

# THE INFLUENCE OF DIFFERENT SLICER SOFTWARE ON 3D PRINTING PRODUCTS ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS

*by Sally Cahyati*

---

**Submission date:** 10-Apr-2023 11:21PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2060672301

**File name:** TWARE\_ON\_3D\_PRINTING\_PRODUCTS\_ACCURACY\_AND\_SURFACE\_ROUGHNESS.pdf (580.5K)

**Word count:** 3862

**Character count:** 22708

## THE INFLUENCE OF DIFFERENT SLICER SOFTWARE ON 3D PRINTING PRODUCTS ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS

**Sally Cahyati**

Dosen Jurusan Teknik Mesin,  
Fakultas Teknologi Industri,  
Universitas Trisakti, Indonesia  
sally@trisakti.ac.id

**Haris Risqi Aziz**

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin,  
Fakultas Teknologi Industri,  
Universitas Trisakti, Indonesia

**1**  
*Rapid Prototyping (RP) is a manufacturing process that produces a 3D model CAD to be a real product rapidly by using additive manufacturing technology. In this case, the product will print layer by layer uses a 3D printer machine. The 3D printer requires slicer software to convert CAD data into data that a 3D printer machine can read. Research is done to analyze the effect of three kinds of slicer software on 3D printing objects on the accuracy and surface roughness of the product. The 3D model CAD is sliced using three different slicer software, namely Ideamaker, Repetier Host, and Cura. The slice model result from each slicer will be printed on a 3D printer machine with the same process parameters to be compared. Then the product's dimensional and surface roughness will be measured to determine the effect of each slicer on product quality. The best quality of the product reflected the most suitable slicer software for the 3D printing machine that used. The best results achieved by Cura slicer because it has resulted in small dimensional deviations (max 0,0308±0,0079) and stable high surface roughness of the product (max 1,585+059).*

**Keywords:** Slicer Software, 3D Printing, Quality, Surface Roughness, Accuracy

### 1. PENDAHULUAN

*Rapid prototyping* merupakan sebuah teknik untuk mengubah model 3D CAD menjadi produk dalam waktu yang cepat dengan menggunakan metoda aditif manufaktur (*additive manufacturing*). Penamaan *rapid* mengacu kepada kecepatan prosesnya sedangkan nama aditif mengacu cara manufakturnya yang dilakukan dengan cara mencetak produk selapis demi selapis pada sumbu z atau dikenal juga dengan metode *layer by layer*. *Rapid prototyping* atau aditif manufaktur juga merupakan salah satu komponen pendukung dalam industri 4.0.[1],[2]. Hal ini karena kemampuannya membuat produk secara cepat, menggunakan berbagai variasi material, serta kecilnya kesulitan proses pencetakan yang diakibatkan oleh kerumitan geometri produk. Variasi material yang dapat digunakan pada teknologi *rapid prototyping* ini sangat beragam, mulai dari polimer, logam, karet, semen, adonan kue, coklat cair sampai ke sel manusia. Salah satu metoda dalam *rapid prototyping* adalah FDM (*Fused Deposition Modeling*) yang menjadi metoda dasar dari pembuatan mesin 3D printer yang saat ini sangat populer penggunaannya yaitu untuk membuat *prosthesis* sendi lutut buatan [3], tulang buatan [4], konstruksi bangunan [5], permen coklat [6], mainan [7], komponen manufaktur [8], dan lainnya. Berbagai penelitian dalam bidang teknologi *rapid prototyping* sudah dilakukan untuk pengembangan teknologi ini. Dalam penelitian, pemakaian material filamen ABS dan PLA terbukti memberikan sifat mekanis dan ketelitian dimensi yang berbeda pada hasil produk cetak [9]. Data masukan untuk pencetakan produk pada mesin 3D printer adalah data *stereolithography* (stl) dari 3D model hasil dari proses *forward engineering* maupun *reverse engineering* dengan menggunakan 3D *scanning*. Dalam bidang medis kedua teknologi ini digunakan untuk membuat cetakan untuk gigi, untuk memperbaiki gigi, membuat *prosthesis*/gigi palsu [10]. Pada perawatan mesin seringkali teknologi *reverse engineering* digunakan untuk membuat model 3D dari komponen yang akan dibuat suku cadangnya. Terutama sekali jika suku cadang komponen tersebut mempunyai geometrik yang cukup sulit, kurangnya informasi teknis dari mesin yang akan diperbaiki serta pengadaan suku cadang diperlukan segera. *Rapid prototyping* (aditif manufaktur) seringkali digunakan untuk mencetak suku cadang dari komponen tersebut secara cepat. Keunggulan dari kombinasi fleksibilitas dalam teknologi *reverse engineering* dan kecepatan dalam teknologi *rapid*

Corresponding Author: sally@trisakti.ac.id

Received on: November 2020

Accepted on: July 2021

DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.14>

*prototyping* inilah yang sangat diperlukan untuk menunjang keberhasilan program perawatan mesin di era industri 4.0, atau yang lebih dikenal dengan *maintenance 4.0* [11].

Rapid Prototyping merupakan salah satu komponen mesin yang termasuk dalam sistem CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Dalam sistem tersebut di atas peranan *hardware*, *software* dan *brainware* (operator) merupakan hal yang tidak bisa dipisahkan sebagai penentu keberhasilan dari suatu proses. *Hardware* yang dimaksud adalah komputer, mesin 3D Scanner dan mesin 3D printer. Pada mesin 3D printer sistem pemanas dan penggerak pada nozzle dan meja cetakan merupakan salah satu komponen yang memegang peranan penting dalam menentukan kualitas produk. Kerataan meja mesin merupakan hal yang perlu dipastikan sebelum proses pencetakan dilakukan. Meja pada mesin 3D printer yang digunakan agak sulit untuk mengatur kerataannya, sehingga waktu pengaturan lama. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dipasang suatu alat yang dapat membantu mengatur kerataan meja dengan cepat, tepat dan mudah [12].

Pada proses pencetakan, data 3D model akan dibaca dulu menggunakan sebuah *software* aplikasi antarmuka disebut *software slicer* (aplikasi pengiris) untuk mengubah data stl atau obj menjadi sebuah data yg dapat dibaca mesin 3D printer yaitu *G Code*. Terdapat beberapa aplikasi *slicer* yang biasa digunakan yaitu *TinkerCAD*, *Cura*, *Sculptris*, *Sketchup*, *Meshmixer*, *Ideamaker*, *3D slash*, *FreeCAD*, *RepetierHost*, dll. Semakin lengkap suatu pengaturan pada aplikasi *slicer* maka akan membuat ketelitian produk semakin tinggi, tetapi semakin singkatnya suatu pengaturan pada aplikasi *slicer* maka waktu pembuatan produk juga akan semakin singkat. Pada penelitian sebelumnya pemakaian *software slicer* yaitu, *Slic3r*, *Cura* dan *Simplify3D* memberikan perbedaan terhadap ketelitian dimensi produk hasil cetak dan konsumsi material filamen [13].

Penelitian ini akan menggunakan *software slicer Ideamaker*, *Repetier Host*, dan *Cura* dengan fokus pada produk hasil ketelitian dimensi dan kekasaran permukaannya hasil produk cetaknya. Pada proses ini pembentukan dilakukan dengan metode berlapis, dimulai dari pembentukan bagian bawah sehingga akhirnya terbentuk secara keseluruhan ke bagian atas. Pada produk yang ditemukan bagian produk yang melayang (dalam keadaan kemiringan tertentu), dibutuhkan bentuk pendukung (*support*) agar produk dapat terbentuk geometrinya dan tidak cacat. Penentuan orientasi pencetakan benda 3D memberi pengaruh yang berarti terhadap kekasaran dan dimensi produk yang dihasilkan [14]. Kedua parameter tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan kualitas dari sebuah produk, dan secara tidak langsung dapat juga digunakan untuk mengukur kinerja mesin yang digunakan untuk membuatnya [15]. Pada dasarnya penggunaan *software slicer* yang berbeda akan menyebabkan perbedaan cara mencetak, waktu mencetak, serta hasil produk cetak dari setiap *software slicer*. Kualitas produk hasil cetakan akan diperoleh dengan cara mengukur ketelitian dimensi serta kekasaran permukaan produk hasil cetakan. Ketelitian dimensi dan kekasaran permukaan ini nanti akan menjadi salah satu acuan pemilihan pemakaian aplikasi *slicer* yang tepat digunakan untuk membuat produk 3D printer *makegear* yang diuji.

## 2. METODE DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa mesin 3D Print *Maker Gear*, laptop, material PLA, 3 (tiga) *software Slicer* (*Cura v 4.5.0*, *Ideamaker v 3.1.0*, *Repetier Host v 2.1.6*), jangka sorong, *surface roughness tester*.

Mesin yang digunakan pada spesimen pengujian adalah 3D Print *Maker Gear* dengan spesifikasi mesin sebagai berikut :

**Tabel 1 :** Spesifikasi Mesin 3D Print *Maker Gear*

| NAMA                    | DIMENSI         | SATUAN |
|-------------------------|-----------------|--------|
| Ukuran mesin            | 220 x 220 x 250 | mm     |
| Diameter Nozel          | 0.25 – 0.75     | mm     |
| Suhu Maksimal Ekstruder | 300             | °C     |
| Berat mesin             | 12              | kg     |
| Daya                    | 12              | V      |
| Dimensi kerangka        | 60 x 62 x 30    | mm     |
| Dimensi Rumah Nozel     | 62 x 52 x 52    | mm     |
| Material Printing       | Filamen PLA     |        |

Alat uji kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang digunakan adalah tipe surfest SJ-310



**Tabel 2:** Parameter antarmuka  *slicer* 3D printer

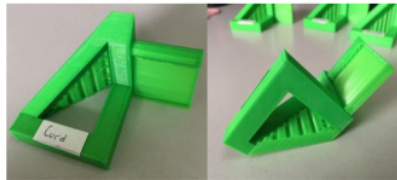
| PARAMETER                                | DIMENSION          | UNIT           |
|--|--------------------|----------------|
| Tinggi Lapisan ( <i>Layer height</i> )   | 0.2                | mm             |
| Tebal Kulit ( <i>Shell Thickness</i> )   | 0.8                | mm             |
| Ukuran nozel ( <i>Nozzle Dimension</i> ) | 0.4                | mm             |
| <i>Fill Bottom</i>                       | 0.8                | mm             |
| <i>Infill Density</i>                    | 20                 | %              |
| <i>Infill Pattern (Support Pattern)</i>  | <i>Grid (Line)</i> |                |
| Kecepatan Cetak ( <i>Print Speed</i> )   | 55                 | mm/detik       |
| Temperatur <i>Extruder Head</i>          | 220                | <sup>0</sup> C |
| Temperatur <i>Bed</i>                    | 60                 | <sup>0</sup> C |
| Diameter Filamen <i>PLA</i>              | 1.75               | mm             |
| <i>Support Structure Build</i>           | ya                 |                |
| Kompensasi Aliran                        | 100                | %              |

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Setelah selesai melakukan pencetakan dengan menggunakan beberapa software  *slicer*, hasil pencetakan dan analisisnya dapat dilihat sebagai berikut:

#### 3.1 Produk menggunakan *slicer* Cura (dengan pendukung)

Hasil produk menggunakan aplikasi Cura, dicetak menggunakan 3D printer sebanyak 3 kali. Produk mempunyai hasil dengan kualitas terbaik dan kekasaran yang baik secara kasat mata pada hasil pencetakan produk, akan tetapi, terdapat filamen yang sedikit meleleh dibagian pendukung sehingga sisi yang membutuhkan pendukung mempunyai hasil yang kurang baik. Pendukung mempunyai hasil yang lentur, kuat akan tetapi mudah dipisahkan. Hasil produk dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4:** Hasil cetak produk menggunakan  *slicer* Cura

#### 3.2 Produk menggunakan *slicer* Ideamaker (dengan pendukung)

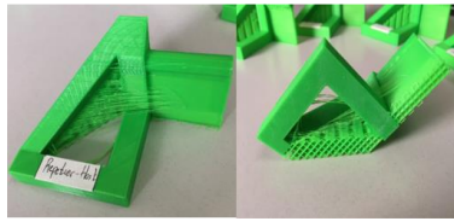
Produk mempunyai hasil yang cukup baik dan kekasaran cukup baik secara kasat mata walaupun terdapat benang filamen pada produk hasil pencetakan. Pada sisi bagian pendukung produk pada produk terlihat lebih rapih dengan sedikit bahan yg meleleh. Produk mempunyai kualitas yang kuat sehingga membuat pendukung sangat sulit untuk dipisahkan, akibatnya terdapat sisa pendukung yang terlihat secara kasat mata. Produk mempunyai pendukung yang berbentuk berbeda dari yang lainnya, produk dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5:** Hasil cetak produk menggunakan  *slicer* Ideamaker

### 3.3 Produk menggunakan *slicer Repetier Host (dengan pendukung )*

Produk yang dicetak menggunakan perintah dari  *slicer Repetier Host* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Hasil cetak produk menggunakan  *slicer Repetier Host*

Walaupun dengan pengaturan temperatur, *bed*, dan kecepatan gerak nozzle yang sama pada ketiga  *slicer*, ternyata pada proses pencetakan dengan  *slicer Repetier Host*, diawal, dibelokan dan diakhir lintasan filamen yang keluar dari nozzle belum meleleh dan menempel sempurna pada *bed* atau lapisan sebelumnya. Hal ini diperkirakan karena kurang akuratnya perintah *software* diterima antarmuka hardware pada percepatan dan perlambatan gerakan nyata nozzle. Kemungkinan lain adalah kurang akuratnya perintah pemanasan *bed* dari  *slicer* diterima oleh sensor pemanasnya. Alhasil, produk yang terbentuk secara kasat mata mempunyai kualitas yang kurang baik dan kekasaran permukaan yang kurang baik. Banyak tersisa benang filamen, *infill* kurang merata dan filamen yang meleleh pada hasil produk yang dihasilkan.

### 3.4 Produk menggunakan *slicer Cura (tanpa pendukung )*

Produk mempunyai hasil pencetakan yang relatif rapih karena tidak adanya garis-garis produk yang timbul, walaupun dibagian sisi pendukung terdapat material yang meleleh pada sisi miring (sisi 1) dan terdapat celah yang terbentuk pada sisi radius (sisi 2). Produk mempunyai permukaan yang relatif rata pada setiap sisi, hasil produk dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7: Hasil cetak produk menggunakan  *slicer Cura* (tanpa pendukung )

### 3.5 Produk menggunakan *slicer Ideamaker (tanpa pendukung )*

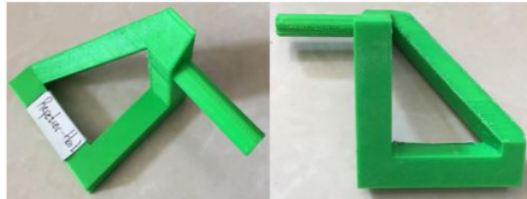
Produk mempunyai hasil pencetakan sisi yang tidak bergaris, sehingga produk dikatakan mempunyai hasil yang baik, akan tetapi pada bagian yang memerlukan pendukung yaitu sisi miring (sisi 1) mempunyai hasil sisi yang bergaris dan pada sisi radius (sisi 2) mempunyai hasil yang tidak rata dikarenakan terdapat sisi beralur karena naik-turun pada sisi yang memerlukan pendukung. Produk mempunyai sisi yg relatif rata, tetapi beralur dan bergaris pada sisi yang diperlukan pendukung. Hasil produk dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Hasil cetak produk menggunakan  *slicer Ideamaker* (tanpa pendukung )

### 3.6 Produk menggunakan slicer Repetier Host (Tanpa Pendukung)

Produk mempunyai hasil sisi yang bergaris dan permukaan yang beralur. Pada setiap sisinya hampir ditemukan sisi yang bergaris. Permukaan sisi pada sisi miring (sisi 1) dan sisi radius (sisi 2) terdapat naik turun sisi sehingga produk mempunyai hasil yang kurang baik. Produk mempunyai sisi yang relatif beralur dan kurang rata dari sisi yang membutuhkan pendukung maupun sisi yang langsung dicetak. Hasil produk dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9: Hasil cetak produk menggunakan slicer Repetier Host (tanpa pendukung)

### Pengukuran ketelitian dimensi

Model yang sudah selesai dicetak kemudian diukur ketelitian dimensi dengan menggunakan jangka sorong. Mempunyai hasil uji sisi 1 & sisi 2. Hasil produk yg diukur mempunyai bentuk yang dilampirkan pada hasil produk (tanpa pendukung). Dilakukan pengukuran dimensi terhadap produk hasil slicer Cura, Ideamaker & Repetier-Host. Produk sisi 1 dalam desain CAD mempunyai ukuran tinggi sisi 1 (S1) = 10 mm. Sedangkan sisi 2 dalam desain CAD mempunyai diameter sisi 2 (S2) = 8 mm. Nilai dimensi diambil menggunakan dimensi penyimpangan dari nilai nominal. Nilai nominal merupakan perbedaan nilai dimensi dengan sisi model, yaitu nilai sisi 1 & sisi 2. Dari hasil produk (tanpa pendukung) dilakukan pengukuran dengan jangka sorong terhadap produk 1, 2 dan 3. Hasil ketelitian dimensi diambil sisi 1 dan 2 dan dilakukan pengukuran (I, II, III, IV & V), berikut ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Tabel Ketelitian Dimensi

| Pengukuran    | Dimensi Penyimpangan dari Nilai Nominal (mm) |      |       |       |       |          |      |      |       |       |          |      |       |       |       | Rata-rata | Varian | Standar Deviasi | Ketidakpastian |        |
|---------------|--|------|-------|-------|-------|----------|------|------|-------|-------|----------|------|-------|-------|-------|-----------|--------|-----------------|----------------|--------|
|               | Produk 1                                     |      |       |       |       | Produk 2 |      |      |       |       | Produk 3 |      |       |       |       |           |        |                 |                |        |
|               | I  | II   | III   | IV    | V     | I        | II   | III  | IV    | V     | I        | II   | III   | IV    | V     |           |        |                 |                |        |
| Cura          | Sisi 1                                       | 0.1  | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.15     | 0.1  | 0.05 | 0.05  | 0.05  | 0.05     | 0.1  | 0.1   | -0.05 | -0.1  | 0.05      | 0.083  | 0.0009          | 0.0308         | 0.0079 |
|               | Sisi 2                                       | -0.1 | -0.05 | 0     | 0     | 0.15     | 0    | 0    | -0.15 | -0.05 | 0.1      | 0    | 0     | 0.05  | -0.05 | 0.15      | 0.056  | 0.0035          | 0.059          | 0.015  |
| Ideamaker     | Sisi 1                                       | 0.15 | 0.1   | 0.1   | 0.05  | 0.1      | 0.05 | 0.1  | 0.1   | 0.1   | 0.1      | 0.15 | 0.1   | 0.1   | 0.05  | 0.05      | 0.093  | 0.001           | 0.0319         | 0.0082 |
|               | Sisi 2                                       | 0    | 0     | -0.05 | -0.05 | 0        | 0    | -0.1 | -0.1  | -0.05 | 0.15     | 0    | -0.05 | -0.15 | -0.2  | -0.05     | 0.063  | 0.004           | 0.063          | 0.0165 |
| Repetier Host | Sisi 1                                       | 0.2  | 0.15  | 0.2   | 0.15  | 0.2      | 0.2  | 0.2  | 0.15  | 0.25  | 0.2      | 0.1  | 0.15  | -0.15 | 0.15  | 0.15      | 0.173  | 0.0013          | 0.0371         | 0.0095 |
|               | Sisi 2                                       | 0.3  | 0.15  | 0.05  | 0.1   | 0.1      | 0.25 | 0.1  | 0.15  | 0.15  | 0.05     | 0.1  | 0.05  | 0     | 0.05  | 0.1       | 0.113  | 0.0062          | 0.078          | 0.02   |

Berdasarkan hasil dari perhitungan Tabel 3 ketelitian dimensi yang diperoleh produk yang mempunyai dimensi paling akurat adalah produk slicer Cura dengan nilai ketidakpastian pada sisi 1 =  $0,083 \pm 0,0079$  & sisi 2 =  $0,056 \pm 0,015$ .

### 3.7 Pengukuran kekasaran permukaan

Setelah dilakukan pengukuran ketelitian dimensi, produk kemudian diukur dengan alat uji kekasaran permukaan (surface roughness tester). Sebelum melakukan pengujian dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dan didapatkan nilai Ra= 2,97. Selain itu dilakukan pengukuran kekasaran permukaan terhadap produk Cura, Ideamaker & Repetier-Host. Produk dilakukan pengujian kekasaran permukaan pada sisi 1 (lebar =10 m) & sisi 2 (ukuran diameter = 8 mm). Nilai kekasaran diambil menggunakan dimensi penyimpangan dari nilai rata-rata. Nilai rata-rata didapatkan dari setiap slicer pada setiap sisinya yang mana merupakan perbedaan nilai kekasaran dengan perbandingan dari rata-rata perhitungan slicer Cura, Ideamaker & Repetier-Host pada sisi 1 & sisi 2. Produk tidak bisa diambil dengan nilai nominal karena nilai parameter yang dituliskan pada tabel kelas kekasaran (Tabel 4) tidak mencapai dengan toleransi kelas kekasaran yang tersedia. Dari hasil produk (tanpa pendukung) dilakukan pengukuran dengan alat uji kekasaran terhadap produk 1, 2 dan 3. Hasil

ketelitian dimensi diambil dari sisi 1 dan 2 dan dilakukan pengukuran (I, II & III), Berikut hasil ditampilkan pada Tabel 4.

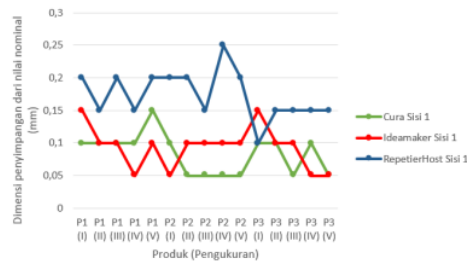
**Tabel 4:** Tabel Kekasaran Permukaan

| Pengukuran    |        | Kekasaran Permukaan Dari Nilai Rata-Rata (Mm) |        |        |          |         |        |          |        |        | Rata-Rata | Varians | Standar Deviasi | Ketidak-Pastian |
|---------------|--------|---|--------|--------|----------|---------|--------|----------|--------|--------|-----------|---------|-----------------|-----------------|
|               |        | Produk 1                                      |        |        | Produk 2 |         |        | Produk 3 |        |        |           |         |                 |                 |
|               |        | I   | II     | III    | I        | II      | III    | I        | II     | III    |           |         |                 |                 |
| Cura          | Sisi 1 | -3,56   | 0,624  | 1,33   | 1,751    | -5,864  | 0,903  | 0,688    | 2,418  | 1,147  | 2,031     | 2,94    | 1,717           | 0,57            |
|               | Sisi 2 | -1,982  | 1,055  | -4,886 | 3,964    | -2,101  | -3,533 | 2,23     | 6,257  | -1,022 | 3,003     | 3,188   | 1,785           | 0,595           |
| Ideamaker     | Sisi 1 | 0,149   | 0,249  | -1,138 | 0,609    | -0,265  | 0,692  | -1,185   | 0,678  | 0,219  | 0,576     | 0,513   | 0,391           | 0,13            |
|               | Sisi 2 | 2,987   | 1,936  | -7,548 | 9,311    | 3,401   | -9,205 | 5        | 2,131  | -8,005 | 5,502     | 9,217   | 3,036           | 1,012           |
| Repetier-Host | Sisi 1 | 4,152   | -2,842 | -5,451 | -5,117   | 0,622   | -2,417 | -2,935   | -5,111 | 3,196  | 3,538     | 2,466   | 1,57            | 0,523           |
|               | Sisi 2 | 9,988   | -8,352 | -1,288 | -1,654   | -11,921 | 12,566 | -0,004   | 8,996  | -8,328 | 7,01      | 22,731  | 4,76            | 1,58            |

Berdasarkan hasil dari perhitungan Tabel 4 kekasaran permukaan yang diperoleh produk yang mempunyai kekasaran permukaan paling akurat adalah produk  *slicer*  Ideamaker pada sisi 1 & produk  *slicer*  Ideamaker pada sisi 2 dengan nilai ketidakpastian pada sisi 1 =  $0,576 \pm 0,1$  & sisi 2 =  $3,003 \pm 0,5$ .

**3.8 Analisis perbandingan dimensi sisi 1 dan 2 antar slicer**

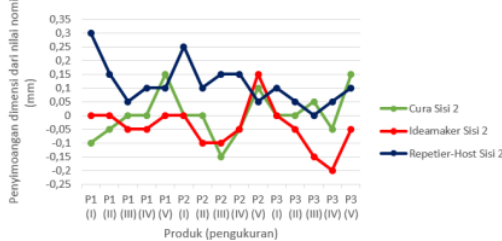
Pembandingan Penyimpangan Dimensi Benda Uji  *Slicer*  pada Sisi 1



**Gambar 10:** Pembandingan Dimensi sisi 1 antar  *slicer*

Berdasarkan Gambar 10 pada pengujian Cura sisi 1 yang paling mendekati model adalah produk 2 pengukuran (II, III, IV, V) dan juga produk 3 pengukuran (III & V) karena penyimpangannya paling mendekati dimensi model CAD yang telah dibuat, Sedangkan untuk penyimpangan terjauh terjadi pada produk 1 pengukuran (V). Pada pengujian Ideamaker sisi 1 yang paling mendekati model adalah produk 1 pengukuran (IV), produk 2 pengukuran (I) dan produk 3 pengukuran (IV & V). Sedangkan untuk penyimpangan terjauh ideamaker sisi 1 terjadi pada produk 1 pengukuran (I) dan produk 3 pengukuran (I). Pada pengujian Repetier-Host sisi 1 yang paling mendekati dengan dimensi model CAD adalah produk 3 pengukuran (I), sedangkan yang paling menyimpang adalah produk 2 pengukuran (IV). Dari hasil produk sisi 1 perbedaan  *slicer*  yang mempunyai ketelitian dimensi yang paling mendekati model CAD adalah  *slicer*  Cura, karena penyimpangan yang mendekati dimensi model CAD paling banyak yaitu menggunakan  *slicer*  Cura dan juga mempunyai jangkauan penyimpangan dimensi yang paling kecil.

Pembandingan Penyimpangan Dimensi Benda Uji  *Slicer*  pada Sisi 2

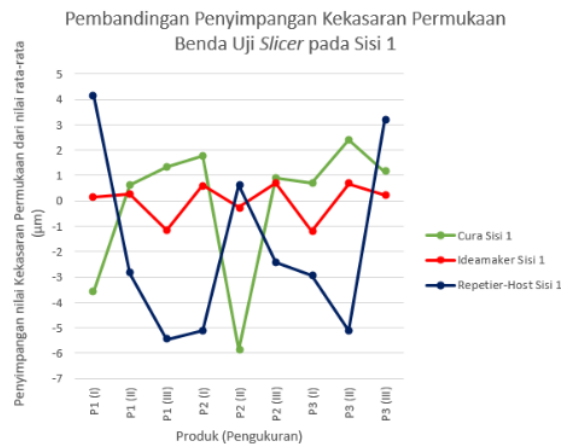


**Gambar 11:** Pembandingan Dimensi sisi 2 antar  *slicer*



Berdasarkan Gambar 11 pada pengujian Cura sisi 2 yang paling mendekati model adalah produk 1 pengukuran (III & IV) serta produk 2 pengukuran (I & II) dan juga produk 3 pengukuran (I & II) karena penyimpangannya paling mendekati dimensi model CAD yang telah dibuat, Sedangkan untuk penyimpangan terjauh Cura sisi 2 terjadi pada produk 1 pengukuran (V), produk 2 pengukuran (III) dan produk 3 pengukuran (V). Pada pengujian Ideamaker sisi 2 yang paling mendekati model adalah produk 1 pengukuran (I, II & V) dan produk 2 pengukuran (I). Sedangkan untuk penyimpangan terjauh ideamaker sisi 2 terjadi pada produk 3 pengukuran (IV). Pada pengujian Repetier-Host sisi 2 yang paling mendekati dengan dimensi model CAD adalah produk 3 pengukuran (III), sedangkan yang paling menyimpang adalah produk 1 pengukuran (I). Dari hasil produk sisi 2 perbedaan *slicer* yang mempunyai ketelitian dimensi yang paling mendekati model CAD adalah slicer Cura, karena penyimpangan yang mendekati dimensi model CAD paling banyak yaitu menggunakan slicer Cura dan juga mempunyai penyimpangan dimensi yang paling kecil.

### 3.9 Analisis perbandingan kekasaran permukaan sisi 1 dan 2 antar *slicer*



Gambar 12: Pembandingan Kekasaran Permukaan sisi 1 antar *slicer*

Berdasarkan Gambar 12 pada pengujian Cura sisi 1 yang mendapatkan hasil kekasaran permukaan terkecil adalah produk 2 pengukuran (II) karena memiliki kekasaran permukaan paling rendah dibanding *slicer* lainnya. Sedangkan untuk nilai kekasaran permukaan tertinggi Cura sisi 1 terjadi pada produk 2 pengukuran (II). Pada pengujian Ideamaker sisi 1 yang memiliki kekasaran permukaan paling terkecil adalah produk 3 pengukuran (I) karena nilai kekasaran yang paling rendah. Sedangkan untuk nilai kekasaran permukaan tertinggi ideamaker sisi 1 terjadi pada produk 2 pengukuran (III). Pada pengujian Repetier-Host sisi 1 yang mendapatkan hasil kekasaran permukaan terkecil adalah produk 1 pengukuran (III), sedangkan yang untuk nilai kekasaran tertinggi adalah produk 3 pengukuran (III) memiliki nilai kekasaran permukaan tertinggi dibanding *slicer* lain. Pada pengukuran kekasaran *slicer* Cura memungkinkan untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang paling rendah. Terdapat bagian meleleh pada sisi 1 membuat alat uji kekasaran permukaan mengukur sisi yang meleleh mempunyai nilai kekasaran yang berbeda, karena permukaan meleleh lebih kasar dibanding bagian lain pada sisi 1 atau bisa dikatakan terdapat kesalahan umum pada pengukuran kekasaran permukaan sisi 1. Dari hasil produk sisi 1 perbedaan *slicer* yang mempunyai nilai kekasaran permukaan yang terbaik dari grafik adalah *slicer* Ideamaker, yaitu memiliki nilai kekasaran permukaan yang penyimpangannya memiliki jangkauan yang rendah dalam pengukurannya.



**Gambar 13:** Pembandingan Kekasaran Permukaan sisi 2 antar *slicer*

Berdasarkan Gambar 13 pada pengujian Cura sisi 2 yang mendapatkan hasil kekasaran permukaan terkecil adalah produk 1 pengukuran (III) merupakan nilai kekasaran permukaan yang paling rendah dibanding slicer lainnya, sedangkan untuk nilai kekasaran permukaan tertinggi Cura sisi 2 terjadi pada produk 3 pengukuran (I). Pada pengujian Ideamaker sisi 2 yang memiliki kekasaran permukaan paling terkecil adalah produk 2 pengukuran (III) merupakan nilai kekasaran yang paling rendah. Sedangkan untuk nilai kekasaran permukaan tertinggi Ideamaker sisi 2 terjadi pada produk 2 pengukuran (I). Pada pengujian Repetier-Host sisi 2 yang mendapatkan hasil kekasaran permukaan terkecil adalah produk 2 pengukuran (II), karena memiliki kekasaran permukaan terkecil sedangkan yang untuk nilai kekasaran tertinggi adalah produk 2 pengukuran (III) merupakan nilai kekasaran permukaan terbesar dibanding slicer lainnya. Dari hasil produk sisi 1 perbedaan *slicer* yang mempunyai nilai kekasaran permukaan yang terbaik dari grafik adalah *slicer* ideamaker, yaitu memiliki nilai kekasaran permukaan yang penyimpangannya memiliki jangkauan yang rendah dalam pengukurannya dan mempunyai nilai kekasaran permukaan yang paling rendah dibanding *slicer* lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, analisis dan pengolahan data dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

- Penggunaan *slicer* yang berbeda akan mempengaruhi ketelitian dimensi dan kekasaran permukaan produk hasil cetak, diduga karena algoritmanya berbeda sehingga terjadi perbedaan eksekusi perintah pencetakan pada mesin 3D *Printing*, walaupun data masukan 3D model CAD nya sama dan pengaturan parameternya serupa.
- Pada proses pencetakan produk yang membutuhkan pendukung menunjukkan *slicer* Cura adalah *slicer* yang paling sesuai digunakan di mesin *Maker Gear* karena menghasilkan kualitas produk yang paling baik.
- Produk yang tidak membutuhkan pendukung mempunyai keakuratan dimensi dan kekasaran permukaan produk hasil cetak yang lebih baik dibandingkan dengan produk yang membutuhkan pendukung, walaupun menggunakan *software slicer* yang sama.

#### 5 DAFTAR PUSTAKA

- ACHDIANTO, S. CAHYATI, TRIYONO, AND SAIFUDIN, "Integrated CAD customization system for fused deposition models in additive manufacture with 3D printing machine," 2019.
- S. CAHYATI AND A. RAHMAT, "Kualifikasi Alat 3D Laser Scanner Terintegrasi Menggunakan Tiga Tipe Smartphone Sebagai Alat Input," in *Prosiding Seminar Nasional Pakar*, Apr. 2019, vol. 1, no. 1, pp. 1-29.1-1.29.7.
- C. SONG, Y. YANG, Y. WANG, D. WANG, AND J. K. YU, "Personalized femoral component design and its direct manufacturing by selective laser melting," *Rapid Prototyp. J.*, 2016.
- M. HORÁČEK, O. CHARVÁT, T. PAVELKA, J. SEDLÁK, AND M. MADAJ, "Medical implants by using RP and Investment Casting Technologies," 2010.
- A. PAOLINI, S. KOLLMANNBERGER, AND E. RANK, "Additive manufacturing in construction:

- A review on processes, applications, and digital planning methods,” *Additive Manufacturing*. 2019.
- [6] L. HAO, S. MELLOR, O. SEAMAN, J. HENDERSON, N. SEWELL, AND M. SLOAN, “Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing,” *Virtual Phys. Prototyp.*, 2010.
  - [7] L. PEREIRA *ET AL.*, “Design for innovation: Toys for sustainable play,” 2017.
  - [8] R. LEAL *ET AL.*, “Additive manufacturing tooling for the automotive industry,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2017.
  - [9] Y. Y. TANOTO, J. ANGGONO, W. BUDIMAN, AND K. V. PHILBERT, “Strength and Dimension Accuracy in Fused Deposition Modeling : A Comparative Study on Parts Making Using ABS and PLA Polymers,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 69–76, 2020.
  - [10] R. ZARINA, J. JAINI, AND R. S. RAJ, “Evolution of the Software and Hardware in CAD/CAM Systems used in Dentistry,” *Int. J. Prev. Clin. Dent. Res.*, 2017.
  - [11] S. CAHYATI, SYAIFUDIN, AND ACHDIANTO, “A prototyping of additive manufacturing cell in cyber physical system for maintenance 4.0 preparation,” *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 05, pp. 575–584, 2019.
  - [12] S. CAHYATI AND D. P. MULIANTO, “Redesain Meja Cetak Mesin 3D Printer Berbasis Fused Deposition Modelling,” *J. Energi Dan Manufaktur*, 2019.
  - [13] M. ŠLJIVIC, A. PAVLOVIC, M. KRAIŠNIK, AND J. ILIĆ, “Comparing the accuracy of 3D slicer software in printed enduse parts,” 2019.
  - [14] S. LUBIS, S. DJAMIL, AND Y. YOLANDA, “Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk,” *Sinergi*, 2016.
  - [15] S. CAHYATI, TRIYONO, M. S. ANNAS, AND A. SUMPENA, “The Influence of Eco Maintenance on Power Consumption of the Lathe Machines,” *Appl. Mech. Mater.*, 2016.

# THE INFLUENCE OF DIFFERENT SLICER SOFTWARE ON 3D PRINTING PRODUCTS ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS

## ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | <a href="http://www.sciencegate.app">www.sciencegate.app</a><br>Internet Source  | 4%  |
| 2 | <a href="http://doaj.org">doaj.org</a><br>Internet Source  | 3%  |
| 3 | <a href="http://eprints.ums.ac.id">eprints.ums.ac.id</a><br>Internet Source  | 1%  |
| 4 | Eko Budiyanto, Eko Nugroho, YGK Putra.<br>"Electrical Discharge Machine (EDM): evaluasi nilai kekasaran permukaan benda kerja pengaruh variasi kuat arus listrik dan kekerasan material", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2020<br>Publication | 1%  |
| 5 | Submitted to Institut Teknologi Kalimantan<br>Student Paper  | 1%  |
| 6 | <a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a><br>Internet Source  | 1%  |
| 7 | <a href="http://menulisilmiah123.blogspot.com">menulisilmiah123.blogspot.com</a><br>Internet Source  | <1% |

8

M Šljivic, A Pavlovic, M Kraišnik, J Ilić.

"Comparing the accuracy of 3D slicer software in printed enduse parts", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019

Publication

<1 %

---

Exclude quotes On

Exclude matches < 15 words

Exclude bibliography On

### About the Journal

**Rekayasa Mesin** is published by Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya, Malang-East Java-Indonesia. **Rekayasa Mesin** is an open-access peer reviewed journal that mediates the dissemination of academicians, researchers, and practitioners in mechanical engineering. **Rekayasa Mesin** accepts submission from all over the world, especially from Indonesia.

**Rekayasa Mesin** aims to provide a forum for national and international academicians, researchers and practitioners on mechanical engineering to publish the original articles. All accepted articles will be published and will be freely available to all readers with worldwide visibility and coverage.

The scope of **Rekayasa Mesin** is **specific topics issues** in mechanical engineering such as design, energy conversion, manufacture, and metallurgy.

In terms of plagiarism and self-plagiarism, the similarity index from multiple sources **should not exceed 20 %** and from a single source **should not exceed 5%**. **Rekayasa Mesin** uses a plagiarism detector to screen articles for detecting plagiarism. Detection of overlapping and similar text is used there and so quotations and appropriate citations have to be used whenever required.

All articles submitted to this journal can be written in **Bahasa and English Language**.

**Rekayasa Mesin** has been indexed in [Directory of Open Access Journals \(DOAJ\)](#), [SINTA](#), [Google Scholar](#), and [Garba Rujukan Digital \(GARUDA\)](#).

**Rekayasa Mesin** has been nationally **reaccredited** by the Ministry of Research and Technology/National Research and Innovation Agency of the Republic of Indonesia (Volume 11 No 2 2020 - Volume 16 No 1 2025) and indexed in **SINTA 2**.

Decree No. **200/M/KPT/2020 on December 23rd, 2020**

P-ISSN [2338-1663](#) | E-ISSN [2477-6041](#) | DOI prefix [10.21776/ub.jrm](#)

#### Email Address of Author

2022-02-17

Dear Author, please use your usual email address so that we can communicate

#### Reaccredited of Rekayasa Mesin

2021-02-21

[Journal Subscription](#)

### About Rekayasa Mesin

- [Focus and Scope](#)
- [Editorial Team](#)
- [Reviewer Acknowledgement](#)
- [Publication Ethics](#)
- [Visitor Statistics](#)
- [Author Fees](#)

### Information for Author

- [Author Guidelines](#)
- [Template](#)
- [Online Submissions \(pdf\)](#)
- [Video Guidelines:](#)
  - \* Register
  - \* Forgot Password
  - \* Template
  - \* Submission
  - \* Revision
  - \* Decision

### Tools



[Mendeley User Guide](#)

Home / Editorial Team

## Editorial Team

### Editor in Chief

Prof. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., PhD., (SCOPUS ID: 52263615400; h index: 6), Universitas Brawijaya, Indonesia

### Editors

Mr. Victor Yuardi Risonarta, (SCOPUS ID: 20434533200; h index: 3), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mr. Teguh Dwi Widodo, (SCOPUS ID: 56258446700; h index: 3), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mr. Bayu Satriya Wardhana, (SCOPUS ID: 57208468620; h index: 1), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mr. Fikrul Akbar Alamsyah, (SCOPUS ID: 57208500778; h index: 1), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mrs. Haslinda Kusumaningsih, (SCOPUS ID: 56596829100; h index: 1) Universitas Brawijaya, Indonesia

Mrs. Avita Ayu Permasari, (SCOPUS ID: 57193696674; h index: 4) Universitas Negeri Malang, Indonesia

### About Rekayasa Mesin

- [Focus and Scope](#)
- [Editorial Team](#)
- [Reviewer Acknowledgement](#)
- [Publication Ethics](#)
- [Visitor Statistics](#)
- [Author Fees](#)

### Information for Author

- [Author Guidelines](#)
- [Template](#)
- [Online Submissions \(pdf\)](#)
- [Video Guidelines:](#)
  - \* Register
  - \* Forgot Password
  - \* Template
  - \* Submission
  - \* Revision
  - \* Decision

### Tools



|  |             |
|--|-------------|
| <b>Studi Karakteristik Stabilitas dan Konstruksi Kapal Berbahan High Density Polyethylene (HDPE)</b><br>Muammar Kadhafi, Sunardi Sunardi, Agus Triono, Wanida Kartika Sari   | pp. 315-323 |
| <b>Pengaruh Waktu Pencampuran terhadap Kekerasan Vickers Material Crucible Berbahan Limbah Evaporation Boats, Kaolin dan Semen Tahan Api</b><br>Sandy Triyanto, Rusiyanto Rusiyanto, Rahmat Doni Widodo, Samsudin Anis, Deni Fajar Fitriyana   | pp. 325-330 |
| <b>Pengaruh Panjang Rantai Karbon dan Derajat Ketidakteraturan terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Asam Lemak Tunggal</b><br>Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamidi, Lilis Yulianti  | pp. 331-347 |
| <b>Quality Function Deployment (QFD) and TRIZ in Briquette Cookstove Design and Simulation</b><br>Niswaton Faria, Kuntum Khoiro Ummatin, Mochammad Annas Junianto, Tedy Eko Budiharso  | pp. 349-359 |
| <b>Pengaruh Proses Bubut Baja AISI 4140 terhadap Mental Workload dengan Metode NASA-TLX</b><br>Meri Rahmi, Rachmatullah Rachmatullah, Casiman Sukardi  | pp. 361-369 |
| <b>The Influence of Different Slicer Software on 3d Printing Products Accuracy and Surface Roughness</b><br>Sally Cahyati, Haris Risqy Aziz  | pp. 371-380 |
| <b>Meshing Strategi untuk Memprediksi Hambatan Total pada Kapal Planing Hull</b><br>Abubakar Fathuddin, Samuel Samuel  | pp. 381-390 |
| <b>Pengaruh Sintering Serbuk Batuan Basalt sebagai Bahan Penguat pada Komposit Polyester terhadap Sifat Fisik dan Mekanik</b><br>Yusup Hendronursito, Asep Andri Saputra, Tumpal Ojahan Rajaguguk, Slamet Sumardi, Yayat Iman Supriyatna, Kusno Isnugroho, David Candra Birawidha, Muhammad Amin | pp. 391-399 |
| <b>Simulasi Gaya Pemotongan pada Proses Bubut dengan Software Third Wave Advantedge</b><br>Dika Dwi Hidayatullah, Harinda Ayu Maulinda Sari, Mahone Darsin, Santosa Muljadi  | pp. 401-409 |



Information  
For Readers  
For Authors  
For Librarians

Open Journal Systems

Make a Submission

Home / Archives / Vol. 12 No. 2 (2021) / Articles

### The Influence of Different Slicer Software on 3d Printing Products Accuracy and Surface Roughness

Sally Cahyati  
Universitas Trisakti  
Haris Risqy Aziz  
Universitas Trisakti

DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.14>

Keywords: Slicer Software, 3D Printing, Quality, Surface Roughness, Accuracy

#### Abstract

Rapid Prototyping (RP) is a manufacturing process that produces a 3D model CAD to be a real product rapidly by using additive manufacturing technology. In this case, the product will print layer by layer uses a 3D printer machine. The 3D printer requires slicer software to convert CAD data into data that a 3D printer machine can read. Research is done to analyze the effect of three kinds of slicer software on 3D printing objects on the accuracy and surface roughness of the product. The 3D model CAD is sliced using three different slicer software, namely Å Ideamaker, Repetier Host, and Cura. The slice model result from each slicer will be printed on a 3D printer machine with the same process parameters to be compared. Then the product's dimensional and surface roughness will be measured to determine the effect of each slicer on product quality. The best quality of the product reflected the most suitable slicer software for the 3D printing machine that used. The best results achieved by Cura slicer because it has resulted in small dimensional deviations (max. 0,0308Å±0,0079) and stable high surface roughness of the product (max 1,585+059).

#### Author Biographies



PDF

Published  
2021-09-08

Issue  
Vol. 12 No. 2 (2021)

Section  
Articles

License  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

#### About Rekeyasa Mesin

- Focus and Scope
- Editorial Team
- Reviewer Acknowledgement
- Publication Ethics
- Visitor Statistics
- Author Fees

#### Information for Author

- Author Guidelines
- Template
- Online Submissions (pdf)
- Video Guidelines:
  - Register
  - Forgot Password
  - Template
  - Submission
  - Revision
  - Decision

#### Tools

- MENDELEY
- Mendeley User Guide
- Insert Citation using Mendeley
- grammarly
- THOMSON REUTERS

Workflow **Publication**


**Submission** Review Copyediting Production

Round 1

**Reviewer's Attachments** [Q Search](#)

No Files

**Revisions** [Q Search](#) [Upload File](#)

|   |               |              |
|---|---------------|--------------|
| ▶  3014 Article Text, 822-2706-1-RV REVISI 24.6.2021.doc | June 24, 2021 | Article Text |
|---|---------------|--------------|

**Review Discussions** [Add discussion](#)

| Name                              | From                | Last Reply | Replies | Closed                   |
|-----------------------------------|---------------------|------------|---------|--------------------------|
| ▶ <a href="#">Editor Decision</a> | sally_2020          | -          | 0       | <input type="checkbox"/> |
|                                   | 2021-07-02 11:07 PM |            |         |                          |



## THE LAYER HEIGHT VARIATIONS EFFECT ON TENSILE STRENGTH OF 3D PRINTING PRODUCT PLA MATERIAL BASED

**Sally Cahyati**

Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Trisakti  
[sally@trisakti.ac.id](mailto:sally@trisakti.ac.id)

**Yusuf Al Furqon**

Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Trisakti  
[yusufalfurqon@gmail.com](mailto:yusufalfurqon@gmail.com)

*3D Printing products are produced and used for many purposes like biomedical equipment, mechanical part, and so on. Therefore, mechanical properties are important for 3D Printing products. Layer height as one of the 3D Printing process parameters will be observed to know the effect on product tensile strength and printing time. The research has used ASTM D638 standard specimens from PLA material base with layer height parameter variations between 0.1mm, and 0.3 mm. The specimens are printed by 3D Print Creality Ender 3-Pro, then will be tested by Tensile Machine. The result finds both the printing time and the tensile strength of 3D printing products are affected by the variations in the layer height. The printing time will decrease along with the layer height increasing. For the layer height dimension nearly the nozzle diameter of 0.3 mm, the tensile strength is 10.16 MPa. It is significantly better than the 0.1 mm to 0.25 mm layer height which has a tensile strength range of 7.07 to 8.59 MPa. The condition is because the path internal bond in the 0.3 mm layer height has more homogeneity.*

**Keywords:** 3D Printing, Layer Height, Tensile Strength, PLA, ASTM D638

### 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur terus melakukan pengembangan proses untuk meningkatkan produktivitas serta efisiensi dalam pembuatan produk. Salah satu proses manufaktur yang mengalami perkembangan yang cukup pesat adalah aditif manufaktur atau lebih dikenal dengan *3D Printing* yang adalah salah satu elemen pendukung perkembangan Revolusi Industri 4.0. *3D Printing* ini mempunyai rentang jenis material yang digunakan cukup besar mulai dari material polimer seperti PLA [1], logam baik untuk penggunaan di industri dan biomedis [2], semen dibidang konstruksi bangunan [3], coklat dalam industri makanan [4] dan banyak lagi. Kelebihan inilah yang menyebabkan teknologi aditif manufaktur atau *3D Printing* terus berkembang sehingga penelitian dibidang ini masih merupakan hal yang sangat menarik untuk dilakukan.

Penggunaan *3D Printing* dapat memberikan pilihan jika konsumen ingin membuat produk atau komponen suku cadang secara kustom. Kustomisasi ini terutama sekali akan sangat terasa manfaatnya untuk menopang *smart maintenance* yang menjadi bagian dari *smart factory*[5], dimana *3D Printing* menyumbang peranan penting dalam pembuatan suku cadang dalam waktu singkat terutama sekali untuk produk dengan desain kustom dan agak sulit dibeli dipasaran [6].

Pada *smart factory*, pembuatan produk pada mesin terutama mesin *3D Printing* telah dilengkapi dengan CPS (*Cyber Physical System*) yang terintegrasi. Mesin telah dilengkapi sensor, aktuator dan perangkat pendukung lainnya sehingga mesin dapat diperintahkan dan dimonitor dari berbagai lokasi dan kapan saja menggunakan gawai, *laptop* dan perangkat komputer lainnya. Penerapan teknologi ini pada proses manufaktur terutama *3D Printing* yang juga dikenal dengan nama FDM (*Fused Deposition Modeling*) diawal penemuannya, juga mengijinkan konsumen untuk memperoleh kemudahan karena dapat memonitor proses pengerjaan dan dapat melihat perkiraan hasil akhir produk sejak awal pemesanan[7]. *3D Printing* atau FDM adalah salah satu proses manufaktur aditif yang mulai dikembangkan oleh S. Scott Crump pada tahun 1988 dan mulai dikomersialkan pada tahun 1992 oleh Stratasys[8][9]. Prinsip kerjanya adalah membentuk produk dengan meletakkan lapisan-lapisan material pada sumbu vertikal sehingga membentuk produk yang

diinginkan. Setelah lapisan pertama selesai dibentuk, nozel printer akan bergerak menjauh dari meja kerja dan melakukan pencetakan lapisan berikut di atasnya, sehingga terbentuk tumpukan lapisan. Langkah ini akan terus berlanjut hingga proses pencetakan selesai dan produk yang diinginkan terbentuk [10].

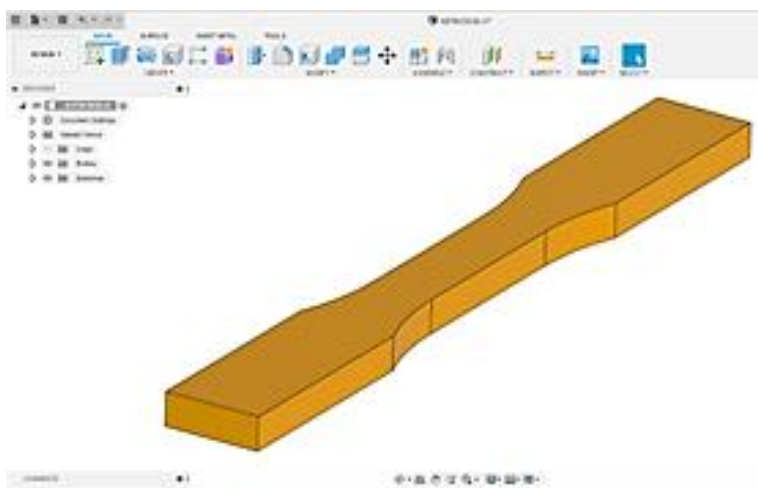
Beberapa penelitian pengaruh parameter proses 3D printing sudah dilakukan salah satunya adalah penelitian *infill*. Diketahui bahwa pada pola *infill*, densitas *infill*, dan sudut *infill* yang berbeda mempunyai waktu cetak dan panjang filamen yang berbeda pula. Semakin tinggi densitas *infill* maka semakin panjang filamen yang terpakai, dan semakin lama waktu pencetakan. Pola *infill Gyroid* dan sudut *infill 90°* membutuhkan filamen yang lebih panjang daripada pola *infill honeycomb* dan *sudut infil 45°* [11]. ABS mempunyai kekuatan tarik lebih baik dibandingkan PLA, namun untuk ketelitian dimensi produk yang dihasilkan PLA lebih baik [12]. Selain parameter ternyata antarmuka *licer* juga sangat mempengaruhi ketelitian dimensi dari produk yang dicetak pada mesin 3D Printing, dari 3 buah antarmuka yang dibandingkan ternyata antarmuka *Cura Slicer* memiliki penyimpangan terkecil dengan dimensi model 3D CAD-nya, sehingga produk yang dicetak mempunyai tingkat kekasaran permukaan yang baik dan stabil [13]. Suhu *nozel* juga ternyata mempunyai pengaruh terhadap tingkat ketelitian produk dan kekasaran permukaan [14]. Orientasi pencetakan obyek yang akan dicetak pada mesin 3D Printing juga menentukan tingkat kekasaran produk, waktu pencetakan dan kekuatan tarik dari produk yang dihasilkan. Oleh karena itu orientasi obyek yang akan dicetak perlu mempertimbangkan ketiga aspek di atas [15].

Tebal tiap lapisan yang diletakkan pada meja kerja atau dikenal dengan *layer height* juga merupakan parameter yang menarik untuk diteliti. Semakin tipis lapisan yang dihasilkan maka semakin halus hasil akhir produk namun dengan konsekuensi waktu pengerjaan yang lebih lama. Penyebabnya adalah karena semakin tebal *layer height* maka efek tangga dari permukaan produknya akan semakin besar dan akan mengakibatkan permukaan produknya semakin kasar [16][17]. Pemilihan *layer height* biasanya didasarkan pada penggunaan produk akhir, jika hanya digunakan sebagai draf dari suatu produk maka tidak diperlukan kehalusan produk yang cukup tinggi, namun jika produk yang dibuat memiliki nilai visual maka sebaiknya digunakan *layer height* yang tipis. Pada penelitian ini variasi *layer height* dari 0,1 mm sampai dengan 0,3 mm dengan kenaikan masing-masing 0,05 mm akan diterapkan pada proses pembuatan benda uji untuk mengetahui, “Apakah ada pengaruh variasi *layer height* terhadap waktu pencetakan dan kekuatan tarik dari produk 3D Printing.

## 2. METODE DAN BAHAN

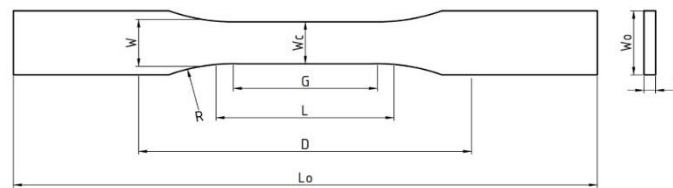
### 2.1 Metode Penelitian

Benda uji dibuat sebagai bahan dalam melakukan pengujian pada penelitian ini. Sebagai awal dalam pencetakan dengan 3D printer maka dibuat model benda uji dalam bentuk digital 3D dengan *AutoDesk Fusion 360* dengan acuan dimensi dari standarisasi ASTM D638 Gambar 1.



**Gambar 1.** Model benda uji dalam bentuk digital 3D dengan *AutoDesk Fusion 360* dengan acuan dimensi dari standarisasi ASTM D638

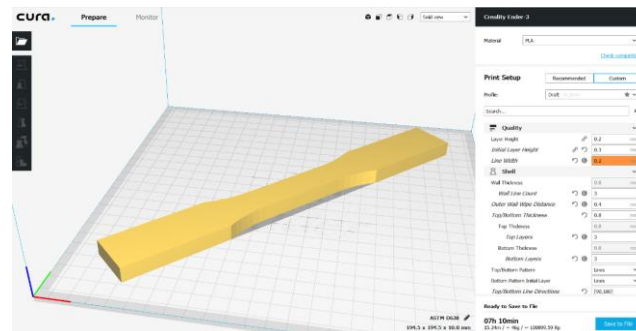
Standar uji tarik ASTM D638 memiliki 5 tipe ukuran dimensi yang dapat dipilih. Dimensi model yang digunakan mengacu pada standar ASTM D638 tipe III. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan tebal spesimen dan luas permukaan maksimum yang bisa dicetak oleh 3D printer. Geometri dan dimensi lengkap tipe 3 dapat dilihat pada Gambar 2. Tebal benda uji yang dibuat dipilih setebal 10 mm.



| Dimension (see drawings)              | Thickness, T, mm (in.)            |  |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
|                                       | Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl |  |
|                                       | <b>Type III</b>                   |  |
| W- Width of narrow section            | 19 (0.75)                         |  |
| L- Length of narrow section           | 57 (2.25)                         |  |
| WO- Width overall, min <sup>6</sup>   | 29 (1.13)                         |  |
| WO- Width overall, min <sup>6</sup>   | .....                             |  |
| LO- Length overall, min <sup>11</sup> | 246 (9.7)                         |  |
| G- Gage length                        | 50 (2.00)                         |  |
| G- Gage length                        | .....                             |  |
| D- Distance between grips             | 115 (4.5)                         |  |
| R- Radius of fillet                   | 76 (3.00)                         |  |
| RO- Outer radius (type IV)            | .....                             |  |

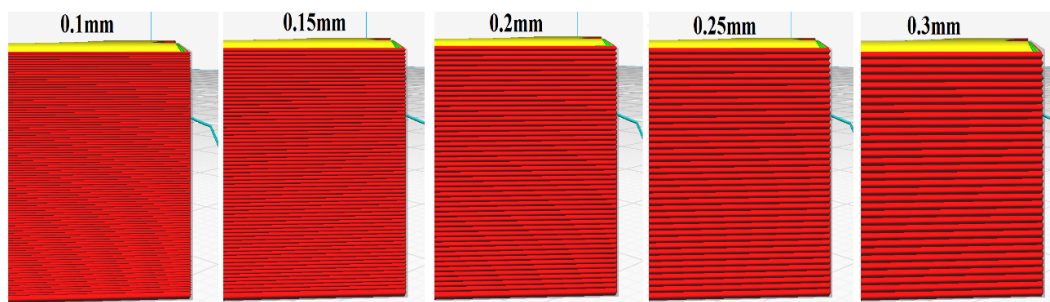
**Gambar 2:** Gambar dan dimensi standar uji tarik ASTM D638

Setelah selesai melakukan desain benda uji, model benda akan diproses lebih lanjut apa aplikasi *Ultimaker Cura*. Disini dilakukan pengaturan parameter-parameter pencetakan dan tampilan proses slicing yang terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3:** Parameter-parameter pencetakan antarmuka aplikasi Ultimaker Cura

Pada proses *slicing* ini akan diatur parameter utama pada penelitian ini yaitu *layer height*, pada 0,1 mm; 0,15 mm; 0,2 mm; 0,25 mm; dan 0,3 mm, serta dilakukan pengaturan temperature dari ekstruder untuk tiap material yang digunakan yaitu 180 °C. *Infill* yang digunakan adalah sebesar 50 %, kecepatan nozzle 40 mm/detik dan menggunakan pola heksagonal dikarenakan parameter ini adalah yang terkuat untuk pengujian tarik [18]. Perbedaan *layer height* sudah dapat terlihat pada proses *slicing* dan ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4:** Perbedaan *layer height* pada aplikasi *slicer*

## 2.2 Alat dan Bahan.

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan berupa mesin 3D Print Creality Ender 3-Pro, laptop, material PLA *E-Sun*, *Autodesk Fusion 360*, *software Ultimaker Cura 3.0*. Spesifikasi material PLA terlihat dalam Tabel 1, dan spesifikasi mesin untuk pembuatan benda uji pada pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 1:** Spesifikasi material PLA E-Sun

| SPESIFIKASI               | KETERANGAN   |
|---------------------------|--|
| Nama Teknis               | Polylactic Acid  |
| Formula Kimia             | (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> |
| Temperatur Leleh          | 57 – 170 °C  |
| Temperatur Injeksi Khusus | 178 – 240 °C   |
| Berat Jenis [SG]          | 1,24 kg/mm <sup>3</sup>                                      |
| Tingkat Penyusutan        | 0,37 – 0,41%   |

**Tabel 2:** Spesifikasi mesin 3D Print Creality Ender 3-Pro

| SPESIFIKASI                         | DIMENSI                         |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Maksimum Dimensi Produk (p x l x t) | 220 x 220 x 250 (mm)            |
| <i>Build Plate</i>                  | <i>Ultrabase Tempered Glass</i> |
| <i>Built Plate Levelling</i>        | <i>4 Point manual leveling</i>  |
| Diameter Nozel                      | 0,4 (mm)                        |
| <i>Layer Resolution</i>             | 0,1 – 0,3 (mm)                  |
| Temperatur pengoperasian            | 15-32 (°C)                      |
| Berat Mesin                         | 6 (kg)                          |
| Dimensi Mesin                       | 440 x 440 x 465 (mm)            |

Spesifikasi mesin uji tarik yang digunakan adalah Mesin *HTE Hounsfield* seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3:** Spesifikasi mesin *HSE Hounsfield*

| SPESIFIKASI                  | DIMENSI               |
|------------------------------|-----------------------|
| Beban Maksimum               | 50.000 (N)            |
| Ukuran Mesin                 | 740 x 460 x 1900 (mm) |
| Kotak pencekaman             | 110 x 40 x 110 (mm)   |
| Pencekaman minimal           | 5 (mm)                |
| Ketebalan maksimal           | 35 (mm)               |
| Gerakan maksimal Rahang Atas | 115 (m)               |

## 3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian tarik pada setiap benda uji dilakukan setelah selesai benda uji dicetak dengan sesuai dengan penentuan parameter diatas. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik HTE Hounsfield. Sebelum melakukan pengujian tarik dengan benda uji secara langsung, telah disiapkan 4 buah benda uji tambahan sebagai sampel pengujian awal untuk memilih kecepatan penarikan pada mesin uji tarik. Hal ini dilakukan untuk menentukan kecepatan yang menghasilkan patahan benda uji yang paling mendekati bagian tengah benda uji. Pemilihan kecepatan akan dipilih antara 100 mm/menit, 300 mm/menit, 500 mm/menit, dan 800 mm/menit. Setelah dilakukan pengujian awal maka didapat kecepatan yang akan digunakan adalah 300 mm/menit. Hasil uji dengan benda uji sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.

Pada umumnya patahan benda uji berbentuk runcing dan tajam, hal ini dikarenakan material yang digunakan adalah PLA yang termasuk jenis polimer yang berkarakteristik ulet. Namun terdapat perbedaan sedikit dari bentuk patahan yang terjadi pada benda hasil pengujian. Patahan tersebut diduga karena proses pembentukan benda uji merupakan hasil produk additive manufaktur, dimana pembentukan benda uji dilakukan selapis demi selapis, yang kemungkinan menghasilkan struktur yang tidak homogen pada benda uji akibat adanya kesalahan rambang pada proses produksi yang tidak bisa dihindari.



**Gambar 5:** Hasil pengujian awal untuk pemilihan kecepatan tarik pada mesin uji tarik.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan mesin uji tarik diperoleh data berupa gaya yang diberikan mesin hingga benda uji patah. Untuk mendapatkan nilai dari kekuatan tarik benda uji, gaya yang bekerja pada pengujian perlu diolah dulu dengan menggunakan rumus 4.1:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \tag{4.1}$$

Dimana:

- $\sigma$  = Kekuatan tarik (N/m<sup>2</sup>) atau (Pa)
- $F$  = Gaya yang bekerja (N)
- $A_0$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Setiap nilai gaya yang bekerja pada pengujian akan dibagi dengan luas penampang dari benda uji untuk mendapat kekuatan tarik. Luas penampang tiap benda uji pada penelitian ini sama, dihitung dari dimensi pada standar ASTM D638 yaitu:

$$\begin{aligned} A_0 &= W \cdot T \\ &= 19 \times 10 = 19 \text{ (mm}^2\text{)} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned} \tag{4.2}$$

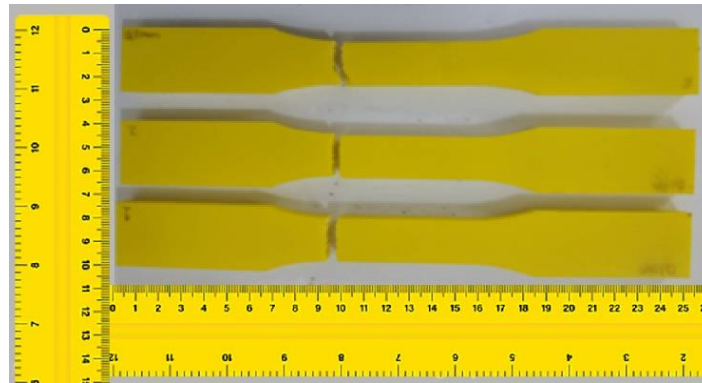
### 3.1 Benda Uji 0.1 mm

Setelah dilakukan pengujian pada tiga benda uji dengan layer height 0,1 mm diperoleh hasil kekuatan sebagaimana pada Tabel 4.

**Tabel 4:** Kekuatan tarik pada pengujian benda uji *layer height* 0,1 mm

| BENDA UJI 0.1 (mm) | GAYA [N] | KEKUATAN TARIK [MPa] |
|--------------------|----------|----------------------|
| Spesimen 1         | 1380     | 7,26                 |
| Spesimen 2         | 1690     | 8,89                 |
| Spesimen 3         | 1540     | 8,11                 |
| Rata-rata          | 1536,67  | 8,09                 |

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata dari kekuatan tarik dari benda uji dengan *layer height* 0,1 mm adalah sebesar 8,09 MPa. Hasil ini akan dibandingkan dengan pengujian pada benda uji dengan parameter lainnya. Hasil pengujian dari benda uji yang mempunyai *layer height* 0,1 mm dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7:** Benda uji *layer height* 0,1 mm setelah pengujian

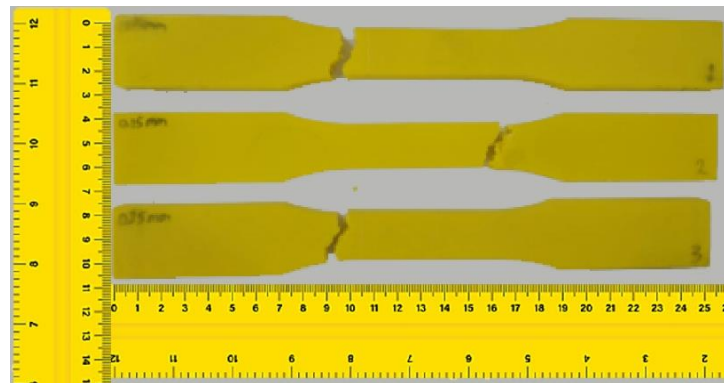
### 3.2 Benda Uji 0,15 mm

Pengujian pada benda uji yang diset pada *layer height* 0,15 mm dilakukan selanjutnya dan hasil yang didapat terlihat pada Tabel 5.

**Tabel 5:** Hasil pengujian benda uji *layer height* 0,15 mm

| BENDA UJI 0.15 mm | GAYA [N] | KEKUATAN TARIK [MPa] |
|-------------------|----------|----------------------|
| Spesimen 1        | 1350     | 7,11                 |
| Spesimen 2        | 1320     | 6,95                 |
| Spesimen 3        | 1360     | 7,16                 |
| Rata-rata         | 1343,33  | 7,07                 |

Pengujian pada benda uji yang mempunyai *layer height* 0,15 mm menghasilkan rata-rata kekuatan tarik sebesar 7,07 MPa. Hasil pengujian benda uji yang mempunyai *layer height* 0,15 mm ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8:** Benda uji *layer height* 0,15 mm setelah pengujian

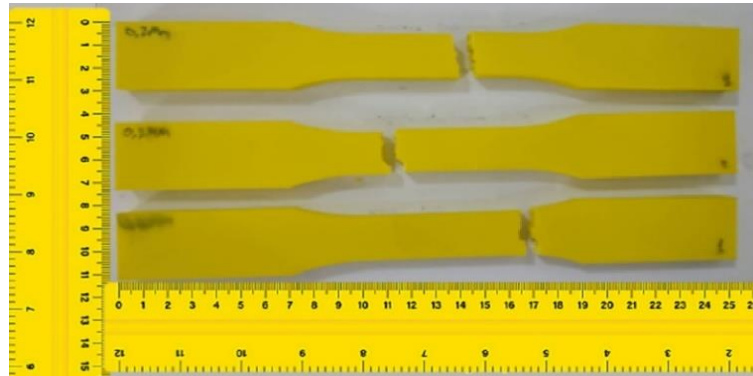
### 3.3 Benda Uji 0,2 mm

Pengujian dilakukan pada benda uji selanjutnya dengan *layer height* 0,2 mm. Diperoleh hasil pengujian pada benda uji ini seperti terlihat di Tabel 6.

**Tabel 6:** Hasil pengujian benda uji *layer height* 0,2 mm

| BENDA UJI 0,2 mm | GAYA [N] | KEKUATAN TARIK [MPa] |
|------------------|----------|----------------------|
| Spesimen 1       | 1510     | 7,95                 |
| Spesimen 2       | 1690     | 8,89                 |
| Spesimen 3       | 1430     | 7,53                 |
| Rata-rata        | 1543,33  | 8,12                 |

Hasil pengujian benda uji yang diset pada *layer height* 0,2 mm menghasilkan rata-rata kekuatan tarik sebesar 8,12 MPa. Gambar 9 menunjukkan kekuatan tarik benda uji yang mempunyai *layer height* 0,2 mm.



**Gambar 9:** Benda uji *layer height* 0,2 mm setelah pengujian

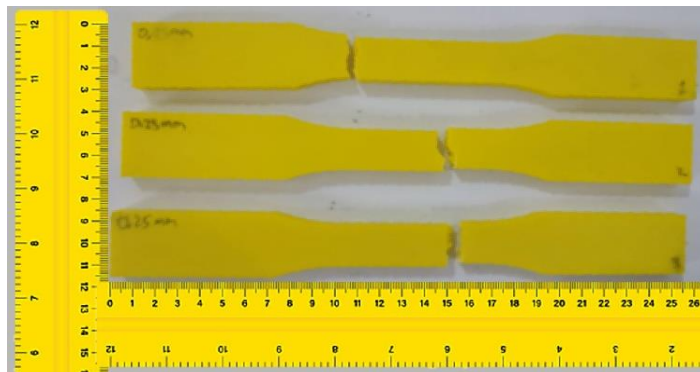
### 3.4 Benda Uji 0,25 mm

Selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian pada benda uji dengan *layer height* 0,25 mm. Hasil yang didapatkan pada pengujian benda uji ini ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7:** Hasil Pengujian benda uji *layer height* 0,25 mm

| BENDA UJI 0,25 mm | GAYA [N] | KEKUATAN TARIK [MPa] |
|-------------------|----------|----------------------|
| Spesimen 1        | 1530     | 8,05                 |
| Spesimen 2        | 1690     | 8,89                 |
| Spesimen 3        | 1680     | 8,84                 |
| Rata-rata         | 1633,33  | 8,59                 |

Hasil pengujian benda uji yang mempunyai *layer height* 0,25 mm menghasilkan rata-rata kekuatan tarik sebesar 8,59 MPa. Benda uji yang telah dilakukan uji tarik ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10:** Benda uji *layer height* 0,25 mm setelah pengujian

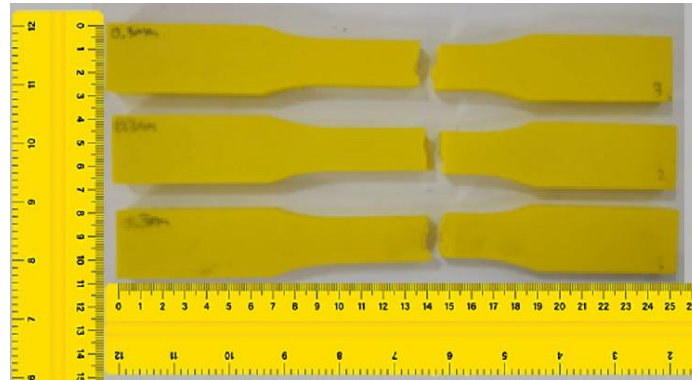
### 3.5 Benda Uji 0,3 mm

Selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian pada benda uji pada *layer height* 0,3 mm. Hasil pengujian benda uji ini didapatkan pada Tabel 8.

**Tabel 8:** Pengujian kekuatan tarik benda uji *layer height* 0,3 mm

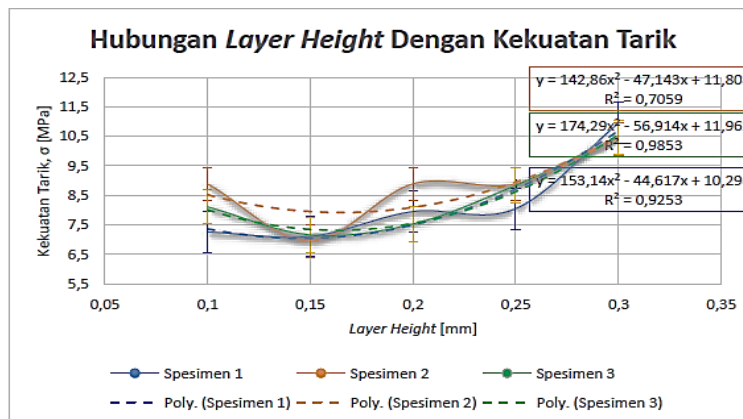
| BENDA UJI 0.3 mm | GAYA [N] | KEKUATAN TARIK [MPa] |
|------------------|----------|----------------------|
| Spesimen 1       | 2080     | 10,95                |
| Spesimen 2       | 1980     | 10,42                |
| Spesimen 3       | 1990     | 10,47                |
| Rata-rata        | 2016,67  | 10,61                |

Hasil pengujian benda uji dengan *layer height* 0,3 mm memiliki hasil rata-rata kekuatan tarik sebesar 10,61 MPa. Benda uji dengan *layer height* 0,3 mm yang telah dilakukan uji tarik ditunjukkan pada Gambar 11.

**Gambar 11:** Benda uji *layer height* 0,3 mm setelah pengujian

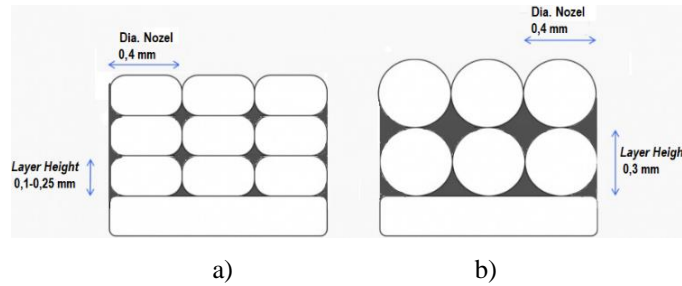
### 3.6 Analisa Kekuatan Tarik Benda Uji

Setelah mendapatkan hasil dari pengujian tarik pada benda uji, maka dilakukan pengolahan data dan kemudian dapat dilakukan analisis pada hasil penelitian ini. Berdasarkan pada data yang telah terkumpul maka dapat dilihat bahwa pada benda uji dengan *layer height* yang berbeda mempunyai kekuatan tarik yang berbeda. Pengaruh perbedaan *layer height* tersebut dapat terlihat pada Gambar 12.

**Gambar 12:** Grafik kekuatan tarik-*layer height*

Grafik pada Gambar 12 menunjukkan bahwa untuk *layer height* 0,1 sampai dengan 0,25 mm, rata-rata kekuatan tarik yang terjadi pada benda uji PLA adalah dalam rentang 7,07 MPa sampai dengan 8,59 MPa. Kenaikan kekuatan tarik mulai terjadi signifikan pada *layer height* 0,3 mm. Pada *layer height* yang jauh lebih kecil dari diameter nozzle, saat manik lapisan filamen yang keluar dari nozzle akan tertekan setinggi pengaturannya dan membentuk penampang mendekati persegi panjang. Namun jika *layer height* mendekati atau sama dengan diameter nozzle, maka manik lapisan filamen akan membentuk penampang mendekati lingkaran sebagaimana terlihat dalam Gambar 13.

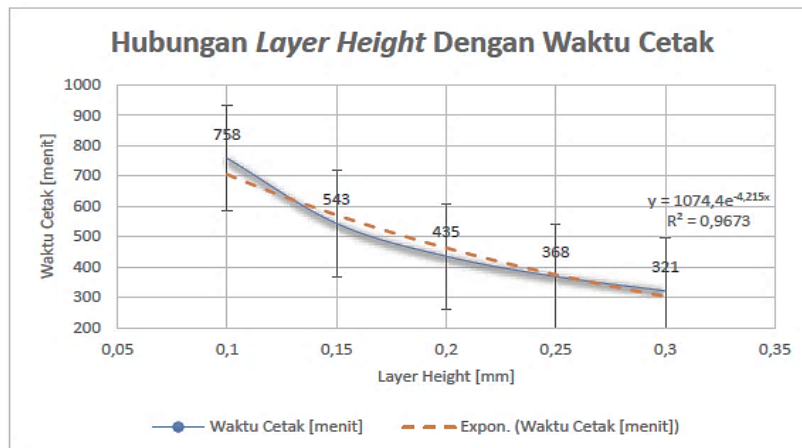




**Gambar 13:** Penampang manik filamen pada variasi *layer height* a) 0,1-0,25 mm; dan b) 0,3 mm

Penampang filamen pada *layer height* yang jauh lebih kecil dari diameter nozzle-nya mendekati persegi panjang dan permukaan antar *layer*-nya lebih luas seperti pada Gambar 13.a). Seharusnya dengan permukaan pelekatan yang lebih luas, kekuatan las antar *layer*-nya (*layer welding strength*) akan lebih baik dan benda ujinya mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi. Namun ternyata saat pengujian, benda uji yang diset pada *layer height* 0,1 -0,25 mm mempunyai kekuatan tarik lebih rendah dari pada benda uji dengan *layer height* yang mendekati diameter nozzle-nya (pada *layer height* 0,3mm) yang mempunyai penampang manik mendekati bentuk lingkaran dan permukaan pelekatan antar *layer*-nya lebih kecil.

Dugaan sementara hal ini terjadi dikarenakan pada saat proses pelekatan antar *layer*, *layer* pertama yang terbentuk diawal sudah mengalami solidifikasi terlebih dahulu, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam untuk pembuktiannya. Solidifikasi ini terjadi karena adanya penurunan temperatur *layer* oleh pendinginan udara dari kipas dan temperature sekelilingnya. Akibatnya pada *layer* yang pertama dengan *layer* yang dicetak berikutnya akan terjadi perbedaan temperatur dan tingkat solidifikasinya sehingga proses pelekatan dari kedua permukaan *layer* tersebut menjadi kurang homogen. Sedangkan pada benda uji dengan *layer height* 0,3mm, proses solidifikasi lebih homogen karena dengan ukuran ketebalan benda uji yang sama, jumlah *layer*-nya yang terbentuk dan permukaannya harus saling melekat relatif lebih sedikit, sehingga kekuatan internal dari *layer* yang terbentuk lebih baik. Hal inilah yang diduga menyebabkan benda uji dengan *layer height* 0,3mm mempunyai kekuatan tarik lebih besar rata-rata sebesar 10,61 MPa berbeda signifikan dengan benda uji dengan *layer height* 0,1-0,25 mm yaitu pada rentang 7,07 Mpa sampai dengan 8,59 MPa.



**Gambar 14:** Grafik waktu cetak - *layer height*

Selain hal yang bersifat teknis dari produk 3D *Printing*, hal lain yang penting dipertimbangkan adalah hal yang berkaitan dengan nilai ekonomisnya, yaitu yang berkaitan dengan biaya produksi. Pada produk 3D *Printing* waktu cetak juga memegang peranan penting dalam menentukan biaya produksinya. Grafik pada Gambar 14 memperlihatkan bahwa waktu pencetakan berbanding terbalik dengan tebalnya *layer height*, yang artinya semakin besar *layer height* yang dipilih dalam melakukan pencetakan maka akan semakin cepat waktu pencetakan produknya. Berdasarkan hasil dari penelitian ini, telah diketahui bahwa pemilihan *layer height* dapat mempengaruhi kekuatan tarik dari suatu produk 3D *Printing*. Pemilihan *layer height* yang tepat akan mempercepat waktu pencetakan dan menghasilkan produk yang memiliki kekuatan mekanis tarik yang baik.

#### 4. KESIMPULAN

Variasi dari *layer height* mempengaruhi kekuatan tarik dari sebuah produk 3D *Printing*. Kekuatan tarik yang baik diperoleh saat *layer height* mendekati ukuran diameter nozzle. *Layer height* juga mempengaruhi waktu pencetakan pada produk 3D *Printing*. Produk dengan *layer height* yang mendekati ukuran diameter nozzle, membutuhkan waktu pencetakan yang lebih singkat dibandingkan dengan produk dengan *layer height* jauh lebih kecil dari diameter nozzle. Keterkaitan waktu cetak dengan penurunan ukuran *layer height* mempunyai cenderung menurun secara eksponensial. *Layer height* 0,3 mm yang mendekati diameter nozzle merupakan yang terbaik dalam menghasilkan kekuatan tarik produk dan waktu pencetakan yang paling singkat.

#### 5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. T. ROHMAN, H.S.B. ROCHARDJO, ‘Analisa Ketelitian Gerak Sumbu X Ekstruder Mesin Fused Deposition Modeling dan Kualitas Hasil 3D Printing Menggunakan Bahan Polylactic Acid (PLA) A.’, *J. Mech. Des.*, vol. 130, no. April 2011, p. 40201, 2008.
- [2] X. WANG *et al.*, ‘Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review’, *Biomaterials*. 2016, doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.01.012.
- [3] T. P. MPOFU, C. MAWERE, and M. MUKOSERA, ‘The Impact and Application of 3D Printing Technology’, *Int. J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 2148–2152, 2014, [Online]. Available: [https://www.academia.edu/download/34056587/MDIwMTQ2NzU\\_.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/291975129](https://www.academia.edu/download/34056587/MDIwMTQ2NzU_.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/291975129).
- [4] L. HAO, S. MELLOR, O. SEAMAN, J. HENDERSON, N. SEWELL, and M. SLOAN, ‘Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing’, *Virtual Phys. Prototyp.*, 2010, doi: 10.1080/17452751003753212.
- [5] A. CERUTI, P. MARZOCCA, A. LIVERANI, and C. BIL, ‘Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing’, *J. Comput. Des. Eng.*, 2019, doi: 10.1016/j.jcde.2019.02.001.
- [6] E. C. TAMAYO, Y. I. KHAN, A. J. QURESHI, and M. AL-HUSSEIN, ‘Design automation of control panels for automated modular construction machines’, *Procedia CIRP*, vol. 70, pp. 404–409, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.02.004.
- [7] ACHDIANTO, S. CAHYATI, TRIYONO, and SAIFUDIN, ‘Integrated CAD customization system for fused deposition models in additive manufacture with 3D printing machine’, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 694, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/694/1/012008.
- [8] L. RODRÍGUEZ-PARADA, P. F. MAYUET, and A. J. GÁMEZ, ‘Industrial product design: Study of FDM technology for the manufacture of thermoformed prototypes’, *Procedia Manuf.*, vol. 41, pp. 587–593, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.046.
- [9] S. CAHYATI, B. SATRIAWAN, J. Teknik, M. Fakultas, T. Industri, and U. Trisakti, ‘Ketelitian Dimensi Produk Hasil Proses Modifikasi Mesin Fdm Dual Extruder’, *Semin. Nas. Pakar ke 2*, pp. 1–7, 2019, [Online]. Available: <https://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/pakar/article/view/4185>.
- [10] F. M. T. MSALLEM, BILAL, NEHA SHARMA, SHUAISHUAI CAO, FLORIAN S. HALBEISEN, HANS-FLORIAN ZEILHOFER, ‘Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using’, *J. Clin. Med.*, vol. 9, no. 3, p. 817, 2020.
- [11] J. SUTEJA, ‘Effect of Infill Pattern, Infill Density, and Infill Angle on the Printing Time and Filament Length of 3D Printing’, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.16.
- [12] Y. Y. TANOTO, J. ANGGONO, W. BUDIMAN, and K. V. PHILBERT, ‘Strength and Dimension Accuracy in Fused Deposition Modeling : A Comparative Study on Parts Making Using ABS and PLA Polymers’, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 69–76, 2020, doi: 10.21776/ub.jrm.2020.011.01.8.
- [13] S. CAHYATI and H. R. AZIZ, ‘The Influence of Different Slicer Software on 3d Printing Products Accuracy and Surface Roughness’, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 371–380, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.02.14.
- [14] I. HAKIM RAHMAN SAPUTRA, G. UTAMA, and Y. SETYOADI, ‘Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer’, *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, 2019.
- [15] S. LUBIS, S. DJAMIL, and Y. YOLANDA, ‘Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk’, *Sinergi*, vol. 20, no. 1, p. 27, 2016, doi: 10.22441/sinergi.2016.1.005.
- [16] R. D. BINTARA, D. Z. LUBIS, and Y. R. AJI PRADANA, ‘The effect of layer height on the surface roughness in 3D Printed Polylactic Acid (PLA) using FDM 3D printing’, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012096.

- [17] N. VINOTH BABU *et al.*, 'Influence of slicing parameters on surface quality and mechanical properties of 3D-printed CF/PLA composites fabricated by FDM technique', *Mater. Technol.*, 2021, doi: 10.1080/10667857.2021.1915056.
- [18] A. M. BAIG, K. M. MOEED, and S. HAQUE, 'A Study on the Effect of Infill Percentage and Infill Pattern on the Compressive Behaviour of the FDM Printed Polylactic Acid ( PLA ) Polymer', *GRD Journals - Glob. Res. Dev. J. Eng.*, vol. 4, no. 9, pp. 5–8, 2019.