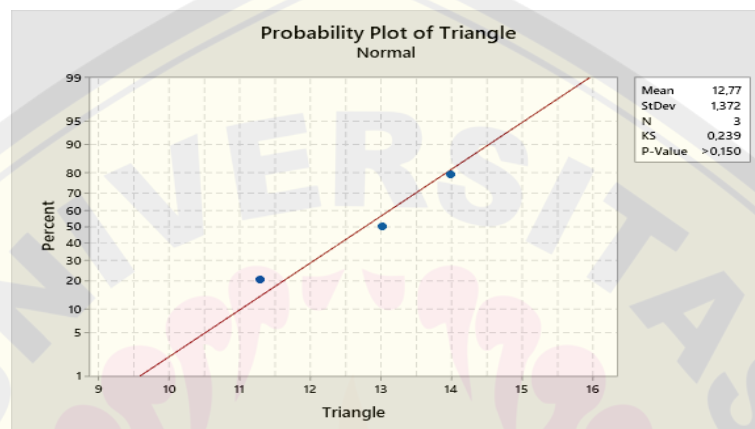
$H_0$  = Data uji berdistribusi normal

$H_1$  = Data uji tidak berdistribusi normal

$H_0$  bisa diterima jika  $P\text{-value} > \alpha = 0.05$  (5%)

Berdasarkan uji normalitas Kolmogorov-Sminov yang dilakukan pada setiap kelompok data, diperoleh hasil sebagai berikut.

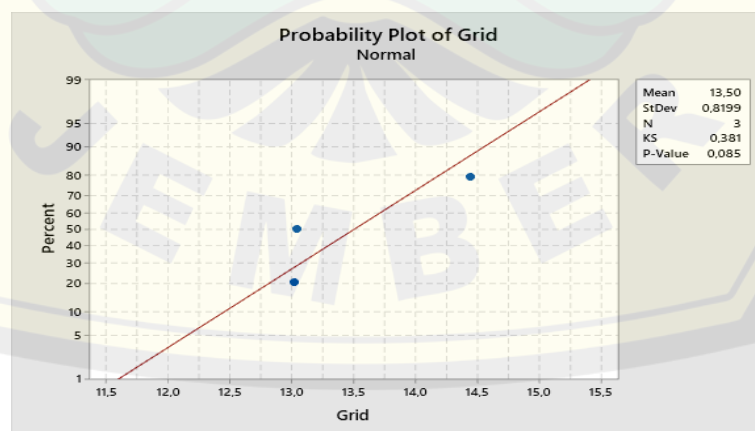
a. Kelompok Data Triangle



Gambar 4. 3 Uji Normalitas Data Kelompok Triangle

Berdasarkan uji normalitas data untuk kelompok *Triangle* dapat disimpulkan bahwa data kelompok *Triangle* berdistribusi normal dengan melakukan 3 kali percobaan karena  $P\text{-value} > 0,150$  lebih besar dari nilai  $\alpha = 0,05$ .

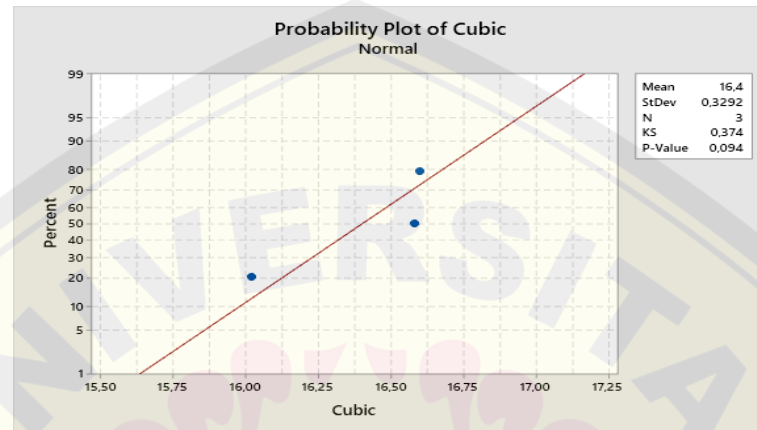
b. Kelompok Data Grid



Gambar 4. 4 Uji Normalitas Data Kelompok Grid

Berdasarkan uji normalitas data untuk kelompok *Grid* dapat disimpulkan bahwa data kelompok *Grid* berdistribusi normal dengan melakukan 3 kali percobaan karena *P-value*  $>0,085$  yaitu lebih besar dari nilai  $\alpha = 0,05$ .

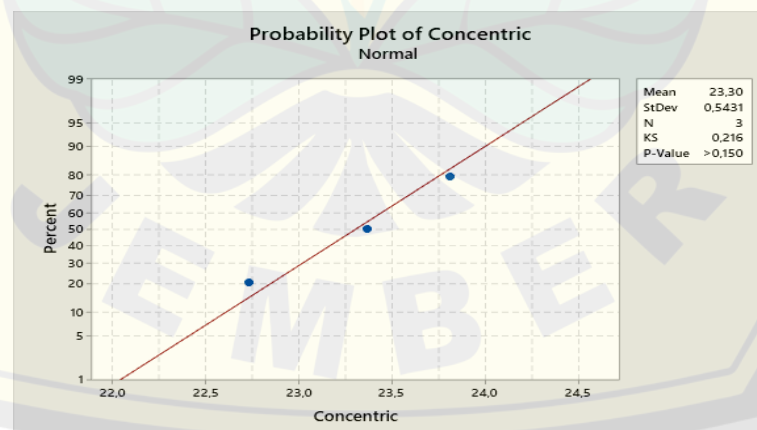
c. Kelompok Data Cubic



Gambar 4. 5 Uji Normalitas Data Kelompok Cubic

Berdasarkan uji normalitas data untuk kelompok *Cubic* dapat disimpulkan bahwa data kelompok *Cubic* berdistribusi normal dengan melakukan 3 kali percobaan karena *P-value*  $>0,094$  yaitu lebih besar dari nilai  $\alpha = 0,05$ .

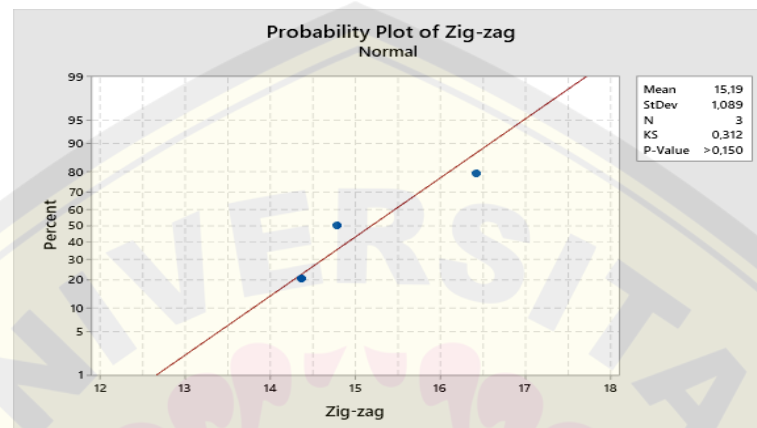
d. Kelompok Data Concentric



Gambar 4. 6 Uji Normalitas Data Kelompok Concentric

Berdasarkan uji normalitas data untuk kelompok *Cubic* dapat disimpulkan bahwa data kelompok *Cubic* berdistribusi normal dengan melakukan 3 kali percobaan karena *P-value*  $> 0,150$  yaitu lebih besar dari nilai  $\alpha = 0,05$ .

e. Kelompok Data Zig-zag



Gambar 4. 7 Uji Normalitas Data Kelompok Zig-zag

Berdasarkan plot uji normalitas untuk data kelompok *Zig-zag* dapat disimpulkan bahwa data kelompok *Zig-zag* berdistribusi normal dengan melakukan 3 kali percobaan karena *P-value*  $> 0,150$  lebih besar dari nilai  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.2 Uji Homogenitas Data

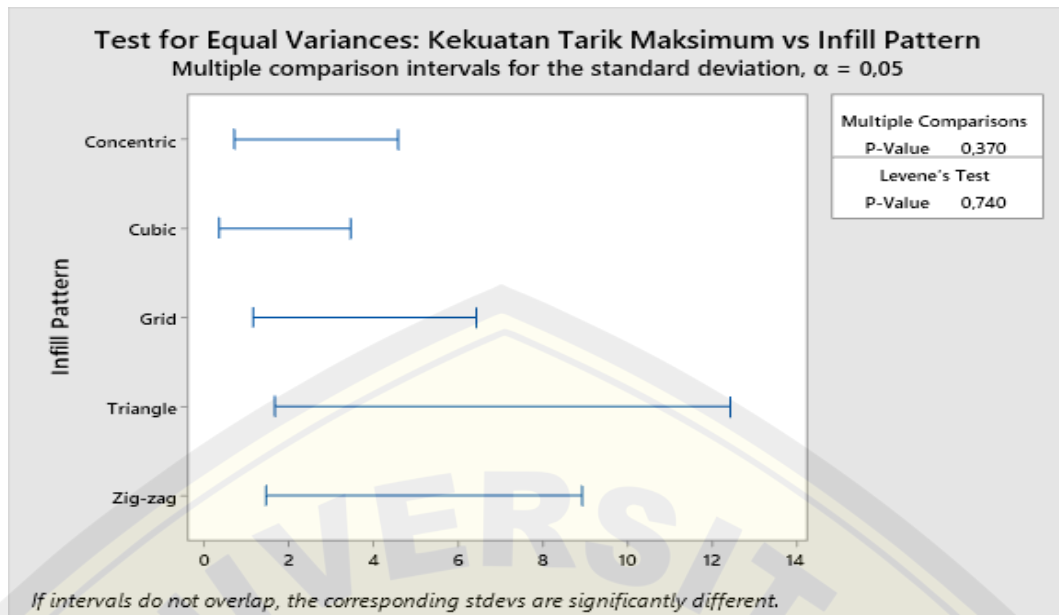
Uji homogenitas dilakukan untuk menguji apakah varian dari setiap kelompok data sama. Homogenitas diuji menggunakan aplikasi minitab19 dengan Uji *Levene* untuk setiap kelompok data *infill pattern*. Kriteria pengujiannya adalah menggunakan hipotesa sebagai berikut:

$H_0$  = Data uji bersifat homogen

$H_1$  = Data uji tidak bersifat homogen

$H_0$  bisa diterima jika *P-value*  $> \alpha = 0.05$  (5%)

Jika nilai *P-value*  $< 0,05$  maka data berasal dari populasi dengan varians yang tidak sama dan jika nilai *P-value*  $> 0,05$  maka data berasal dari populasi dengan varians yang sama.



Gambar 4. 8 Hasil Uji Homogenitas

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa data bersifat homogen. Hal ini karena nilai  $P\text{-value} = 0,740$  lebih besar dari taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima yaitu data bersifat homogen.

#### 4.2.3 Pengujian *One Way* ANOVA

Dalam ANOVA, pengujian dilakukan dengan membandingkan variabilitas antar kelompok (seberapa jauh perbedaan rata-rata) dengan variabilitas dalam kelompok (seberapa banyak variasi yang ada dalam perlakuan). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$H_0$  = Tidak ada perbedaan rata-rata kekuatan tarik maksimum antar pola pengisi (*infill pattern*) yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*.

$H_1$  = Terdapat perbedaan rata-rata kekuatan tarik maksimum antar pola pengisi (*infill pattern*) yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*.

Pada penelitian ini, pengujian ANOVA dilakukan menggunakan aplikasi minitab19 dan diperoleh hasil seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4. 5 Hasil *Analysis of Variance*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Infill Pattern	4	211,667	52,9168	63,86	0,000
Error	10	8,287	0,8287		
Total	14	219,954			

Seperti terlihat pada Tabel 4.3 di atas, nilai  $F_{uji} > F_{tabel}$  menunjukkan bahwa pola pengisian berpengaruh terhadap variabel terikat. Pada penelitian ini, taraf signifikansi yang digunakan yaitu  $\alpha = 0,05$  (5%). Taraf signifikansi tersebut dipilih dengan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

- Kemampuan dan ketelitian printer 3D Creality Ender 3 V2.
- Kemampuan dan ketelitian mesin uji tarik HT-2402.
- Kesalahan manusia.

Nilai  $F_{tabel}$  dapat dicari dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$F_{(k-1),(n-k);\alpha}$$

$$k-1 = 5-1 = 4$$

$$n-k = 15-5 = 10$$

$$\alpha = 0,05 \text{ (5\%)}$$

Keterangan:

k = Jumlah kelompok numerik

n = Jumlah data

$\alpha$  = Taraf signifikansi

Dimana (k-1) adalah pembilang yaitu 4 dan (n-k) adalah penyebut yaitu 10. Nilai  $F_{tabel}$  dapat diketahui dengan melihat tabel distribusi F untuk taraf signifikansi 0,05 yang dapat dilihat pada Lampiran 7. Dengan melihat tabel distribusi F dapat diketahui yaitu  $F_{tabel} (4,10);(0,05) = 3,48$ . Oleh karena  $F_{uji} = 63,86 > F_{tabel} = 3,48$ , maka  $H_0$  ditolak dan hipotesis yang diterima adalah  $H_1$  yaitu terdapat perbedaan rata-rata kekuatan tarik maksimum antar pola pengisi (*infill pattern*) yaitu *triangle*, *grid*, *cubic*, *concentric* dan *zig-zag*.

#### 4.2.4 Pengujian *Post Hoc*

Uji *post hoc* digunakan untuk melihat lebih detail apakah rata-rata dari setiap data berbeda atau tidak. Salah satu metode yang digunakan di dalamnya adalah metode tukey. Berikut adalah hasil pengujian dan pengelompokan informasi pada tingkat kepercayaan 95% dengan menggunakan metode tukey, seperti pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 6 Hasil Metode Tukey

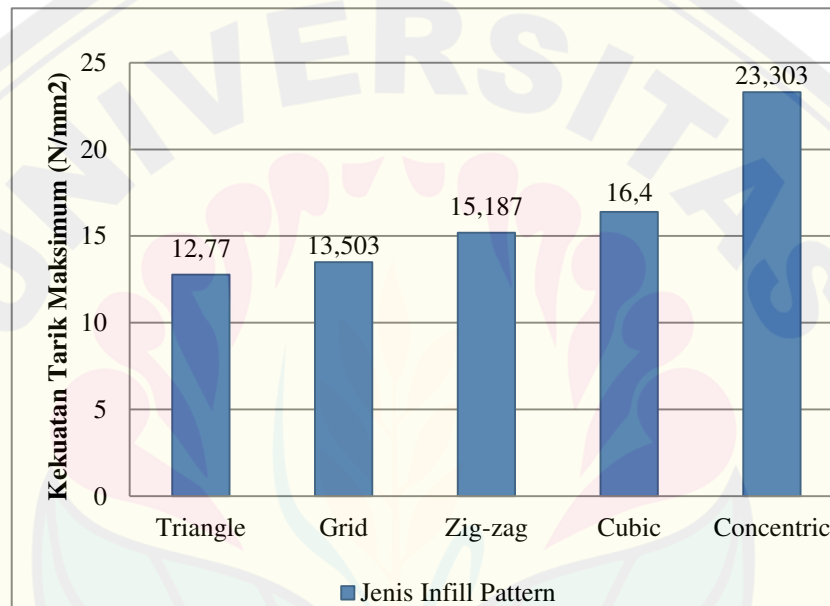
<b>Infill Pattern</b>	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Grouping</b>
Concentric	3	23,303	A
Cubic	3	16,400	B
Zig zag	3	15,187	B C
Grid	3	13,503	C
Triangle	3	12,770	C

Dari hasil tabel metode tukey diatas yang diproses dengan aplikasi minitab19 dapat disimpulkan bahwa pola pengisi *concentric* memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan rata-rata 23,303 N/mm<sup>2</sup> yang berada di grup A, diikuti pola pengisi *cubic* dan *zig-zag* di grup B dengan rata-rata masing-masing 16,400 N/mm<sup>2</sup> dan 15.187 N/mm<sup>2</sup>. Untuk grup C, terdapat pola pengisi *zig-zag*, *grid* dan *triangle* dengan rata-rata masing-masing 15,187 N/mm<sup>2</sup>, 13,503 N/mm<sup>2</sup> dan 12,770 N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.3 Pembahasan Pengaruh *Infill Pattern*

Pola isian (*infill pattern*) adalah parameter yang digunakan dalam penelitian ini untuk mencetak struktur internal objek yang akan dicetak. Dari hasil penelitian dan pengolahan data terlihat bahwa pola pengisi berpengaruh terhadap sifat mekanik yang diuji yaitu kekuatan tarik. Pada penelitian ini, perhitungan yang digunakan untuk mengetahui pengaruh *infill pattern* terhadap kekuatan tarik adalah menggunakan metode *one way ANOVA* dengan bantuan aplikasi minitab19 dan menunjukkan bahwa pola isian pada uji F berpengaruh signifikan

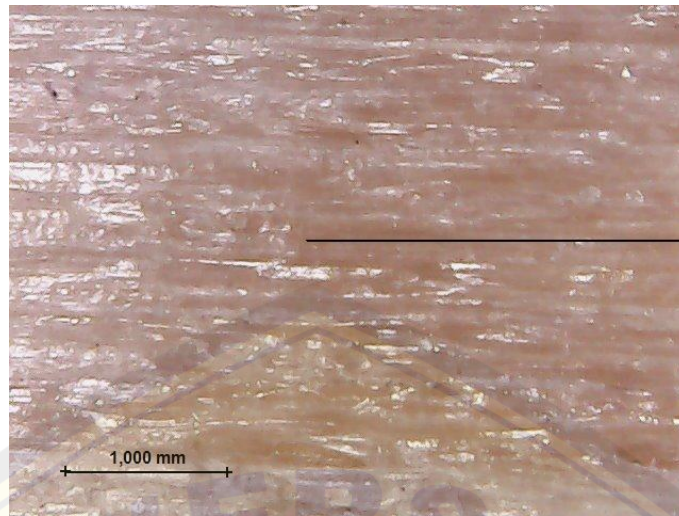
terhadap kekuatan tarik, sehingga nilai rata-rata dari variasi pola isian pada setiap level memiliki nilai yang berbeda, yaitu ( $F_{hitung} = 63,86 > F_{tabel} = 3,48$ ). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik maksimum untuk setiap *infill pattern*. Bentuk pola *infill* tertinggi dicapai oleh pola *infill concentric* dengan 3 kali replikasi dengan rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebesar  $23,303 \text{ N/mm}^2$ . Sedangkan pola *infill* terendah dicapai oleh *infill pattern* berbentuk *triangle* dengan 3 kali replikasi dengan rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebesar  $12,770 \text{ N/mm}^2$ .



Gambar 4. 9 Diagram Nilai Rata-rata Kekuatan Tarik Maksimum

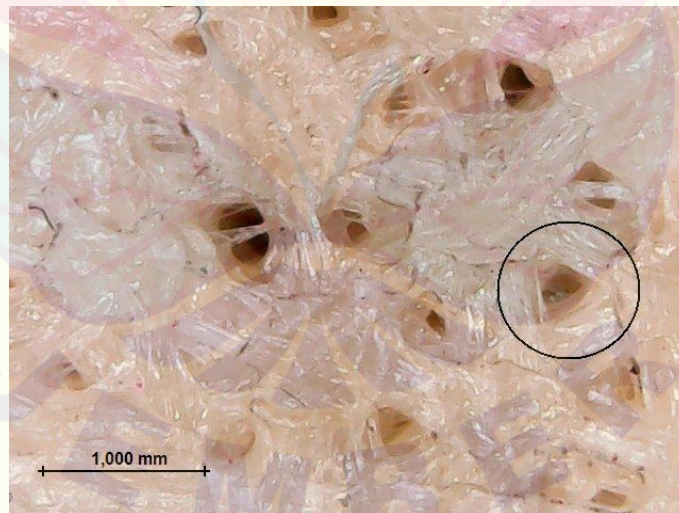
*Infill pattern concentric* memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dikarenakan bentuk polanya yang membentuk garis lurus sehingga laju aliran dari filamen stabil dan pengendapan merata sehingga ikatan antar filamen semakin kuat dan erat. Gambar mikro *infill pattern concentric* dapat dilihat pada gambar 4.10.





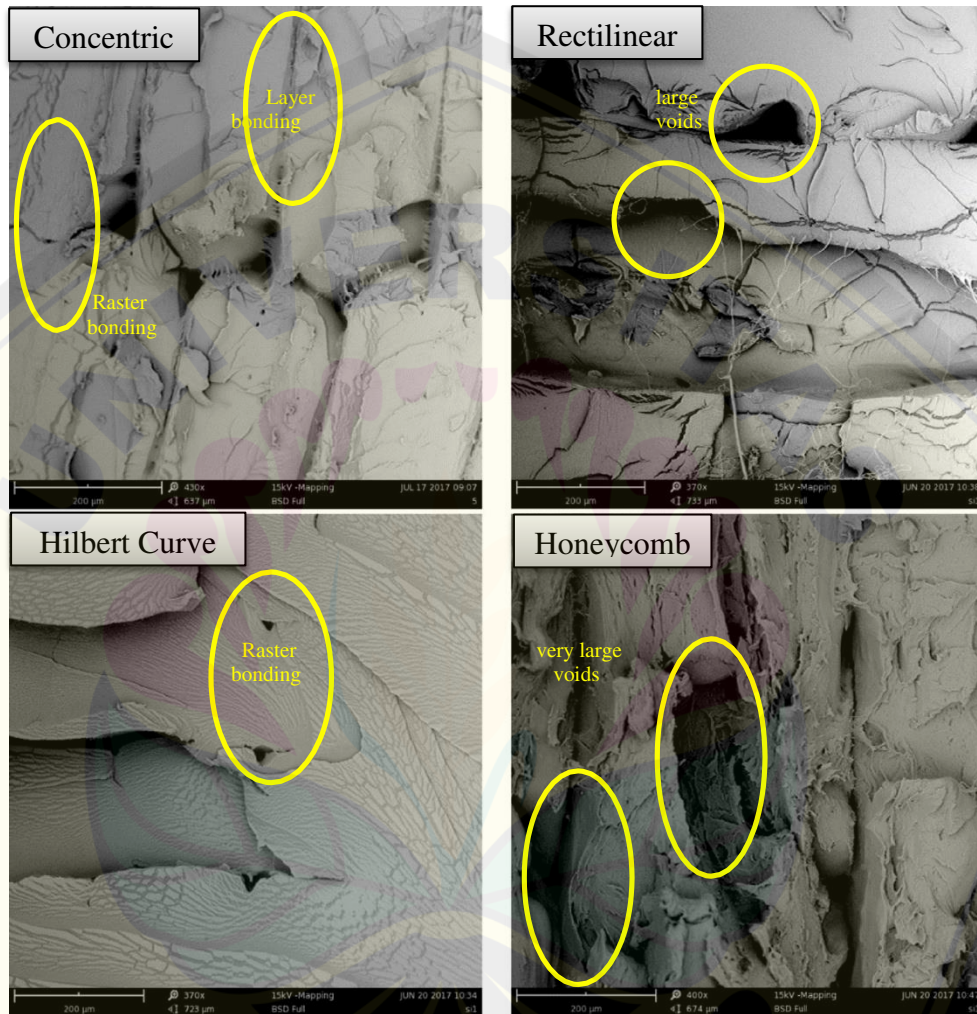
Gambar 4. 10 Gambar mikro *infill pattern concentric*

Sedangkan *infill pattern triangle* memiliki nilai kekuatan tarik terendah dikarenakan bentuk polanya yang membentuk sudut, mengakibatkan perubahan arah yang tiba-tiba sehingga laju aliran dan pengendapan yang terjadi tidak merata sehingga ikatan antar filamen tidak begitu kuat. Gambar mikro *infill pattern triangle* dapat dilihat pada gambar 4.11.



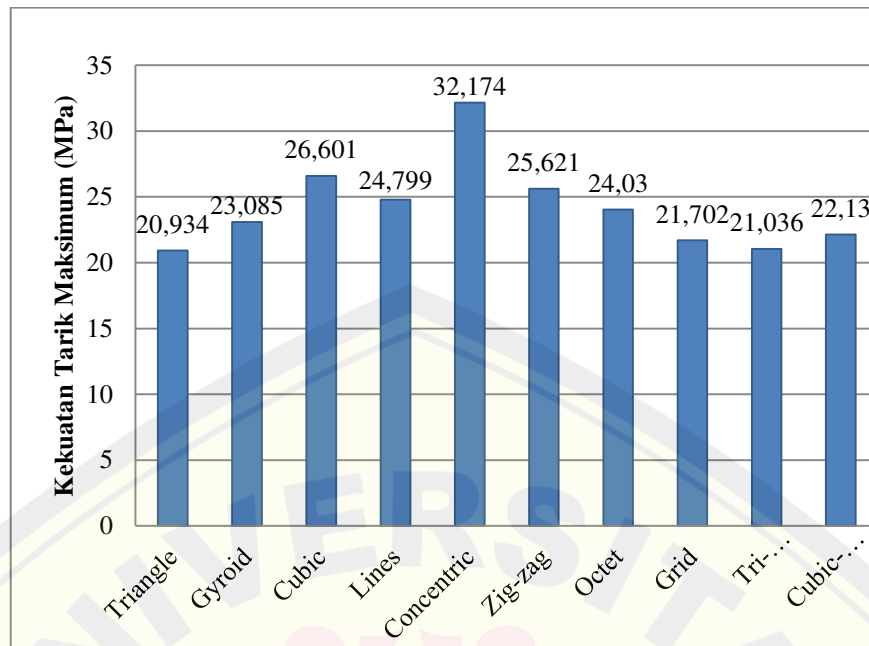
Gambar 4. 11 Gambar mikro *infill pattern triangle*

Hal ini juga terjadi pada penelitian (Akhoundi & Behraves, 2019) dimana *infill pattern concentric* memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi karena pola strukturnya membentuk garis lurus sehingga ikatan antar filamen lebih kuat dibandingkan dengan *infill pattern* lainnya.



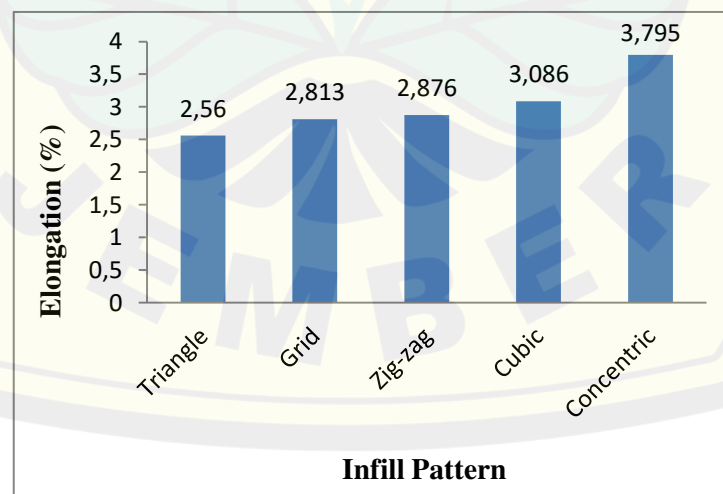
Gambar 4. 12 Gambar SEM hasil pengujian tarik (Akhoundi & Behraves, 2019)

Penelitian yang dilakukan oleh (Jasim et al., 2022) juga menunjukkan hasil yang serupa, dimana *infill pattern concentric* menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dibandingkan *infill pattern* lainnya. Hal ini dikarenakan pola struktur *infill pattern concentric* searah dengan arah beban pada saat dilakukan pengujian tarik.



Gambar 4. 13 Diagram nilai kekuatan tarik (Jasim et al., 2022)

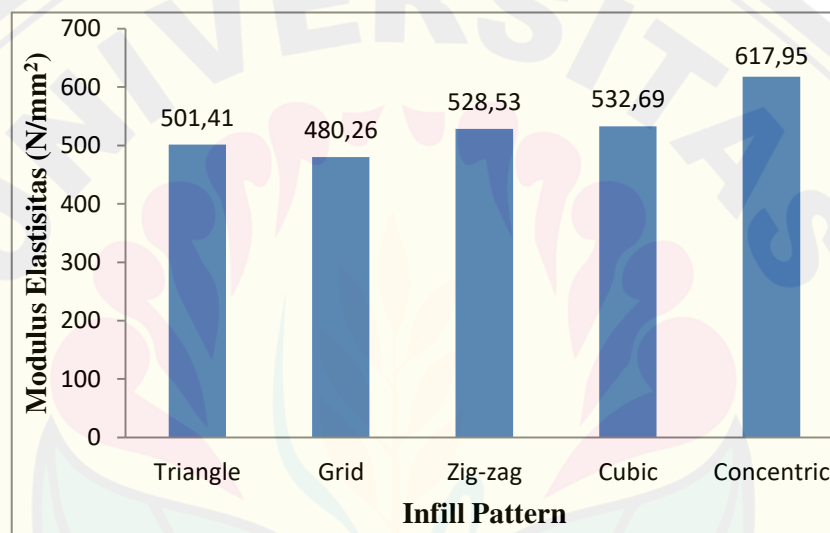
Pada pengujian tarik, selain didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum juga didapatkan nilai elongation. Elongation adalah kondisi dimana suatu bahan mengalami deformasi sampai putus setelah mengalami perubahan panjang dari dimensi mula-mula ketika diregangkan. Elongasi berpengaruh terhadap sifat mekanik suatu bahan, dilihat dari pertambahan panjang yang menampilkan bahwa bahan tersebut bersifat elastis terhadap tegangan (Wattimena dkk., 2016).



Gambar 4. 14 Diagram Nilai Elongation

Berdasarkan hasil elongation pada pengujian tarik yang dapat dilihat pada Gambar 4.10, terlihat bahwa *infill pattern concentric* memiliki nilai elongation yang paling tinggi dibandingkan dengan *infill pattern* lainnya, yaitu sebesar 3,795%, sedangkan *infill pattern triangle* memiliki nilai elongation terkecil, yaitu sebesar 2,56 %. Hal ini menandakan bahwa *infill pattern concentric* memiliki sifat lebih ulet (*ductile*) dibandingkan dengan *infill pattern* lainnya.

Selain nilai elongation, nilai modulus elastisitas juga mempengaruhi sifat mekanik suatu bahan. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh dengan membandingkan antara nilai kekuatan tarik dengan nilai elongation.



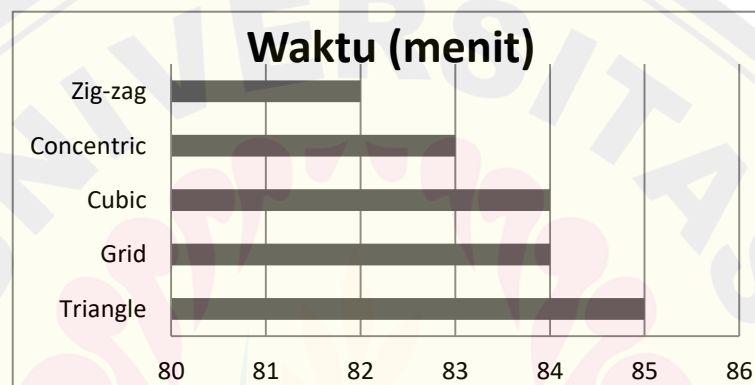
Gambar 4. 15 Diagram Nilai Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Gambar 4.11, terlihat bahwa *infill pattern concentric* memiliki nilai modulus elastisitas yang paling tinggi dibandingkan dengan *infill pattern* lainnya, yaitu sebesar 617,95 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan *infill pattern grid* memiliki nilai modulus elastisitas terkecil, yaitu sebesar 480,26 N/mm<sup>2</sup>. Hasil eksperimen serupa juga diamati oleh (Rismalia et al., 2022) pada jurnal yang berjudul *Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3D printed PLA material*, menyatakan bahwa *infill pattern concentric* memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi sehingga dapat diasumsikan bahwa nilai maksimum dari sifat tarik dicapai karena memiliki jalur pola yang searah dengan arah beban.

#### 4.4 Pengaruh *Infill Pattern* Terhadap Waktu Pencetakan

##### 4.4.1 Waktu Cetak Tiap *Infill Pattern*

Spesimen yang telah diatur parameternya menggunakan aplikasi *slicer* kemudian dicetak menggunakan printer 3D. Setiap sampel dengan jenis pola isian yang berbeda membutuhkan waktu cetak yang berbeda pula. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan total data waktu cetak yang diperlukan untuk setiap *infill pattern*.

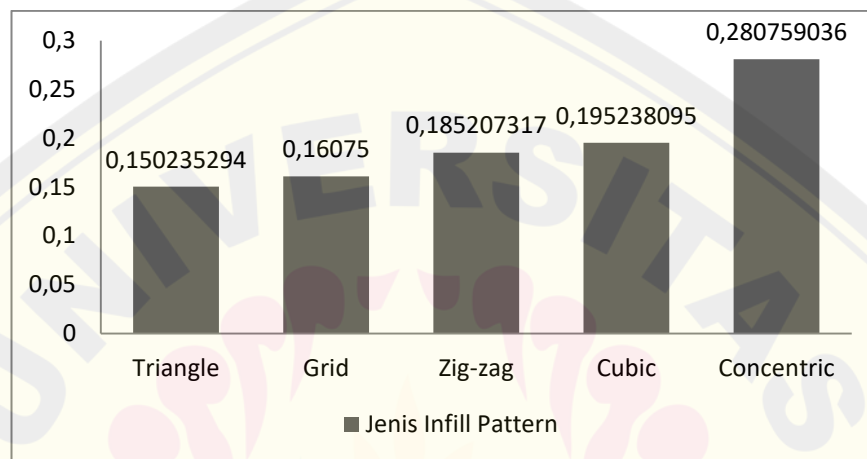


Gambar 4. 16 Waktu cetak tiap *Infill pattern*

Dari Gambar 4.12 diatas, terlihat bahwa pola *infill pattern triangle* membutuhkan waktu pencetakan yang paling lama dibandingkan dengan jenis lainnya, sedangkan pencetakan tercepat dicapai dengan menggunakan pola *infill pattern zig-zag*, meskipun perbedaan waktu pencetakan diantara ke 5 *infill pattern* tersebut tidak berbeda jauh. Perbedaan waktu pencetakan tersebut, dikarenakan bentuk pola yang berbeda. *Infill pattern triangle* membutuhkan waktu yang paling lama karena untuk membentuk pola tersebut, membutuhkan lebih banyak gerakan dibandingkan dengan *infill pattern* lainnya sehingga waktu yang dibutuhkan sedikit lebih lama. Bentuk dari pola setiap *infill pattern* dapat dilihat pada lampiran 4.

#### 4.4.2 Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik dengan Waktu Cetak

Untuk mengetahui jenis *infill pattern* mana yang terbaik dari segi kekuatan dan waktu cetak, maka perlu dibandingkan antara hasil kekuatan dan waktu cetak. Dari perbandingan tersebut diperoleh nilai rasio yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan jenis isian terbaik. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan perbandingan kekuatan tarik dan waktu pencetakan.



Gambar 4. 17 Hasil perbandingan kekuatan tarik dengan waktu cetak

Dari Gambar 4.13 diatas, terlihat bahwa sampel dengan pola isian *concentric* memiliki nilai rasio tertinggi dengan nilai 0,28. Hal ini menunjukkan bahwa pola isian *concentric* adalah jenis isian terbaik baik dari segi waktu maupun kekuatan. Di sisi lain juga terlihat bahwa pola isian jenis *triangle* memiliki nilai rasio paling rendah dengan nilai 0,15. Hal ini juga menunjukkan bahwa jenis isian *triangle* merupakan isian yang paling tidak ideal.

## 4.5 Aplikasi Pada Kehidupan

### 4.5.1 Produk

Filamen *wood* memiliki karakteristik warna dan hasil seperti kayu, biasanya digunakan untuk membuat *action figure*, dekorasi rumah, *furniture* dan lain sebagainya. Pada industri yang berskala lebih besar, filamen *wood* juga dapat digunakan untuk membuat kursi, meja dan yang lainnya menggunakan mesin 3D

*printing*. Pada penelitian ini, contoh produk yang penulis cetak menggunakan 3D *printing* adalah knop laci seperti pada gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4. 18 Knop Laci

Produk ini harus memiliki kekuatan tarik yang bagus karena harus menahan gaya yang diberikan pada saat digunakan. Produk ini dicetak menggunakan parameter terbaik pada penelitian ini yaitu menggunakan *infill pattern concentric*. Pencetakan produk ini membutuhkan filamen sepanjang 6,57 meter dengan berat 20 gram dan membutuhkan waktu selama 4 jam 5 menit.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini, dimana menggunakan metode *one way ANOVA* untuk mengetahui pengaruh variasi pola pengisi (*infill pattern*) pada spesimen 3D *printing* terhadap kekuatan tarik menggunakan filamen *wood* adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan nilai  $F_{hitung}$ , diketahui bahwa pola pengisi *infill pattern* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. *Infill pattern* dengan kekuatan tarik tertinggi didapatkan oleh *infill pattern concentric* dengan rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebesar  $23,303 \text{ N/mm}^2$  dan *infill pattern* terendah didapatkan oleh *infill pattern triangle* dengan nilai rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar  $12,770 \text{ N/mm}^2$ .
2. Berdasarkan hasil perbandingan antara kekuatan tarik dengan waktu cetak, *infill pattern concentric* merupakan *infill pattern* yang paling optimal baik dari segi kekuatan maupun waktu cetak dengan nilai rasio 0,28.

### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, saran yang dapat penulis berikan yaitu sebagai berikut:

1. Studi mengenai 3D *printing* masih dapat dilanjutkan dengan mengubah parameter-parameter yang digunakan seperti *layer height*, *infill density*, *infill speed*, *nozzle temperature* dan *bed temperature* untuk melihat apakah memiliki efek yang sama atau berbeda pada nilai kekuatan tarik.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan jenis pola isian (*infill pattern*) lainnya untuk dijadikan referensi tambahan dalam proses pembuatan produk dengan 3D *printing*.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas penelitian (seperti pengujian kekerasan, dampak, bending dan lain sebagainya) agar mendapatkan informasi yang lebih lengkap tentang sifat-sifat filamen *wood* dan parameter-parameter apa saja yang mempengaruhinya.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Akhoundi, B., & Behraves, A. H. (2019). Effect of filling pattern on the tensile and flexural mechanical properties of FDM 3D printed products. *Experimental Mechanics*, 59, 883-897.
- Annanto, G. P., Syafa'at, I., & Ardianto, I. N. (2021). Pengaruh Infill Pattern Terhadap Kekuatan Hasil Cetakan 3d Printing Berbahan Poly-Lactic Acid. *Momentum*, 17(2).
- Ayrilmis, N. (2018). Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour/PLA filament. *Polymer testing*, 71, 163-166.
- Durgashyam, K., Reddy, M. I., Balakrishna, A., & ... (2019). Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method. *Materials Today* ....  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319314300>
- Fico, D., Rizzo, D., Casciaro, R., & Esposito Corcione, C. (2022). A review of polymer-based materials for Fused Filament Fabrication (FFF): Focus on sustainability and recycled materials. *Polymers*, 14(3), 465.
- Finali, A., Hanafi, A. F., & PU, R. E. (2020). Analisis Variasi Pattern 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 5(1), 16-19.
- Harlan, J. (2018). Analisis variasi
- Jasim, M. F., Abbas, T. F., & Huayier, A. F. (2022). The Effect of Infill Pattern on Tensile Strength of PLA Material in Fused Deposition Modeling (FDM) Process. *Engineering and Technology Journal*, 40(12), 1-8.
- Kariz, M., Sernek, M., Obućina, M., & Kuzman, M. K. (2018). Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*, 14, 135-140.
- Khan, S. F., Zakaria, H., Chong, Y. L., Saad, M. A. M., & Basaruddin, K. (2018, September). Effect of infill on tensile and flexural strength of 3D printed

PLA parts. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 429, No. 1, p. 012101). IOP Publishing.

MANURUNG, L. (2022). PENGARUH TEMPERATUR DAN KECEPATAN 3D PRINTING TERHADAP SIFAT MEKANIS PRODUK HASIL PENCETAKAN DENGAN MENGGUNAKAN 3D PRINTING.

NOOR, S. (2019). ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING MATERIAL NYLON 6 TERHADAP RESPON AKURASI DIMENSI DAN KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI. Retrieved from <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/32605?show=full>

Noverdo, M. (2021). PENGARUH TEMPERATURE NOZZLE TERHADAP ROUGHNESS SURFACE DAN TINGKAT AKURASI DIMENSI PADA MATERIAL PLA WOOD PROSES 3D PRINTING (Doctoral dissertation, Universitas Darma Persada).

Polnaya, F. J., Ega, L., & Wattimena, D. (2016). Karakteristik edible film pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan penambahan gliserol. *Agritech*, 36(3), 247-252.

Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Sugiyarto, S. (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 33-40.

Rismalia, M., Hidajat, S. C., Permana, I. G. R., Hadisujoto, B., Muslimin, M., & Triawan, F. (2019, December). Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3D printed PLA material. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1402, No. 4, p. 044041). IOP Publishing.

Saputra, O. A. (2019). *Pengoperasian Mesin Cetak 3DI*. Wade Group, Surakarta.

Sardi, V. B., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2018). Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrofografi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1).

Srinivasan, R., Kumar, K. N., Ibrahim, A. J., Anandu, K. V., & Gurudhevan, R. (2020). Impact of fused deposition process parameter (infill pattern) on the strength of PETG part. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1801-1805.

Supriyanto, E. (2020). “Manufaktur “dalam Dunia Teknik Industri. *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*, 3(3).

Suryawan, E. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Infill Pattern Pada Produk 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Dengan Material Acrylonitrile Butadiene Styrene.

Suzen, Z. S., & Hasdiansah, H. (2021). Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugo. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 140-147.

Yeoh, C. K., Cheah, C. S., Pushpanathan, R., Song, C. C., Tan, M. A., & Teh, P. L. (2020, October). Effect of infill pattern on mechanical properties of 3D printed PLA and cPLA. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engin*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Minitab19

The screenshot shows the Minitab 19 interface with a One-way ANOVA table. The table has two columns: 'Infill Pattern' and 'Nilai Uji Tarik'. The data is as follows:

Infill Pattern	Nilai Uji Tarik
1 concentric	23,37
2 cubic	16,02
3 grid	13,04
4 triangle	11,29
5 zig zag	14,78
6 concentric	23,81
7 cubic	16,60
8 grid	14,45
9 triangle	13,02
10 zig zag	16,42
11 concentric	22,73
12 cubic	16,58
13 grid	13,02
14 triangle	14,00
15 zig zag	14,36

Gambar 1. Tabel Minitab19

Lampiran 2. Analisis *One Way* ANOVA menggunakan Minitab19

The screenshot shows the Minitab 19 One-way ANOVA analysis results. The analysis is titled 'One-way ANOVA: Nilai Uji Tarik versus Infill Pattern'.

**Method**

- Null hypothesis: All means are equal
- Alternative hypothesis: Not all means are equal
- Significance level:  $\alpha = 0,05$

*Equal variances were assumed for the analysis.*

**Factor Information**

Factor	Levels	Values
Infill Pattern	5	concentric; cubic; grid; triangle; zig zag

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Infill Pattern	4	211,667	52,9168	63,86	0,000
Error	10	8,287	0,8287		
Total	14	219,954			

Gambar 2. Informasi Metode *One Way* ANOVA

**Factor Information**

Factor	Levels Values
Infill Pattern	5 concentric; cubic; grid; triangle; zig zag

Gambar 3. Informasi Tiap Faktor

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Infill Pattern	4	211,667	52,9168	63,86	0,000
Error	10	8,287	0,8287		
Total	14	219,954			

Gambar 4. Informasi Hasil Analisis ANOVA

**Means**

Infill Pattern	N	Mean	StDev	95% CI
concentric	3	23,303	0,543	(22,132; 24,474)
cubic	3	16,400	0,329	(15,229; 17,571)
grid	3	13,503	0,820	(12,332; 14,674)
triangle	3	12,770	1,372	(11,599; 13,941)
zig zag	3	15,187	1,089	(14,016; 16,358)

Pooled StDev = 0,910319

Gambar 5. Informasi Rata-rata Tiap Variasi

**95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations**

Infill Pattern	N	StDev	CI
concentric	3	0,54308	(0,0005416; 3851,37)
cubic	3	0,32924	(0,0003284; 2334,90)
grid	3	0,81990	(0,0008177; 5814,51)
triangle	3	1,37219	(0,0013685; 9731,20)
zig zag	3	1,08855	(0,0010856; 7719,69)

Individual confidence level = 99%

Gambar 6. Informasi Standar Deviasi Tiap Variasi

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

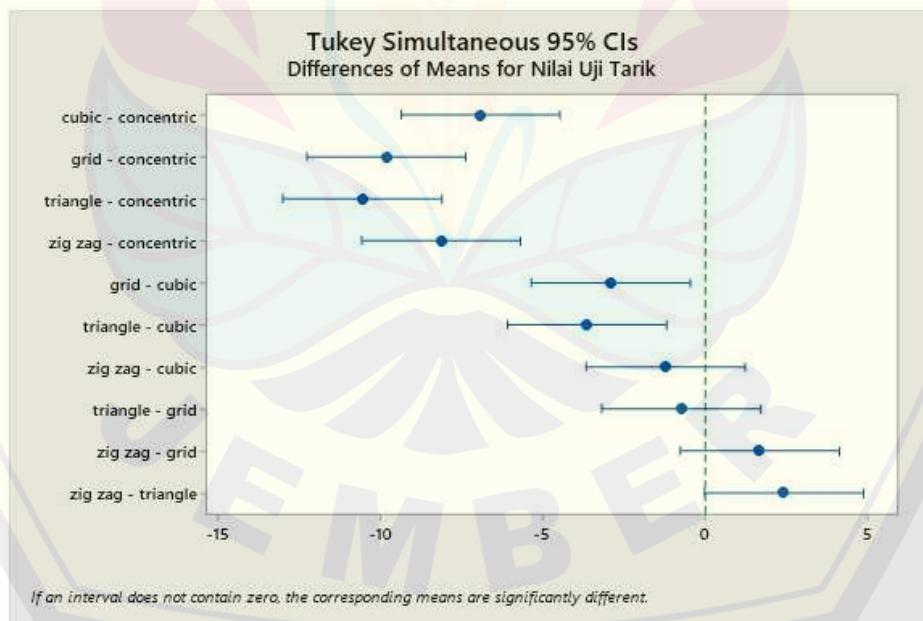
Infill Pattern	N	Mean	Grouping
concentric	3	23,303	A
cubic	3	16,400	B
zig zag	3	15,187	B C
grid	3	13,503	C
triangle	3	12,770	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

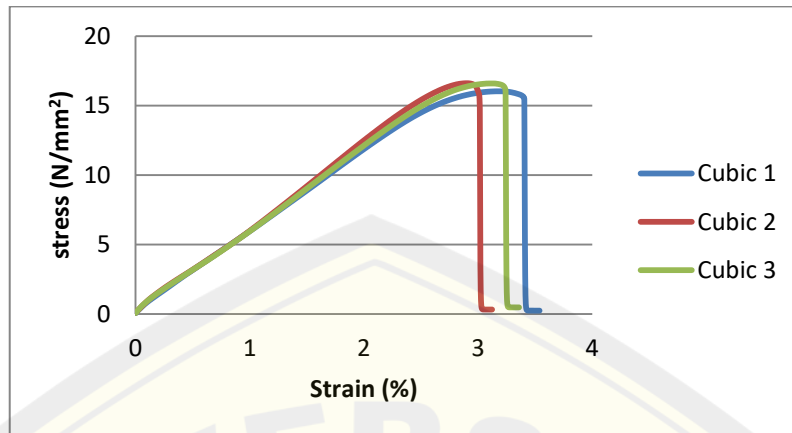
Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
cubic - concentric	-6,903	0,743	(-9,347; -4,459)	-9,29	0,000
grid - concentric	-9,800	0,743	(-12,244; -7,356)	-13,18	0,000
triangle - concentric	-10,533	0,743	(-12,977; -8,089)	-14,17	0,000
zig zag - concentric	-8,117	0,743	(-10,561; -5,673)	-10,92	0,000
grid - cubic	-2,897	0,743	(-5,341; -0,453)	-3,90	0,020
triangle - cubic	-3,630	0,743	(-6,074; -1,186)	-4,88	0,004
zig zag - cubic	-1,213	0,743	(-3,657; 1,231)	-1,63	0,511
triangle - grid	-0,733	0,743	(-3,177; 1,711)	-0,99	0,855
zig zag - grid	1,683	0,743	(-0,761; 4,127)	2,26	0,233
zig zag - triangle	2,417	0,743	(-0,027; 4,861)	3,25	0,053

Individual confidence level = 99,18%

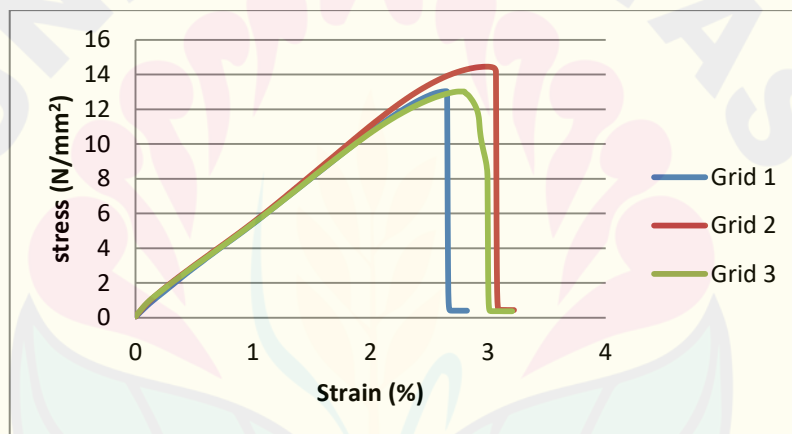


Gambar 7. Informasi Hasil Pengujian Tukey

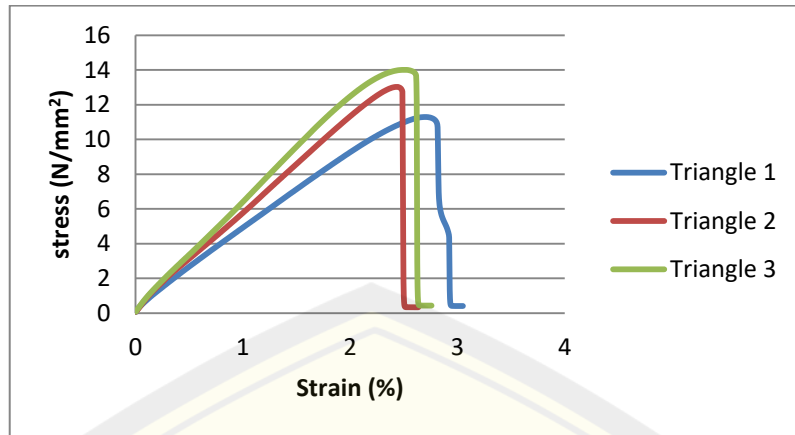
**Lampiran 3. Data Hasil Pengujian**



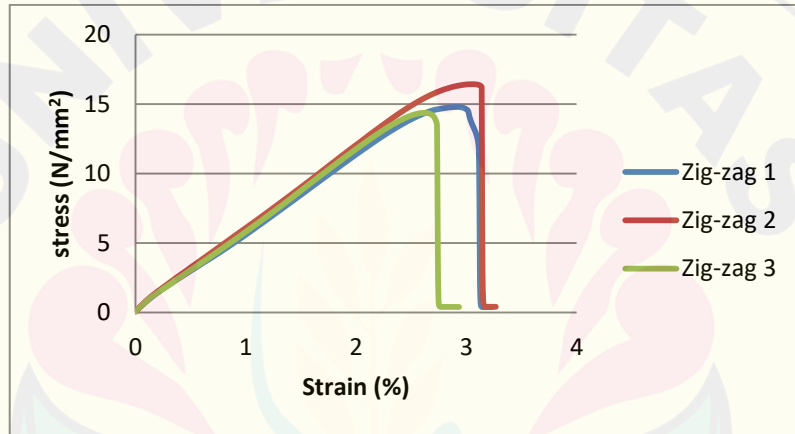
Gambar 8. Hasil Pengujian Tarik *Infill Pattern Cubic*



Gambar 9. Hasil Pengujian Tarik *Infill Pattern Grid*

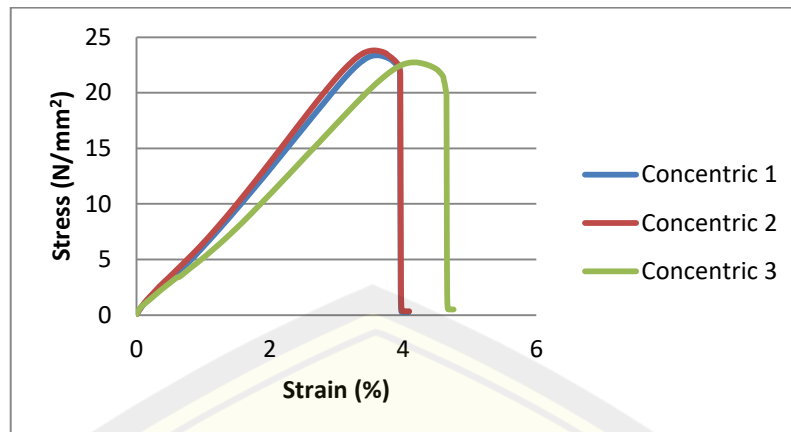


Gambar 10. Hasil Pengujian Tarik *Infill Pattern Triangle*

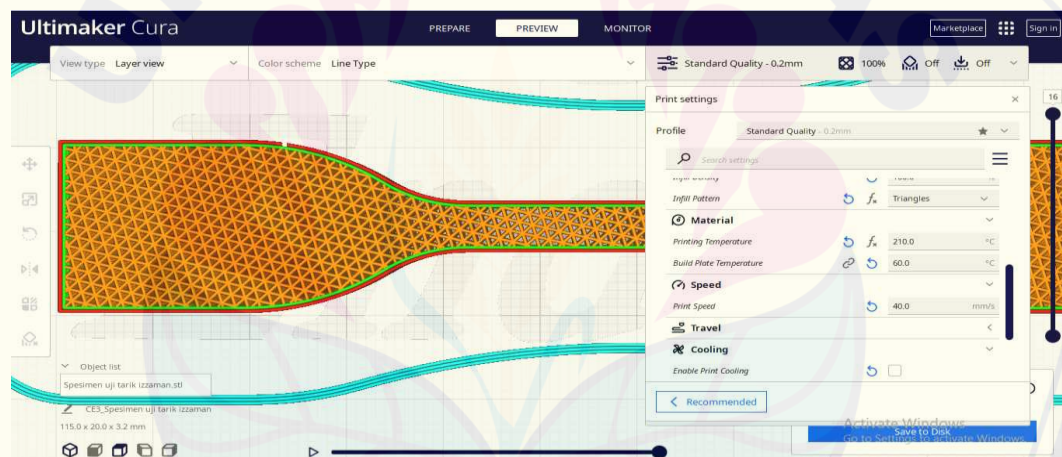


Gambar 11. Hasil Pengujian Tarik *Infill Pattern Zig-zag*

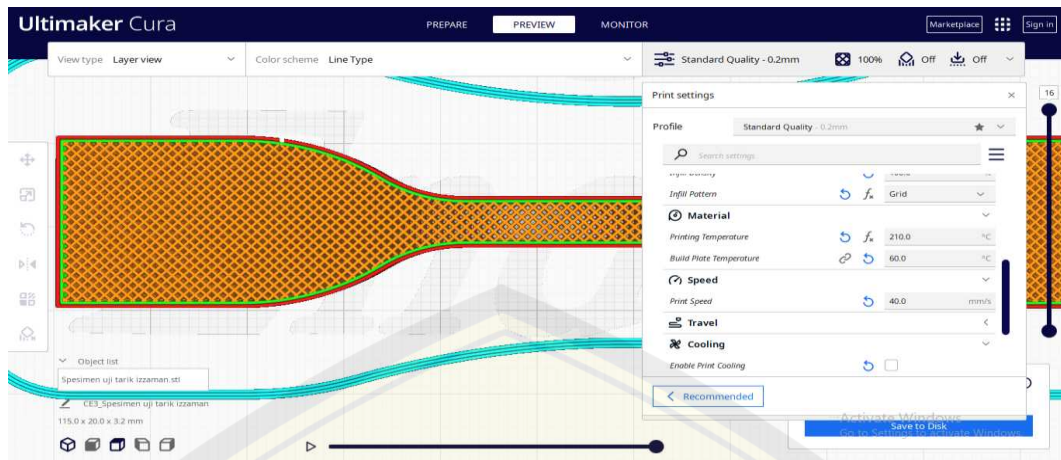


Gambar 12. Hasil Pengujian Tarik *Infill Pattern Concentric*

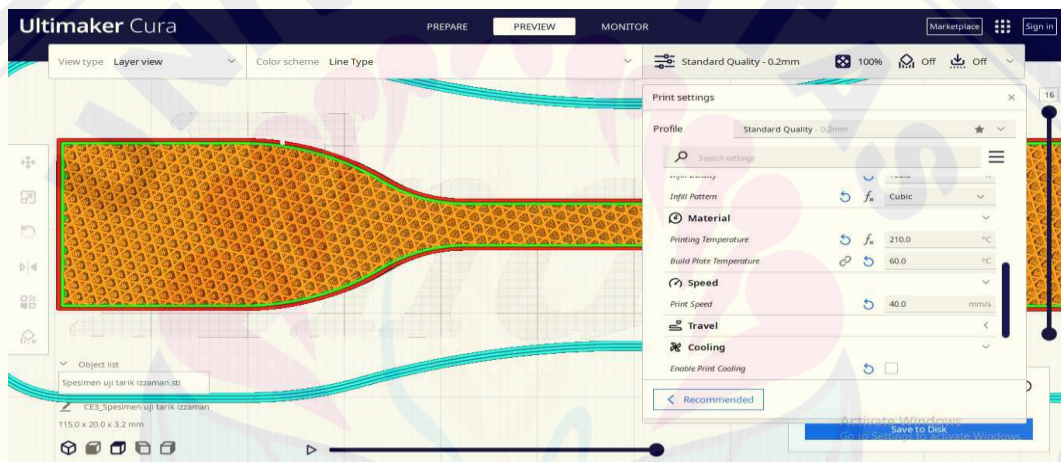
#### Lampiran 4. Hasil *slicing* Ultimaker Cura



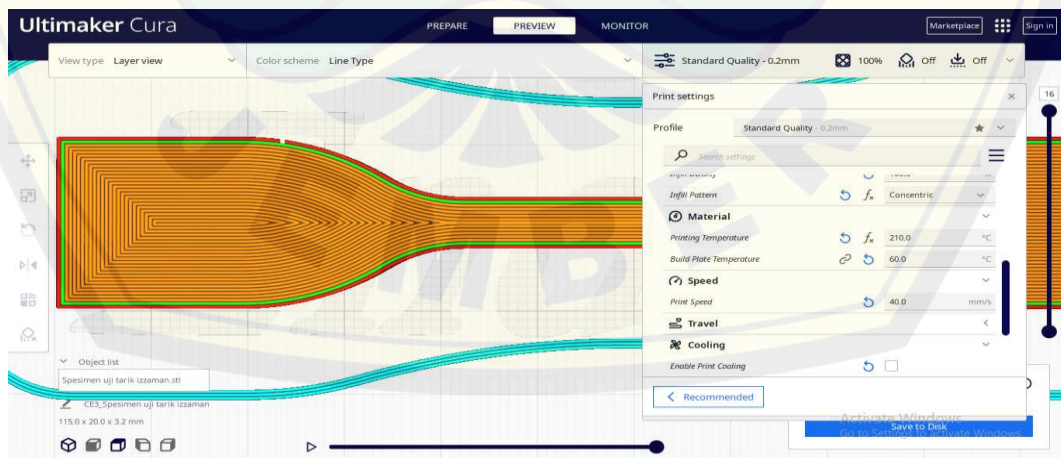
Gambar 13. Infill Pattern Triangle



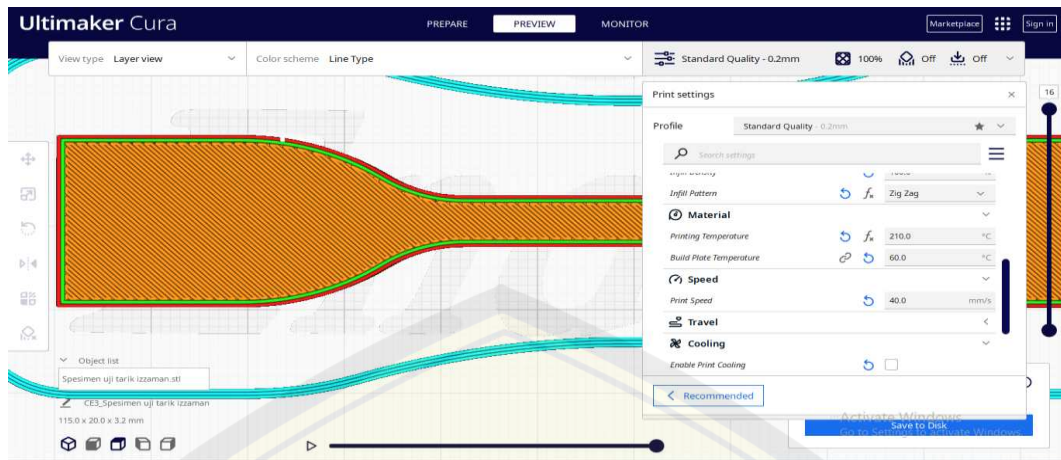
Gambar 14. Infill Pattern Grid



Gambar 15. Infill Pattern Cubic

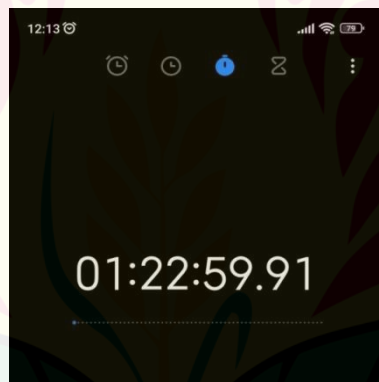


Gambar 16. Infill Pattern Concentric

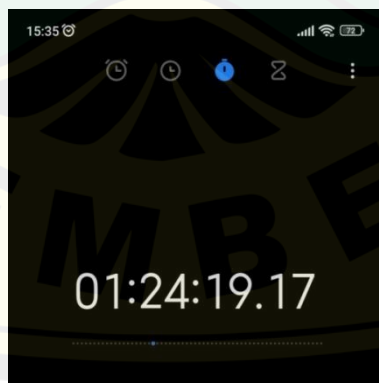


Gambar 17. Infill Pattern Zig-zag

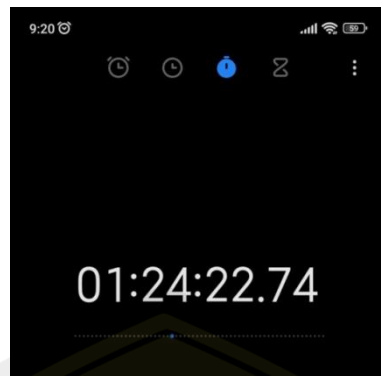
### Lampiran 5. Waktu Pencetakan



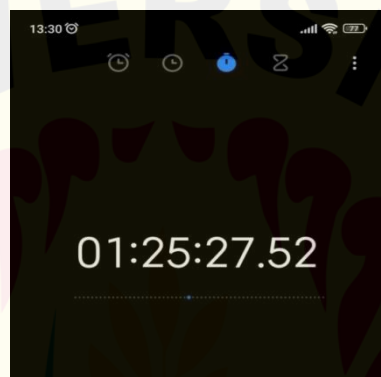
Gambar 18. Waktu Cetak Infill Pattern Concentric



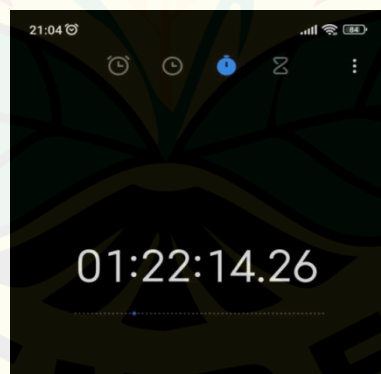
Gambar 19. Waktu Cetak Infill Pattern Cubic



Gambar 20. Waktu Cetak Infill Pattern Grid

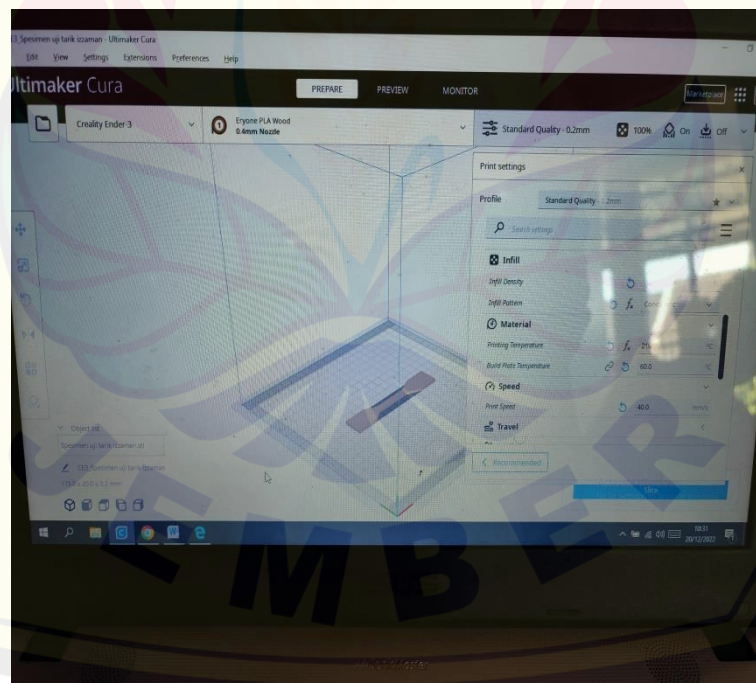


Gambar 21. Waktu Cetak Infill Pattern Triangle



Gambar 22. Waktu Cetak Infill Pattern Zig-zag

Lampiran 6. Dokumentasi



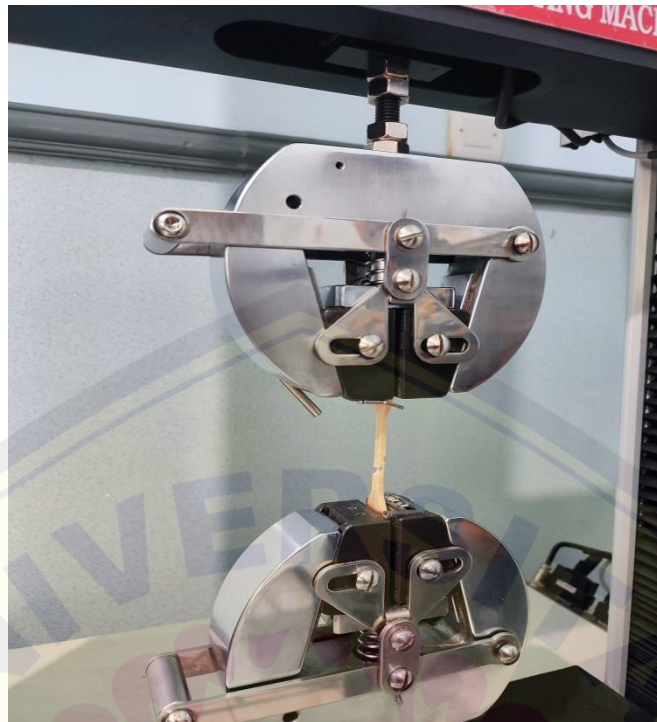
Gambar 23. Proses *Slicing*



Gambar 24. Proses Pencetakan Spesimen



Gambar 25. Hasil Produk Spesimen yang dicetak 3D Printing



Gambar 26. Proses Pengujian Tarik

Lampiran 7. Tabel Distribusi F ( $\alpha = 0,05$ )

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	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01