

## 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].

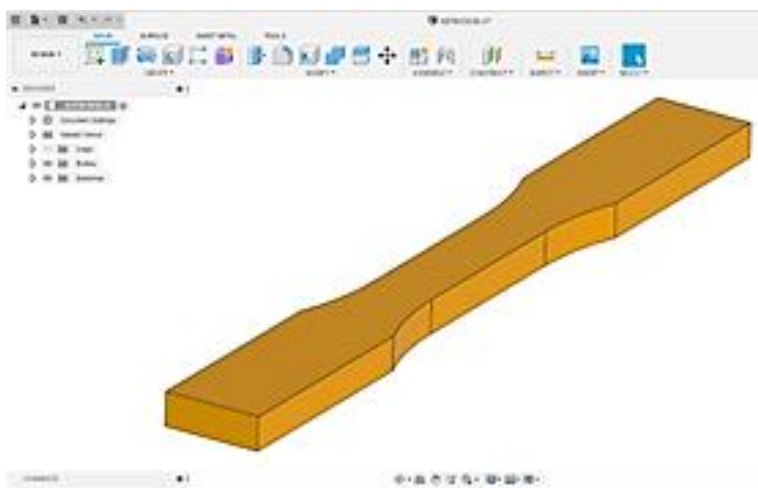
Beberapa penelitian pengaruh parameter proses 3D printing sudah dilakukan salah satunya adalah penelitian *infill*. Diketahui bahwa pada pola *infill*, densitas *infill*, dan sudut *infill* yang berbeda mempunyai waktu cetak dan panjang filamen yang berbeda pula. Semakin tinggi densitas *infill* maka 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 *infill 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

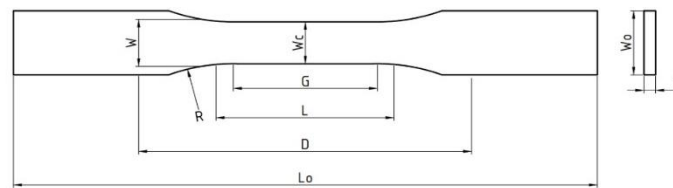
### 2.1 Metode Penelitian

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

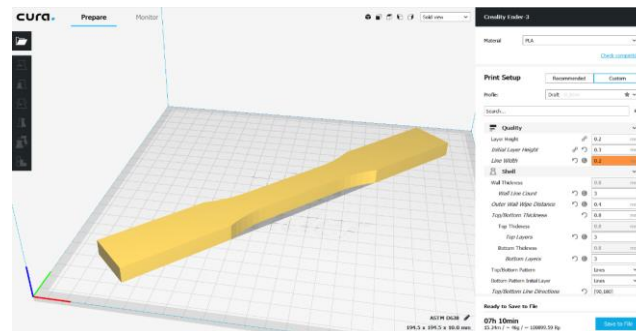
Standar uji tarik ASTM D638 memiliki 5 tipe ukuran dimensi yang dapat dipilih. Dimensi model yang digunakan mengacu pada standar ASTM D638 tipe III. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan tebal spesimen dan luas permukaan maksimum yang bisa dicetak oleh 3D printer. Geometri dan dimensi lengkap tipe 3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

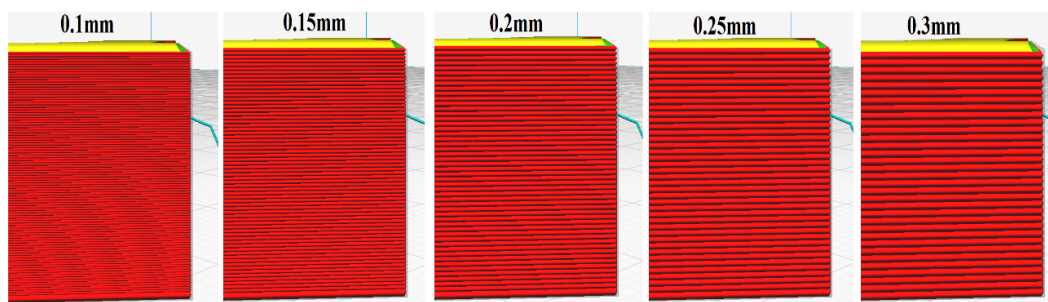
**Gambar 2:** Gambar dan dimensi standar uji tarik ASTM D638

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 nozel 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:

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

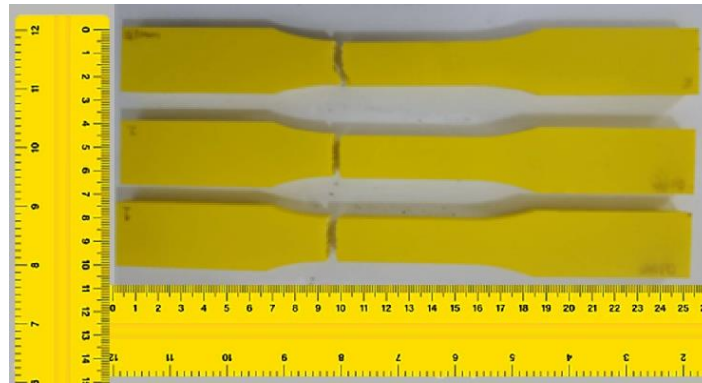
### 3.1 Benda Uji 0.1 mm

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

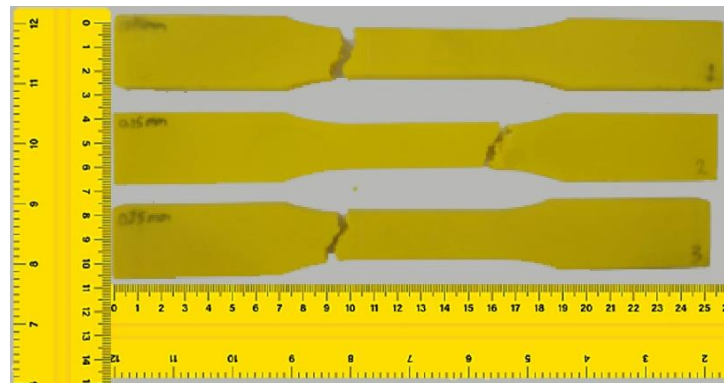
### 3.2 Benda Uji 0,15 mm

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

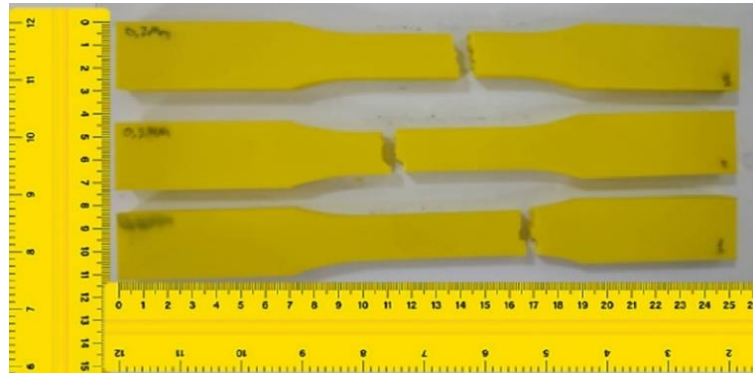
### 3.3 Benda Uji 0,2 mm

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

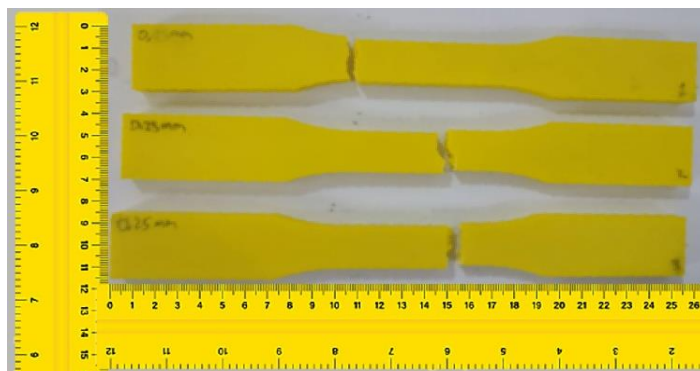
### 3.4 Benda Uji 0,25 mm

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

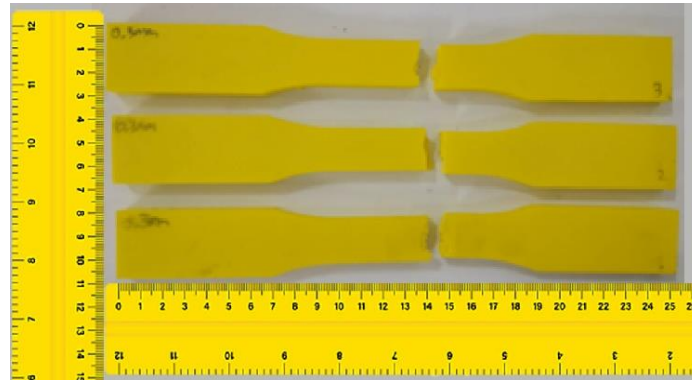
### 3.5 Benda Uji 0,3 mm

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

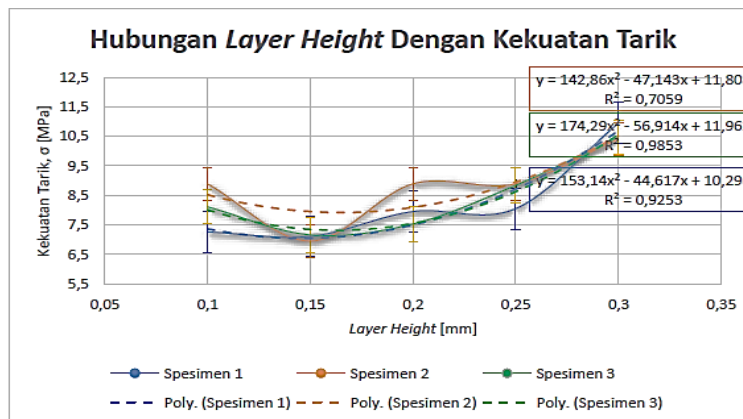
BENDA UJI 0.3 mm	GAYA [N]	KEKUATAN TARIK [MPa]
Spesimen 1	2080	10,95
Spesimen 2	1980	10,42
Spesimen 3	1990	10,47
Rata-rata	2016,67	10,61

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

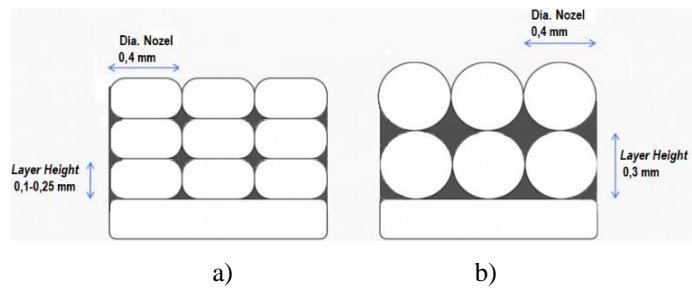
### 3.6 Analisa Kekuatan Tarik Benda Uji

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.

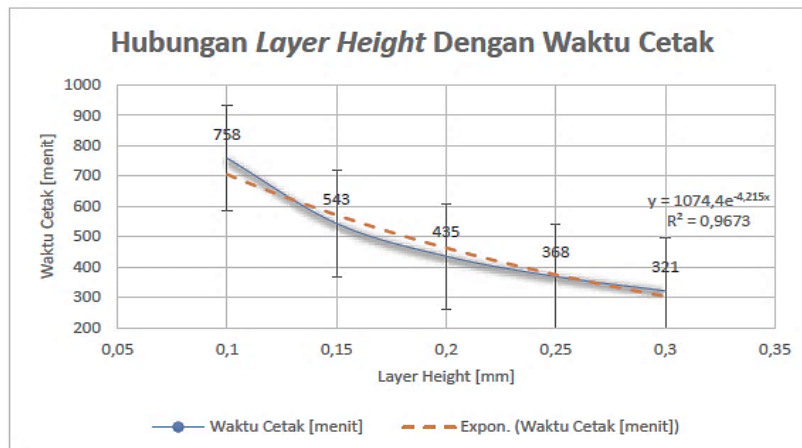




**Gambar 13:** Penampang manik filamen pada variasi *layer height* a) 0,1-0,25 mm; dan b) 0,3 mm

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.