

Pengaruh *Print Speed* Extruder dan *Height Layer* terhadap Kekuatan Tekan dan Foto Makro pada Hasil *3D Printing*

Gunawan Rudy Cahyono¹, Jerry Iberahim¹,
Pathur Razi Ansyah¹, Sunu Hasta Wibowo²

¹ Prodi Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

² Prodi Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Banjarmasin

✉ gunawan.cahyono@ulm.ac.id

Penelitian tentang manufaktur objek tiga dimensi melalui mesin cetak *3D printing* masih terus berlanjut dikalangan para peneliti. Kombinasi parameter *print speed* dan *height layer* untuk diuji bending, belum dilakukan telaah lebih lanjut. Kecepatan cetak (*print speed*) ini, dapat saja mempengaruhi *object* yang dicetak mesin *3D printing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *print speed* dan *height layer 3D printing* terhadap kekuatan tekan spesimen berdasarkan standar ASTM D955 dengan variasi *print speed* 50 mm/s, 40 mm/s, 30 mm/s, serta variasi *height layer* 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm. Hasil variasi parameter semakin rendah *print speed* maka semakin besar kekuatan tekan spesimen dan jika semakin tinggi *print speed* maka semakin kecil pula kekuatan tekan. Pada *height layer*, variabel semakin rendah maka semakin kecil kekuatan tekan dan semakin tinggi *height layer* maka semakin besar kekuatan tekan. Pada struktur makro, *print speed* dan *height layer* berpengaruh, semakin rendah *print speed* memiliki struktur patahan rapi dan berserat. Variabel *height layer* rendah menghasilkan patahan tunggal dan *height layer* tinggi menghasilkan patahan *multiple area*.

Kata kunci: *Print speed*, *Height layer*, Kekuatan Tekan, PLA, Makro, *3D printing*

Diajukan: 9 Mei 2022

Direvisi: 24 Mei 2022

Diterima: 27 Mei 2022

Dipublikasikan online: 30 Mei 2022

Pendahuluan

Teknologi *3D printing* dikategorikan sebuah alat manufaktur pada industri yang dapat membuat produk secara miniatur dengan cepat, untuk mencetak objek tiga dimensi (Hakim et al., 2019). *3D print* dapat menghasilkan produk seperti aksesoris dan *spare part* dengan menggunakan model CAD yang merupakan tuntutan dalam proses pembuatan produk. Pembuatan dengan *Rapid Prototyping* tidak perlu perencanaan proses dari 1 tahap ketahap lainnya, tetapi berdasarkan model *3D* yang dirancang/didesain.

3D printer mempunyai ragam, jenis karakteristik sesuai dengan fungsi masing masing dan parameter yang mempengaruhi hasilnya. Parameter dalam proses pemesinan disesuaikan dengan *endmill* dan benda kerja yang digunakan. Parameter yang umum *3D printing* ialah *print speed*, *height layer*, *infill density*, *printing temperature* (Seprianto & Wilza, 2017). Sementara untuk bahannya adalah *Poly Lastic Acid* (PLA), berbahan baku bioplastik. Bioplastik adalah plastik yang terbuat dari bahan terbarukan yang berarti memiliki sifat ramah lingkungan karena dapat dengan mudah terdegradasi (Praptowidodo, 2020). Karakteristik dari PLA secara umum yaitu tidak beracun, mudah dilelehkan, menyempit pada saat dipanaskan. Namun filament memiliki suhu transisi yang relatif rendah sehingga material ini tidak cocok digunakan apabila hasil cetakan

bersentuhan langsung dengan cairan panas atau suhu yang berlebihan.

Beberapa penelitian untuk analisa lebih lanjut sudah dilakukan. Diantaranya penelitian yang menggunakan perbandingan bahan filament ABS dan PLA dengan variasi suhu *nozzle* (Arafat et al., 2022). Hasil penelitian ini didapatkan bahwa filament ABS mempunyai hasil yang lebih kuat dari PLA, tetapi bahan PLA lebih lentur dibandingkan filament ABS pada saat diperlakukan suhu *nozzle* 244°C. Sementara itu penelitian dengan melakukan variasi ketebalan layer 0,2 mm dan 0,3 mm dengan melakukan uji tarik didapat hasil bahwa semakin tebal layer spesimen maka semakin kuat uji tarik yang dihasilkan dan ketebalan 0,3 mm lebih rapi dibandingkan dengan ketebalan 0,2 mm (Arafat et al., 2022)(Kholil et al., 2020). Pengaturan orientasi posisi objek pada proses *Rapid Prototyping* menggunakan *3D printer* terhadap waktu proses dan kualitas produk. Standar ASTM posisi yang digunakan secara horizontal karena waktu pengeprinan lebih cepat dari pada vertikal (Sobron Lubis & Sutanto, 2014).

Hasil *3D printing* sesungguhnya juga perlu dilakukan uji bending, untuk mengetahui kekuatan lengkung pada suatu bahan atau material saat hasilnya digunakan pada beberapa aplikasi yang melibatkan suatu tekanan dan besaran tekanan yang dipengaruhi oleh dimensi objek yang di uji (Belieu et al., 2016). Dari beberapa penelitian yang ada, untuk kombinasi parameter *print speed* dan

Cara mensitasi artikel ini:

Cahyono, G.R, Iberahim, J, Ansyah, P.R, Wibowo.S.H., (2022) Pengaruh *Print Speed* Extruder dan *Height Layer* terhadap Kekuatan Tekan dan Foto Makro pada Hasil *3D Printing*. *Buletin Profesi Insinyur* 5(1) 009-014

height layer untuk diuji bending, belum dilakukan telaah lebih lanjut. Kecepatan cetak (*print speed*) ini, dapat saja mempengaruhi object yang dicetak mesin *3D printing*. Pengamatan visualisasi patahan yang terjadi dari hasil pengujian perlu diamati. Dengan mengkombinasikan *print speed* dan *height layer* menggunakan bahan PLA, akan diteliti lebih lanjut pengaruhnya terhadap kekuatan tekannya dan visualisasi pada foto makro hasil pengujian tersebut.

Tinjauan Pustaka

Uji Bending

Alat uji bending adalah suatu alat pengujian kekuatan lengkung pada suatu bahan atau material. Alat uji bending mempunyai bagian utama yaitu rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Uji bending adalah sebuah proses pengujian material dengan uji tekan. Agar mendapatkan hasil data berupa kekuatan lengkung pada suatu material yang di uji. proses bending memiliki 2 macam pengujian 3 dan 4 Point bending. Tekanan adalah suatu perbandingan antara gaya terjadi dengan luasan benda yang diberikan gaya. Besaran tekanan dipengaruhi oleh dimensi objek yang di uji. Dimensi sendiri mempengaruhi tekanan semakin besar deimensi pada benda uji maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Alat penekanan juga mempengaruhi suatu besar tekanan yang terjadi (Gibson, 2016).

Persamaan yang digunakan pada kekuatan bending dan modulus elastisitas dengan standar objek ASTM D955. Kekuatan bending menggunakan Persamaan 1 (Gibson, 2016)

$$\sigma = \frac{3 FL}{2 bd^2} \quad (1)$$

Keterangan :

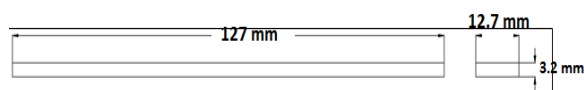
σ = Tegangan bending (MPa)
F = Beban (gaya) pada titik Patah (N)
L = Panjang Rentang dukungan / span (mm)
b = lebar objek (mm)
d = Ketebalan objek (mm)
Modulus elastisitas bending menggunakan Persamaan 2 (Gibson, 2016)

$$E_b = \frac{L^3 \cdot m}{4 bd^3} \rightarrow E_b = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bd^3} \times \frac{F}{\delta} \quad (2)$$

Keterangan :

E_b = Modulus elastisitas (MPa)
L = Panjang rentang dukungan/span (mm)
m = Slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)
b = lebar objek (mm)
d = Ketebalan objek (mm)
F = Beban (gaya) pada titik Patah (N)
 δ = Defleksi (mm)

Standar objek ASTM D955 merupakan standar uji penyusutan dan kekuatan tekan dengan berbentuk Bar yang memiliki ukuran L = 127 X P = 127 X t = 3,2 dalam satuan mm (Gambar 1). Standar ini biasa menguji tekan pada objek dengan 3 titik.



Gambar 1 Standar Objek ASTM D955

Patahan Multiple Area dan Patah Tunggal

Patahan terjadi dari sebuah spesimen yang menjadi 2 atau lebih potongan karena adanya tegangan statik dan pada perlakuan temperature yang relatif rendah. Tegangan yang diberikan bisa berupa tegangan tarik, tegangan geser, tegangan kompresi ataupun torsi. Dalam rekayasa material ada dua jenis patahan yang terjadi yaitu patah multiple area dan patah tunggal. Jenis patahan ini terjadi berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis sebelum terjadi patahan. Patahan tunggal terjadi karena matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan, sehingga patahan yang terjadi pada satu bidang. Patahan multiple area patahan tegak lurus yang biasanya terdapat kecacatan atau efek gripping area. Jenis patahan penampang struktur tunggal dan multiple area, jenis patahan multiple area umumnya spesimen yang memiliki jenis ini memiliki kekuatan tarik/bending yang tinggi (Diharjo Kuncoro, 2006).

Pada patahan terdapat *fiber pull out* pada material yang memiliki serat dalam struktur penyusunnya. *Fiber pull out* ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matriks karena, serat mengandung lapisan yang menghalangi ikatan *interface* antara serat dengan matriks. *fiber pull out* yang tidak terlalu nampak disebabkan ikatan interface antara serat dan matriks kurang kuat dan ada yang tidak menunjukkan terjadi *fiber pull out*, karena ikatan interface antara serat dan matriks sangat kuat (Pratama, 2016).

Metode

Adapun Prosedur penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi *print speed* dan *height layer* terhadap kekuatan tekan material PLA hasil objek *3D printing* dengan standar ASTM D995 ialah sebagai berikut:

1. Pembuatan desain menggunakan software Autodesk Inventor Profesional 2021 (Gambar 2).

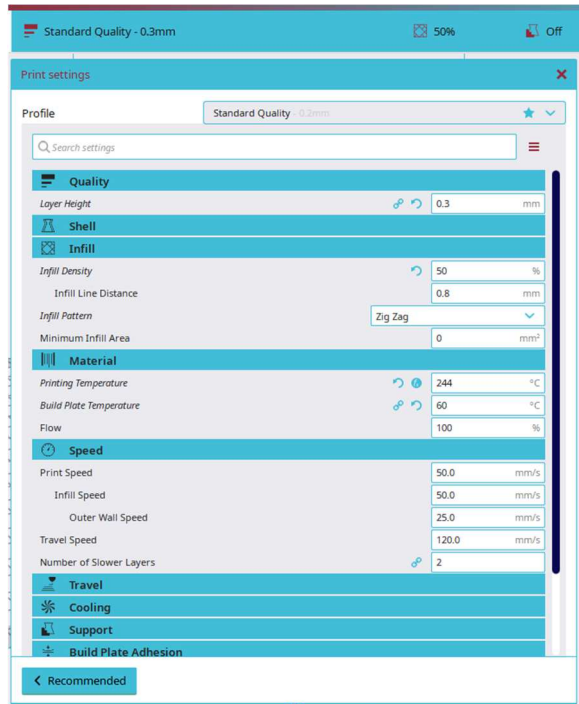


Gambar 2 Desain Standar Objek ASTM D955

2. Sepesimen dicetak menggunakan mesin *3D printing* ender
3. Penentuan parameter sebelum proses pencetakan, penentuan parameter mesin *3D printing* dilakukan pada software *Creality Slicer* yang diawali dengan memasukkan data design yang dibuat dengan format CAD (STL), kemudian penentuan parameter. Gambar 3 dan Tabel1 memperlihatkan penentuan parameter yang digunakan dalam mencetak objek.
4. *Save file* parameter dengan format .gcode, kemudian file dicopy ke dalam micro SD.

Tabel 1 Parameter Pembuatan Material spesimen ASTM D955

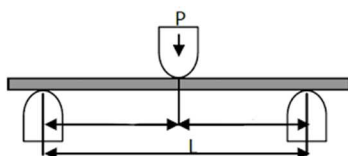
NO	Print Settings	Setting
1.	Material	PLA
2.	Nozzel size	0.4 mm
4.	Infill density (infil pattern : zig zag)	50 %
5.	Printing Temperature	244°C
6.	Build Plate Temperature	60°C
7.	Layer Height	0.3 mm 0.4 mm 0.5 mm
8.	Print speed	50 mm/s 40 mm/s 30 mm/s



Gambar 3 Desain Standar Objek ASTM D955

- Pasang material dan micro SD pada mesin 3D printing.
- Proses percetakan dengan diawali memilih file melalui screnn 3D printing, setelah dipilih mesin 3D printing beroperasi dan mulai mencetak.
- Pelepasan objek dari Bed Surface menggunakan kapi.

Pengujian tekan setiap sepsimen menggunakan alat bending TARNO GROCKI Type. UPH 100 KN. Titik tekan pada spesimen seperti pada Gambar 4.

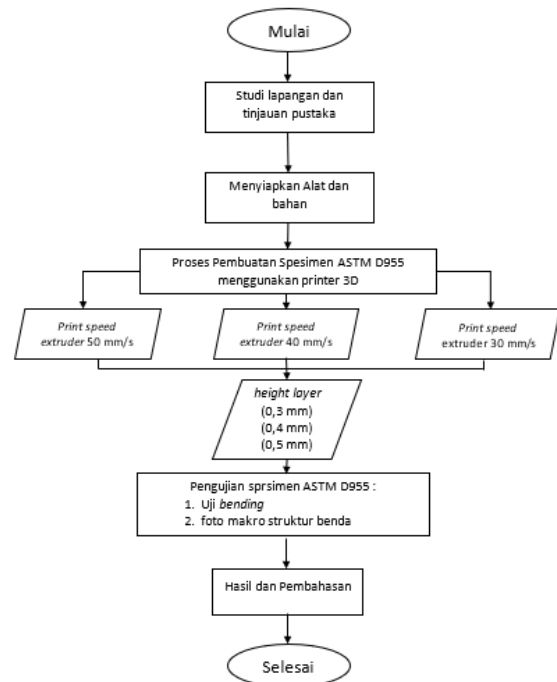


Gambar 4 Titik Pengujian Tekan pada material

Pada pengamatan foto makro dilakukan menggunakan kamera makro dengan device Poco X3 Pro untuk melihat struktur patahan pada specimen

yaitu pengamatan pada jenis patahan penampang struktur tunggal dan multiple area.

Penelitian ini dilakukan dengan alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir

Hasil Kerja

Hasil spesimen yang dicetak menggunakan mesin 3D printing seperti terlihat pada Gambar 6, dengan variabel print speed (50 mm/s, 40 mm/s dan 30 mm/s) dan height layer (0,3 mm, 0,4 mm dan 0,5 mm).



Gambar 6 Spesimen Penelitian

Pengujian Bending

Pengujian bending pada spesimen penelitian ini dilakukan di Politeknik Negeri Malang menggunakan alat bending TARNO GROCKI Type. UPH 100 kN. Titik tekan pada spesimen. berikut data pengujian kekerasan permukaan.

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat diketahui besarnya harga kekuatan tekan sangat dipengaruhi dari variabel yang digunakan, untuk mengetahui seberapa besar ketahanan tekan dan modulus elastisitas pada spesimen berbahan PLA sesuai standar ASTM D995. Sehingga dapat dibuat bubungan pengaruh print speed

dan *height layer* terhadap tegangan bending dan modulus elastisitas dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 7–10.

Tabel 2 Data Pengujian Bending

Print speed (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)	Layer Height (mm)	Berat /massa (g)	Tegangan patahan (N)	Kelenturan / defleksi (mm)	Waktu Cetak (m)
50	244	0,3	5,255	10,40 kg 101,99 N	8,38 mm	30
50	244	0,4	5,501	10,00 kg 98,07N	8,14 mm	26
50	244	0,5	5,779	11,53 Kg 113,07 N	8,78 mm	23
40	244	0,3	5,301	11,33 kg 111,11 N	8,44 mm	34
40	244	0,4	5,461	11,26 kg 110,42 N	8,39 mm	30
40	244	0,5	5,656	12,93 kg 126,79 N	9,25 mm	26
30	244	0,3	5,336	12,53 kg 122,88 N	8,86 mm	43
30	244	0,4	5,499	11,93 kg 116,99 N	8,77 mm	37
30	244	0,5	5,771	13,47 kg 132,10 N	9,28 mm	32

Tabel 3 Hasil Perhitungan Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas

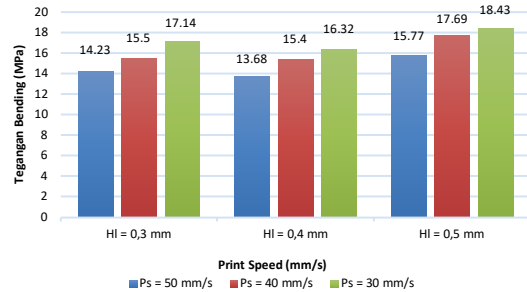
Spesimen	Print speed (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)	Layer Height (mm)	Tegangan Bending (σ)	Modulus elastisitas (Eb)
1	50	244	0.3	14,23 MPa	51,34 MPa
2	50	244	0.4	13,68 MPa	50,82 MPa
3	50	244	0.5	15,77 MPa	54,32 MPa
4	40	244	0.3	15,50 MPa	55,53 MPa
5	40	244	0.4	15,40 MPa	55,51 MPa
6	40	244	0.5	17,69 MPa	57,82 MPa
7	30	244	0.3	17,14 MPa	58,5 MPa
8	30	244	0.4	16,32 MPa	56,27 Mpa
9	30	244	0.5	18,43 MPa	60,56 MPa

1. Hubungan Pengaruh *Print speed* Terhadap Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas.

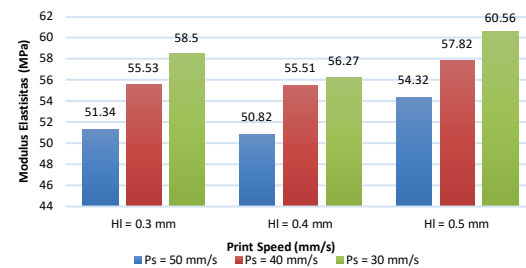
Berdasarkan Gambar 7 dan 8 dapat diketahui variasi *print speed* terhadap tegangan bending dan modulus elastisitas berpengaruh dalam harga kekuatan tekan. Data yang dihasilkan dengan kekuatan terbesar pada *print speed* 30 mm/s, sedangkan terendah pada *print speed* 50 mm/s. Hubungan pengaruh *print speed* terhadap tegangan bending berbanding lurus yaitu jika pengaturan *print speed* semakin lambat/kecil akan meningkatkan kekuatan material spesimen, sebaliknya jika pengaturan *print speed* semakin cepat maka kekuatan yang dihasilkan lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 9 dan 10 dapat diketahui variasi *height layer* terhadap tegangan bending dan modulus elastisitas berpengaruh dalam harga kekuatan tekan. Data yang dihasilkan dengan kekuatan terbesar pada *height layer* 0,5 mm, sedangkan kekuatan terendah pada *height layer* 0,4 mm. Pada *height layer*

0,3 mm memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan 0,4 mm, dikarenakan pada *height layer* 0,4 mm, jumlah layer yang dikerjakan sesuai standar tebal ASTM D955 hanya 8 kali, sedangkan pada *height layer* 0,3 mm mempunyai nilai standar 11 kali untuk mencapai tebal 3,2 mm.

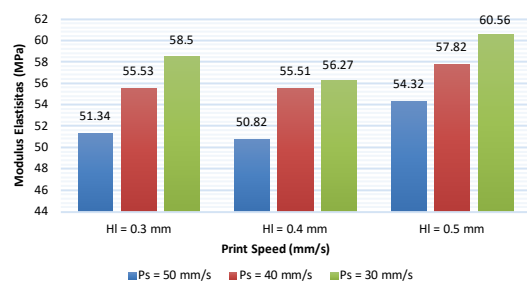


Gambar 7 Grafik Hubungan Pengaruh *Print speed* Terhadap Tegangan Bending

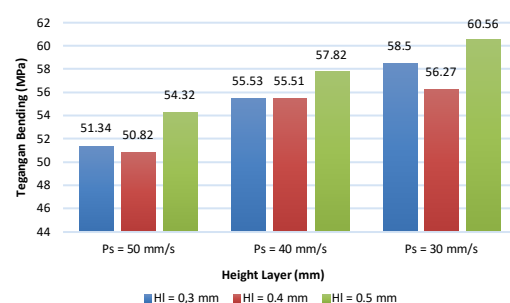


Gambar 8 Grafik Hubungan Pengaruh *Print speed* Terhadap Modulus elastisitas

2. Hubungan Pengaruh *Height Layer* terhadap Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas



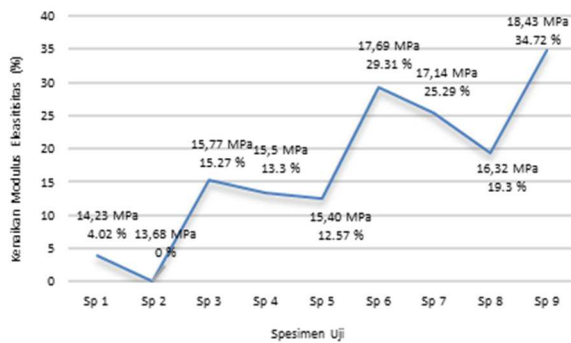
Gambar 9 Grafik Hubungan Pengaruh *Height layer* Terhadap Tegangan Bending



Gambar 10 Grafik Hubungan Pengaruh *Height layer* Terhadap Modulus elastisitas

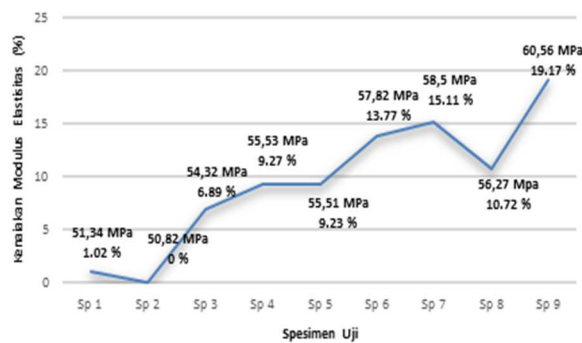
3. Persentase Kenaikan Tegangan Bending dan Kenaikan Modulus Elastisitas

Jika dimasukkan kedalam presentase kekuatan, maka persentase kenaikan tegangan bending yang didapat terlihat pada Gambar 11. Dari Gambar 11 tersebut, harga tegangan bending terkecil berada pada Sp2 dengan variasi *print speed* 50 mm/s dan *height layer* 0.4 mm adalah 13,68 MPa, sedangkan harga tegangan bending terbesar berada pada Sp 9 dengan variasi *print speed* 30 mm/s dan *height layer* 0.5 mm adalah 18,43 MPa.



Gambar 11 Persentase Kenaikan Tegangan Bending pada Masing-Masing Spesimen (%)

Jika dimasukkan kedalam presentase modulus elastisitas, maka presentase kenaikan modulus elastisitas yang didapat terlihat pada Gambar 12. Dari Gambar 12 tersebut harga modulus elastisitas terkecil berada pada Sp 2 dengan variasi *print speed* 50 mm/s dan *height layer* 0.4 mm adalah 50,82 MPa, sedangkan harga modulus elastisitas terbesar berada pada Sp 9 dengan variasi *print speed* 30 mm/s dan *height layer* 0.5 mm adalah 60,56 MPa.



mm adalah 60,56 MPa.

Gambar 12 Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas pada Masing-Masing Spesimen (%)

Pengamatan Foto Makro

Foto makro dilakukan untuk melihat hasil patahan pada Spesimen. Data pengamatan dirangkup pada Tabel 4. Dari Tabel 4, dapat dilihat struktur patahan dan lapisan layer yang terjadi pada material PLA standar ASTM D955 saat diuji Bending. Struktur patahan pada *height layer* 0,3 mm tidak rapi dibandingkan *height layer* 0,4 mm dan 0,5 mm. Hasil dari struktur yang dibuat 3D print menentukan kekuatan bending dan juga tebal lapisan layer mempengaruhi kekuatan material.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Tegangan Bending dan Modulus Elastisitas

<i>Print speed</i> 50 mm/s	<i>Print speed</i> 40 mm/s	<i>Print speed</i> 30 mm/s
<i>Height layer</i> 0,3 mm		
Spesimen 1	Spesimen 4	Spesimen 7
<i>Height layer</i> 0,4 mm		
Spesimen 2	Spesimen 5	Spesimen 8
<i>Height layer</i> 0,5 mm		
Spesimen 3	Spesimen 6	Spesimen 9

Diketahui bahwa kekuatan paling rendah pada *height layer* 0,4 mm, dikarenakan serat perlayernya 0,4 mm dengan proses pengerjaan 8 kali untuk mencapai tebal 3,2 mm. Saat diuji bending spesimen mengalami defleksi yang terjadi patahan penampang multiple area dan tanpa mengalami *fiber pull out* kemudian patah pada titik maximum lentur dengan kepresisian tebal yang baik. Pada *height layer* 0,3 lebih kuat karena proses pengerjaan 11 kali untuk mencapai tebal 3,2 mm. Saat diuji bending spesimen mengalami defleksi yang terjadi patahan penampang tunggal dan mengalami *fiber pull out* pada titik maximum lentur terjadi patah dengan penambahan berat dan tebal. kekuatan paling tinggi pada *height layer* 0,5 mm, dikarenakan serat perlayernya 0,5 mm proses pengerjaan 7 kali untuk mencapai tebal 3,2 mm. Saat diuji bending spesimen mengalami defleksi yang terjadi patahan penampang multiple area dan mengalami *fiber pull out* kemudian patah pada titik maximum lentur dengan penambahan berat dan tebal.

Karakteristik dari penampang patahan dalam struktur ada dua jenis yaitu patahan tunggal dan multiple area. Patahan tunggal terjadi karena matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan, sehingga patahan yang terjadi pada satu bidang. Patahan multiple, patahan tegak lurus yang biasanya terdapat kecacatan atau efek gripping area. Dari dua jenis penampang patahan *height layer* 0,3 mm menunjukkan penampang patahan jenis tunggal yang terdapat *fiber pull out*. Penampang patahan *height layer* 0,4 mm menunjukkan penampang patahan multiple yang tidak terdapat *fiber pull out*. Penampang patahan *height layer* 0,5 mm menunjukkan penampang patahan multiple yang terdapat *fiber pull out*. *fiber pull out* ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matriks karena, serat mengandung lapisan yang menghalangi

ikatan interface antara serat dengan matriks. Hubungan jenis patahan terhadap kekuatan bending terdapat pada jenis patahan yang dihasilkan. Terdapat 2 Jenis patahan tunggal atau multiple area, jenis patahan multiple area umumnya spesimen yang memiliki jenis ini memiliki kekuatan tarik/bending yang tinggi (Praptowidodo, 2020).

Berdasarkan hasil presentase yang dihasilkan diketahui bahwa kenaikan modulus elastisitas berbanding lurus secara linear, jadi dari beban dan defleksi yang dihasilkan berbanding lurus, jika beban diberikan hingga titik patah material disitulah tingkat kelenturan material dalam bentuk mm, semakin tinggi beban maka semakin tinggi tingkat kelenturannya. Dari standar mechanical properties dari material PLA unreinforced berdasarkan MatWeb untuk nilai flexural strength yaitu 19,0–54,0 MPa berdasarkan tabel 6 hasil pengujian spesimen didapat nilai flexural strength 50,34–60,56 MPa. Jadi data hasil pengujian bending berada didalam nilai standar mechanical properties dan lebih dari standar material PLA.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian, *Print speed* dan *height layer* berpengaruh pada nilai kekuatan tekan pada material PLA dengan standar ASTM D955. Semakin tinggi *print speed* maka nilai kekuatan tekan semakin rendah dan sementara itu semakin tinggi parameter *height layer* maka nilai tekan semakin meningkat demikian sebaliknya. Parameter *print speed* dan *height layer* berpengaruh terhadap struktur makro pada patahan material PLA. *Print speed* yang rendah memiliki struktur makro patahan yang rapi dan berserat. *Height layer* yang rendah menghasilkan struktur makro patahan tunggal dan *height layer* yang tinggi menghasilkan struktur makro patahan *multiple area*.

Referensi

Arafat, A., Nurdin, H., Mesin, J. T., Teknik, F., Padang, U. N., Tawar, K. A., & Height, I. (2022). *Pengaruh Nozzle Temperature Dan Layer Height Hasil 3D printing*

Terhadap Uji Bending Material Abs 3D printing on Bending Test of Abs Materials. 4(1), 144–150.

- Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - polyester. *Lontar*, 03(02), 11–20.
- Diharjo Kuncoro. (2006). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 8–13.
- Gibson, R. F. (2016). Principles of Composite Material Mechanics. In *Principles of Composite Material Mechanics*. <https://doi.org/10.1201/b19626>
- Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. P., & Setyoadi, Y. (2019). Pengaruh Temperatur *Nozzle* dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(1 SE-Research Articles), 1–8. <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA/article/view/1242>
- Kholil, A., Afri, F., & Syaefudin, E. A. (2020). *Pengaruh Layer Thickness Dan Orientasi 3D printing Terhadap Uji Tarik Material Abs*. 1, 277–285.
- Praptowidodo, V. S. (2020). Plastik Biodegradable Poli Asam Laktat : Inovasi Polimerisasi. *Simposium Nasional Polimer V*, 1, 7–8.
- Pratama, A. (2016). *Analisis Kegagalan Water Injection Pada Vertical Roller Mill Di Finish Mill Pt. Holcim Tuban Plant Indonesia*. ITS.
- Seprianto, D., & Wilza, R. (2017). Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek *3D printing* Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gajah Mada, November*, 37–49. http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_206157979831.pdf
- Sobron Lubis, & Sutanto, D. (2014). Pengaturan Orientasi Posisi Objek pada Proses *Rapid Prototyping* Menggunakan 3D Printer Terhadap Waktu Proses dan Kualitas Produk. *Jurnal Teknik Mesin*, 15(1), 27–34. <https://doi.org/10.9744/jtm.15.1.27-34>.