

KOMPOSIT POROUS MATERIAL BERBAHAN POLYLACTIC ACID (PLA)

Tegar Aji Saputro, Syahbuddin

Universitas Pancasila Jakarta, Indonesia

Email: tegarajisaputro15@gmail.com, sybuddin@yahoo.com

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Diterima 25 September 2021 Direvisi 05 Oktober 2021 Disetujui 15 Oktober 2021	3D Printing ialah evolusi dari teknologi cetak, yaitu sanggup menciptakan ataupun memproduksi serta merancang struktur yang mutahir dalam satu kesatuan. 3D Printing merupakan salah satu proses <i>fabrikasi Fused Deposition Modelling (FDM)</i> yaitu teknologi <i>Additive Manufacturing (AM)</i> yang sistem kerjanya, pembentukan benda dengan akumulasi bahan lapis demi lapis. Dari latar belakang masalah diatas, identifikasi permasalahan yang hendak dijadikan bahan riset merupakan dilakukannya pengujian <i>filament</i> 3D printer dengan material <i>Polylactic Acid (PLA)</i> , khususnya dengan variasi kecepatan cetak poros material. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui hasil uji yang dilakukan pada <i>filament</i> jenis <i>Polylactic Acid (PLA)</i> dengan mengetahui kekuatan dan pengaruh yang akan diuji dengan membuat spesimen uji terhadap kekuatan uji tarik, struktur makro serta uji takik (<i>impact</i>).
Kata Kunci: <i>3d-Printer</i> ; komposit; kekuatan; struktur makro; <i>PLA</i>	ABSTRACT <i>3D Printing is an evolution of printing technology, which is capable of producing or producing and designing sophisticated structures in one unit. 3D Printing is one of the Fused Deposition Modeling (FDM) fabrication processes, namely Additive Manufacturing (AM) technology, which works by forming objects with the addition of layer by layer material. From the background of the problem above, the identification of the problem that will be used as research material is the testing of 3D printer filament with Polylactic Acid (PLA) material, especially with variations in the speed of material shaft print. This study aims to determine the results of tests carried out on Polylactic Acid (PLA) filaments by knowing the strength and effect to be tested by making a test specimen on the strength of the tensile test, macro structure and notch test (impact).</i>
Keywords: <i>3d-printer</i> ; strength; macro structure; impact; <i>PLA</i>	

Pendahuluan

Zaman sekarang, Banyak industri manufaktur sudah menggunakan proses *rapid prototyping* untuk membuat suatu *prototype*. Industri manufaktur menggunakan model CAD 3D tersebut lalu dilanjutkan dengan kedalam gambar kerja 2D yang berisi tentang informasi-informasi dari produk tersebut ke dalam proyeksi *orthogonal* dan *isometri* lalu memproduksi dengan teknik permesinan pada umumnya. Terdapatnya perkembangan teknologi yang terus menjadi pesat dalam pembuatannya suatu *prototype* tidak terdapatnya memakan banyak waktu produksi, serta bisa membuat *prototype* dalam waktu singkat dan biaya yang rendah dapat terwujud dengan memakai mesin *rapid prototyping* (Jeffrey et al., 2016).

Proses pencetakan benda padat dengan mesin *3D Printer* menggunakan *command* (perintah) berupa file program atau dikenal dengan namanya *Additive Manufacturing (AM)* (Ramadholni, 2010). Terdapat berbagai jenis teknologi AM yang ada di pasaran, yaitu seperti *Fused Deposition Modeling (FDM)*, *Direct Metal Deposition (DMD)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Inkjet Modeling (IJM)*, *Digital Light Processing (DLP)*, dan *Stereolithography (SLA)* (Mahamood et al., 2016). *Additive manufacturing* merupakan salah satu metode dalam proses teknik *rapid prototyping*, teknologi ini merupakan teknologi yang paling mudah diaplikasikan ke dalam *additive manufacturing* (Jeffrey et al., 2016).

FDM adalah salah satu teknik pemodelan laminasi yang umum digunakan dalam *prototyping* serta manufaktur. Sistem *FDM* bekerja dengan filamen diumpankan ke nosel, yang memanaskan dan melelehkan filamen. *Nozzle* mengalir ke meja (*bed*) sesuai dengan bagian geometris yang dimasukkan ke dalam program dalam bentuk *Solid Works (SW)*, plastik / filamen diekstrusi halus berlapis-lapis, dan resin / filamen akan mengeras setelah dikeluarkan dari nosel (Jeffrey et al., 2016).

Metode Penelitian

1. Tempat

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2021 sampai dengan bulan Agustus 2021. Tempat penelitian ini bertempat pada Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila Jakarta.

2. Metode Penelitian

a) Alat Uji Impak

Impact Testing Machine (metode charpy) merk ZONHOW XJL-50 made in China.

b) Alat Uji Tarik

Tensile Strength Machine merk Tokyo made in Japan.

c) Alat Uji Makro

Uji Mikro menggunakan kamera Handphone (Hp) merk ASUS ROG 3.

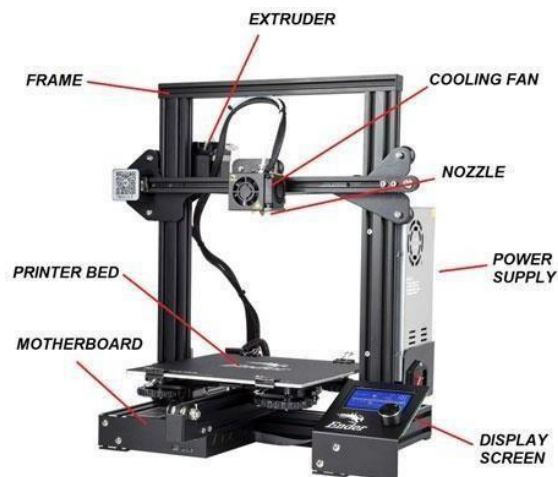
3. Alat dan Bahan

a) Alat :

1. Mesin 3D Printer Anet ET4

Printer 3D adalah printer yang dapat melihat, menangkap, dan mencetak objek 3D dengan volume. Model 3D adalah printer 3D Anet ET4, yaitu jenis printer 3D yang dibuat dan digunakan lapis demi lapis dalam proses pembuatan objek fisik 3D dalam file digital yang digunakan. Istilah printer 3D awalnya mengacu pada proses penerapan perekat ke *bed* dengan kepala *printer inkjet* berlapis (Putra & Sari, 2018). Baru-baru ini, istilah tersebut telah digunakan dalam dialek populer untuk mencakup berbagai teknologi manufaktur *aditif*. Standar teknis Amerika Serikat dan dunia menggunakan istilah resmi manufaktur aditif untuk mengungkapkan artinya.

Membuat model 3D dapat memakan waktu dari beberapa jam hingga beberapa hari, tergantung pada metode yang digunakan serta ukuran dan kerumitan model. Sistem aditif biasanya dapat mengurangi waktu ini menjadi beberapa jam, tetapi, itu tergantung pada jenis mesin yang digunakan dan ukuran serta jumlah model yang diproduksi pada waktu yang sama. Dibandingkan dengan menggunakan mesin cetak injeksi untuk produksi massal, printer 3D memungkinkan desainer dan tim pengembangan konsep untuk dengan mudah menggunakan printer 3D sebagai prototipe komponen dan model konsep dan juga membantu menggunakan meminimalisir pemborosan desain produk sebelum di produksi massal jumlah kesalahan.



Gambar 1
Printer 3D Anet ET4

2. Laptop

Adapun spesifikasi laptop yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Processor* : Intel® Core™ i7-7700HQ CPU 2.80GHz
2. RAM : 8 GB
3. Sistem Operasi : Windows 10 Home Single Language 64-bit (10.0, Build 19042)
4. HDD : 1 TB

5. Produk : MSI GL62M 7RDX



Gambar 2
Laptop

Hasil dan Pembahasan

A. Proses Pembuatan Komposit Porous Material Berbahan Polylactide Acid (PLA) Dan Analisa Hasil Uji

Bab ini akan dijelaskan mengenai pembahasan dari rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Dilakukan tahap pengumpulan data yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan kombinasi parameter *Fused Deposition Modeling* yang tepat untuk menghasilkan *filament* dan prototipe/spesiment uji dengan material gabungan *Polylactid Acid (PLA)* (Satankar, R, 2017).

1. Gambaran Umum

Bahan PLA sendiri keras, kuat dan *biodegradable* tetapi juga rapuh karena didasarkan pada pati tanaman daripada minyak mentah. *PLA* adalah termoplastik *biodegradable* yang didapat dari sumber terbarukan. Misalnya seperti tepung maizena, tepung tapioka. Jenis ini menjadikan *PLA* solusi paling ramah lingkungan dalam domain pencetakan 3D, berbeda dengan berbagai plastik berbasis petrokimia seperti *ABS* atau *PVA* (Kalpakjian & Schmid, 2003).

2. Parameter *Fused Deposition Modeling*

Dalam menentukan produk yang akan dibuat dengan teknologi *Fused Deposition Modeling* pastinya dipengaruhi oleh beberapa parameter. Pengertian dari parameter itu sendiri merupakan suatu kondisi atau nilai yang dijadikan sebagai tolak ukur terhadap kondisi atau nilai lainnya. Pengertian lain, parameter yang tercapai atau terwujudkan bisa mengindikasikan ketercapaian tujuan. Semua parameter yang mempengaruhi pembuatann produk dapat diatur dalam *software* yang terdapat pada *3D printing* (Progress, 2021).

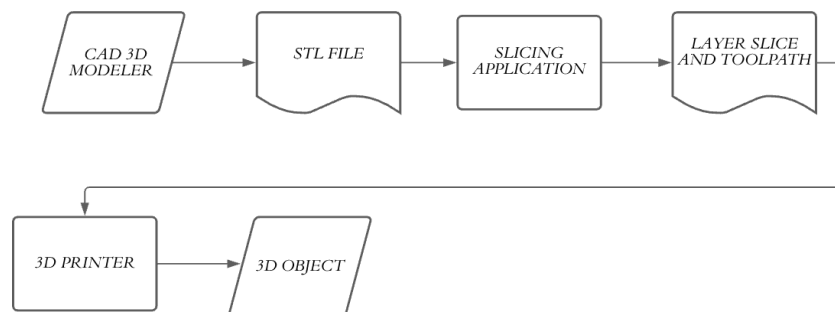
Hanya beberapa parameter yang terdapat pada settingan mesin yang dapat diatur dan berpengaruh terhadap parameter lain. Parameter tersebut antara lain :

Tabel 1
Parameter yang Terdapat di Mesin dan Pengaruh Terhadap Parameter Umum

No. Parameter Mesin	Berpengaruh pada
1. <i>Nozzle temperature</i>	<i>lacking, Layer Height</i>
2. <i>Layer Height</i>	<i>ayer Height. Raster widht, raster to raster gap, Necking, cusp height</i>
3. <i>Shell Number</i>	<i>shell</i>
4. <i>Infill Rate dan Infill type</i>	<i>infill</i>
5. <i>Nozzle Speed</i>	<i>lacking, speed of deposition</i>

3. Proses Produksi pada 3D Printing

Proses 3D printing dalam pembuatan produk kurang lebih memiliki prinsip kerja yang sama dengan printer pada umumnya. Dapat dilihat pada Gambar 1. yang menjelaskan mengenai proses cetak 3D printer (Letcher & Waytashek, 2014). Hal yang pertama dilakukan adalah desain objek konversikan ke berbagai format file yang terkait dengan aplikasi yang digunakan. Desain awal objek menggunakan aplikasi *Solidwork* dengan format gambar (*SLDPRT*), atau langsung diselesaikan di software *Solid Work* atau *AutoCAD* atau aplikasi permodelan terkait lainnya (desain terlampir) (Ramadhani, 2019).



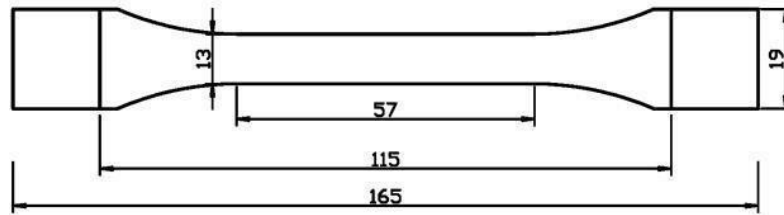
Gambar 3
Diagram Alir Proses 3D Printing

4. Proses Desain Spesimen Uji

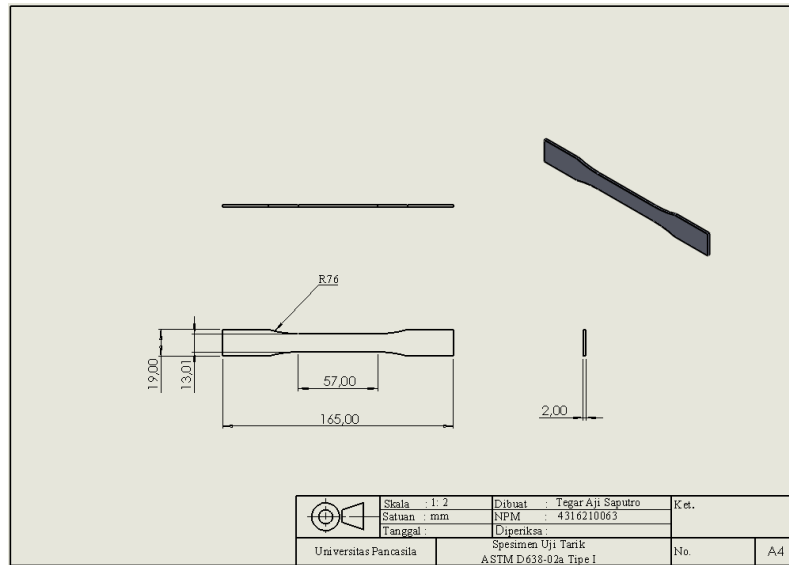
1. *Strength Kekuatan Tarik Komposit Porous Materials*

Pengumpulan data diawali dengan pembuatan desain 3D untuk spesimen pada *Software SolidWork*, Uji tarik dilakukan untuk melengkapi data desain dasar untuk kekuatan material dari informasi digunakan untuk mendukung spesifikasi. Saat uji tarik, bahan/ sampel dikenai gaya tarik aksial, yang kemudian terus ditingkatkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Contoh uji tarik. Pada saat yang sama, amati pertumbuhan yang diterima materi. Hitung tegangan *longitudinal* rata-rata dari uji tarik dibagi menjadi luas penampang awal pada bahan yang akan diuji.

Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik terbuat berlandaskan standar ASTM D638-02a tipe 1, yang bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4
Standar ASTM D638-02a Tipe 1

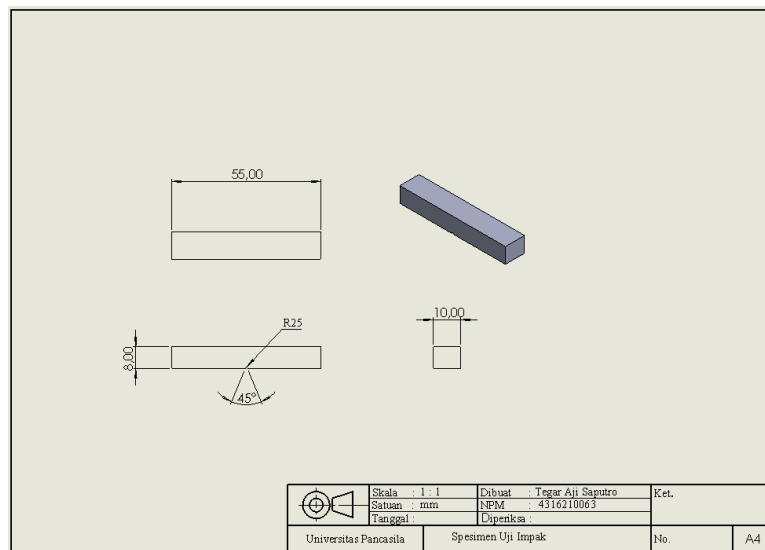


Gambar 5
Hasil Gambar Spesimen Uji Tarik

2. Komposit *Porous Materials*

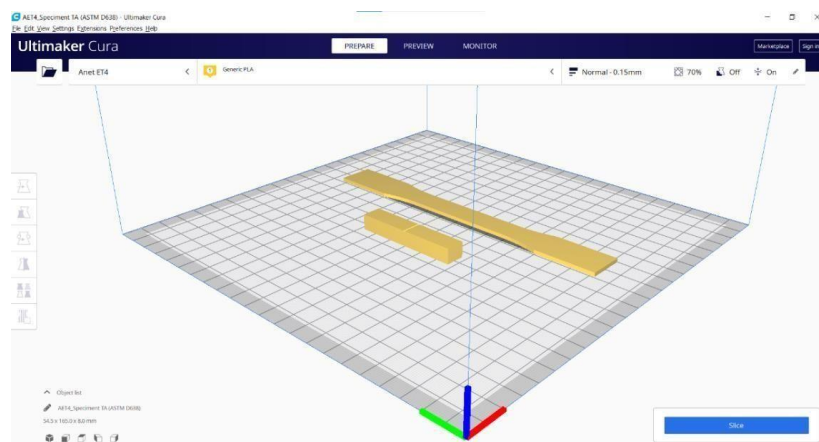
Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, dan keuletan bahan. Karena itu, uji impak banyak digunakan dalam bidang pengujian sifat mekanis bahan. Pengujian impak adalah suatu usaha mensimulasikan kondisi operasi material yang umum pada alat transportasi ataupun konstruksi, Pembebanan material tersebut tidak selalu terjadi secara bertahap, tetapi tiba-tiba.

Bentuk serta dimensi dari spesimen uji impak, lihat Gambar 6.



Gambar 6
Hasil Gambar Spesimen Uji Impak

Selama proses desain, masukkan desain gambar sampel uji tarik dan impak ke dalam aplikasi *Ultimaker Cura* (4.8.0) untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan, kemudian simpan di ubah ke format *G-code* yang dapat dimasukkan dan dicetak pada printer 3D (Triyono et al., 2020).



Gambar 7
Spesimen Uji Setelah Slicing

Proses pencetakan specimen dilakukan dengan mesin Anet ET4. Sebelum dilakukan pencetakan specimen pastikan perlengkapan pendukung telah sesuai dengan SOP (Pramudyo & Rachmansyah, 2014). Seperti *bed tape* (pelapis area cetak) agar specimen melekat sempurna di area kerja, melakukan kalibrasi posisi area kerja yang dapat diatur di *interface* mesin Anet ET4 dan mesin dalam keadaan tertutup sampai proses percetakan selesai untuk menjaga suhu kerja tetap stabil. Berikut merupakan gambar proses pencetakan specimen:



Gambar 8
Proses Pencetakan



Gambar 9
Selesai Pencetakan

5. Proses Uji Spesimen

1. Tensile Strength

Pengujian kekuatan tarik spesimen dilakukan menggunakan alat uji tarik *Tokyo Testing Machine* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



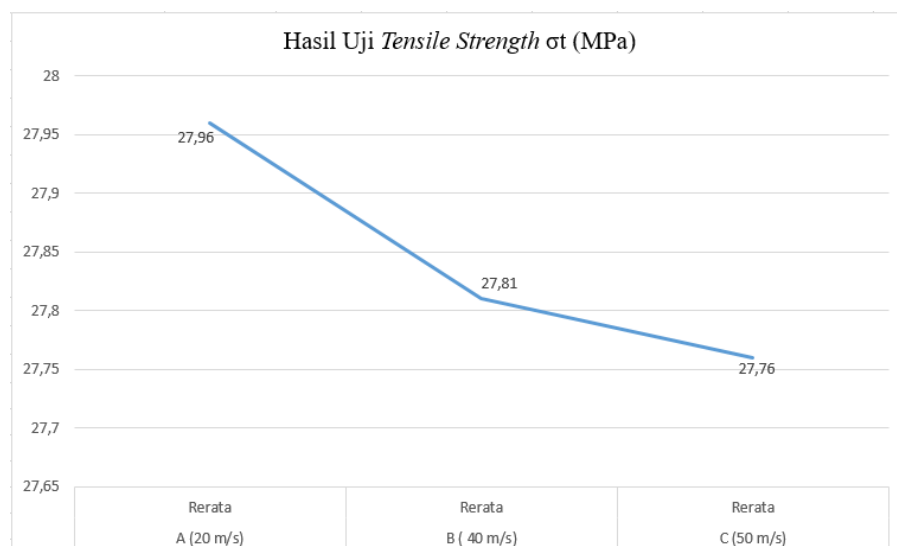
Gambar 10
Alat Uji Tarik *Tokyo Testing Machine*

Lihat pada Tabel 2 Hasil uji tarik didapatkan nilai σ_t pada masing-masing sampel, dimana kecepatan pencetakan diubah. Hasil perbandingan kekuatan tarik (σ) (Handoyo, 2013).

Tabel 2
Hasil Pengujian Tarik

	Kode Spesimen	σ_t (MPa)
A	Sp 1	27,63
	Sp 2	29,36
	Sp 3	26,30
	Rerata	27,76
B	Sp 1	28,51
	Sp 2	27,82
	Sp 3	27,09
	Rerata	27,81
C	Sp 1	27,58
	Sp 2	27,82
	Sp 3	27,09
	Rerata	27,96

Nilai *mean* (rerata) tertinggi diperoleh pada rerata sampel A yaitu 27,96 MPa, dan nilai sampel komposisi B sebesar 27,81 MPa. Sampel komposisi C nilai kuat tarik rata-rata sebesar 27,76 Mpa (Anggoro et al., 2021). Karena dari itu, dapat dilihat bahwa kecepatan *print speed* mempengaruhi kekuatan tarik sampel, sampel A memiliki kekuatan tarik tertinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah.



Gambar 11
Hasil Uji Tensile Strength

Berdasarkan data pada Gambar 11 diatas, dapat dilihat menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda. Bahwa semakin tinggi kecepatan (*print speed*) yang dibentuk menjadi spesimen kekuatan yang diuji pada uji tarik menjadi rendah, dan semua lapisan mungkin tidak rata. Disisi lain, apabila kecepatan yang dibentuk rendah, kekuatan yang dihasilkan juga saat di uji akan menjadi tinggi.

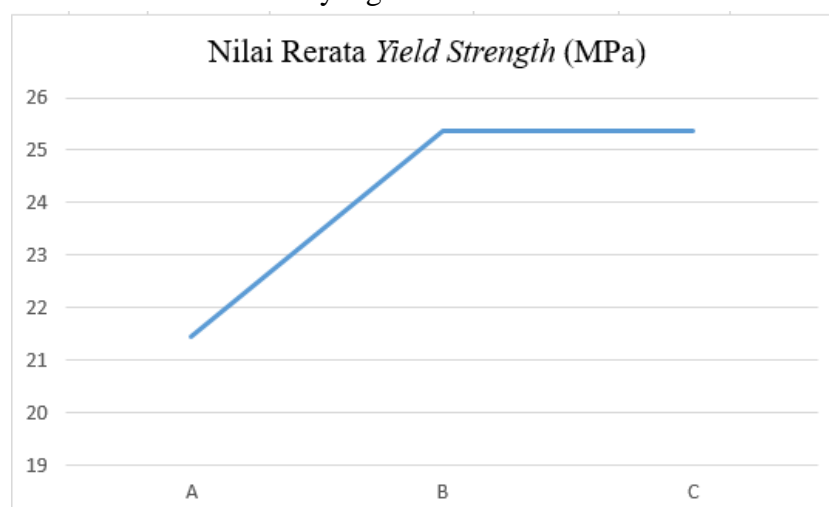
2. *Yield Strength*

Lihat Tabel 4 kekuatan luluh rata-rata dari uji tarik. Hasil perbandingan variasi rata-rata sampel menunjukkan bahwa nilai batas elastis rata-rata (σ_{ys}) sampel A paling tinggi sebesar 25,38 MPa, dan nilai sampel B sebesar 25,37 MPa, dan nilai sample C nilai rerata *yield strength* (σ_{ys}) sebesar 21,46 MPa sehingga nilai rata-rata ketiga sampel dipengaruhi oleh *print speed*-nya.

Tabel 4
Rerata *Yield Strength* dari
Pengujian Tarik

Kode spesimen	<i>Yield Strength</i> (MPa)
A	25,38
B	25,37
C	21,46

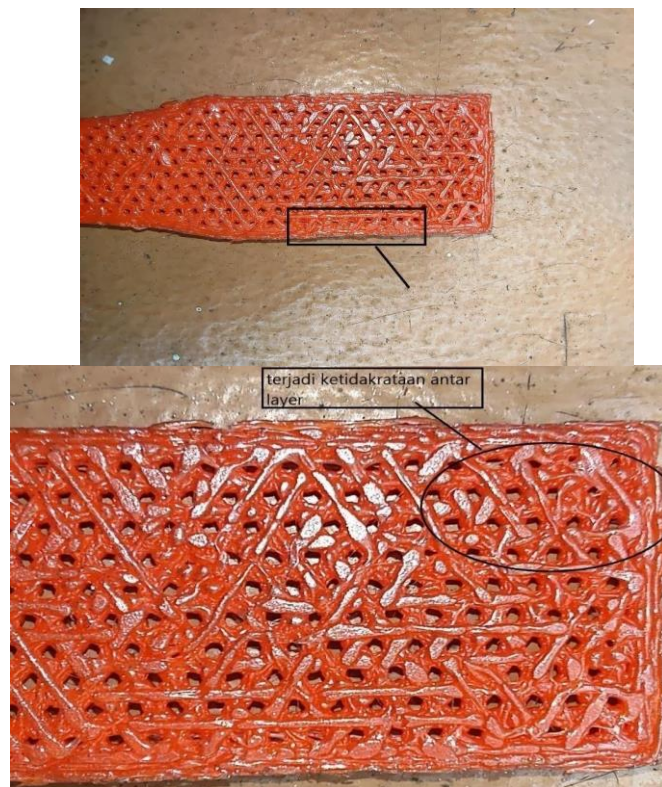
Pada Gambar 4 Kekuatan luluh rata-rata sampel dapat dianggap sebagai peningkatan nilai kekuatan luluh, sesuai dengan peeningkatan kecepatan pencetakan. Sampel A dengan kecepatan 20 m/s memiliki nilai *yield strength* yang paling rendah. Sampel B dengan kecepatan cetak 40 m/s memiliki nilai lebih rendah, sedangkan sampel C dengan kecepatan cetak 50 m/s memiliki nilai tertinggi. Semua sampel memiliki suhu 200°C, yang merupakan pengaturan suhu dari ekstruder yang sama.



Gambar 12
Nilai Rerata *Yield Strength*

3. Makro Komposit Porous Materials

Pengamatan Foto makro dilakukan pada bentuk pola lapis demi lapis (*layer by layer*) dalam bentuk gambar, pengujian struktur makro diambil menggunakan *handphone ASUS ROG3* dengan pembesaran 50X. Berikut ini adalah gambar makro, seperti yang ditunjukkan pada gambar:



Gambar 13
Foto Makro Suhu *Nozzle* 200°C Pembesar 50X

Hasil fotografi makro dapat disimpulkan bahwa *filament* pemanas yang terbentuk pada sampel tidak sepenuhnya rata, dan terkadang satu atau lebih lapisan tidak rata, seperti terlihat pada Gambar 13 Ini karena suhu yang diberikan terlalu tinggi, dan terkadang mungkin karena nosel mungkin bergerak terlalu cepat atau jarak antara *nozzle* dan *bottom plate* terlalu dekat. Jika suhu *nozzle* terlalu tinggi, *filament* juga akan meleleh. Saat *filament* meleleh. Saat mencetak sampel tidak rata karena akan menyebar ke segala arah. Jika *nozzle bergerak* terlalu cepat, proses pencetakan akan lebih terburu-buru dan hasilnya tidak akan sempurna. Jika jarak antara *nozzle* dan *bottom plate* terlalu dekat, maka pada saat *filament* dicetak maka seakan-akan *filament* tersebut akan tertekan, dan efek penectakan tidak akan memuaskan.

4. Impact Test

Spesimen uji memiliki dimensi ukuran 8 x 10 x 55 mm (Tinggi x Lebar x Panjang), dengan posisi takik di tengah, kedalaman takik 2 mm dari permukaan

benda uji, dan sudut takik 45° . Takik berbentuk V. Horizontal tidak tetap duduk pada alas di posisinya. Pendulum berayun di belakang takik dengan pembebanan dilakukan dari arah belakang takik.

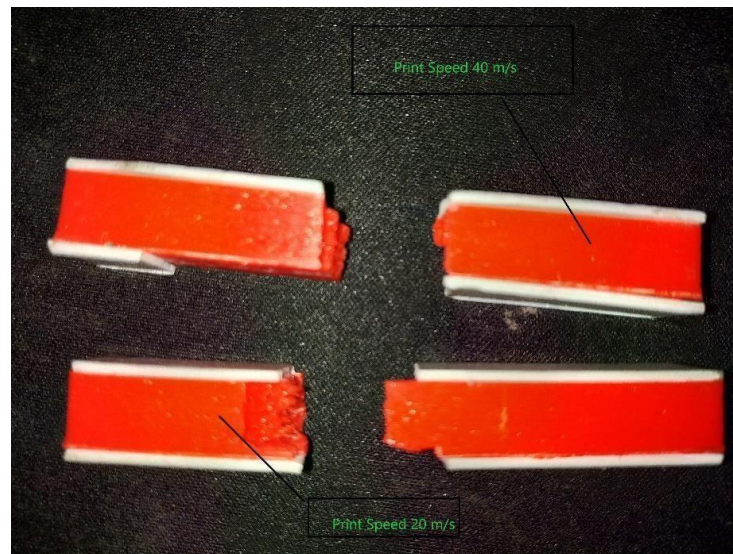
Pengujian impak spesimen dilakukan menggunakan alat uji impak *Universal Impact Tester* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14
Alat Uji Impak *Universal Impact Tester*



Gambar 15
Spesimen Ditempatkan Pada Alat Uji



Gambar 16
Contoh Hasil (*print speed* 20 m/s dan 40 m/s)
Uji Impak Charpy

Tabel 4
Hasil Perhitungan Spesimen (Tebal *Layer* 0,1 mm)

No. spesimen	Kode	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	Tebal <i>Layer</i> (mm)	Tinggi		EI (Joule)	HI (Joule)	Jenis Patahan
				Tinggi Awal (h) (derajat)	Tinggi Akhir(h') (derajat)			
1	A	200	0,1	20	18	49,216	0,491	Patah
2	B	200	0,1	20	18	49,216	0,491	Patah
3	C	200	0,1	20	16	98,431	0,981	Patah

Pengaturan *Layer Thickness* 0,1 mm dan juga *print speed* pada saat *slicing* memberikan pengaruh pada energi yang diserap saat di uji impak terhadap hasil *printing*. Spesimen dengan *Layer thickness* 0,1 mm memiliki nilai akhir (Joule) 0,491 (20 m/s) , 0,491 (40 m/s) dan juga 0,981 (50 m/s). *Layer thickness* 0,1 mm memberikan efek lebih kecil dimana energi diserap saat di uji pukul/impak.

Tabel 5
Hasil Perhitungan Spesimen (Tebal *Layer* 0,2 mm)

No. spesimen	Kode	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	Tebal <i>Layer</i> (mm)	Tinggi		EI (Joule)	HI (Joule)	Jenis Patahan
				Tinggi Awal (h) (derajat)	Tinggi Akhir(h') (derajat)			
1	A	200	0,2	20	16	98,431	0,981	Patah
2	B	200	0,2	18	14	98,431	0,981	Patah
3	C	200	0,2	16	14	49,216	0,491	Patah

Analisis uji impak sampel plastic dengan printer 3D adalah sebagai berikut.

- a) Tergantung pada jenis ketebalan lapisan, perlu untuk membuat sedikit energi sehingga energi yang diserap dapat dibaca dalam uji *Charpy*, sehingga hipotesis sementara dapat diperoleh jika irisan/*slicing* lebih tipis pada spesimen plastik di uji impact.

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian pembuatan *porous material* berbahan *polylactic acid (PLA)* dengan variasi kecepatan pencetakan adalah sebagai berikut : 1) Pola poros yang dicetak dengan kecepatan rendah lebih tersusun *rapid* dan pola poros yang dicetak dengan kecepatan tinggi menyebabkan banyak cacat. 2) Komposit *porous material PLA* yang dicetak dengan kecepatan rendah (20m/s) mempunyai nilai kekuatan tarik paling tinggi dibanding dengan komposit *porous material* yang dicetak dengan kecepatan tinggi (40 m/s dan 50 m/s). 3) Sebaliknya kekuatan luluh dari komposit *porous material PLA* yang dicetak dengan kecepatan rendah (20 m/s) sangat rendah dibandingkan dengan komposit *porous material* yang dicetak dengan kecepatan tinggi. 4) Ketahanan impact komposit *porous material* yang dicetak dengan kecepatan rendah lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *porous material* yang dicetak dengan kecepatan tinggi.

BIBLIOGRAFI

- Anggoro, N. T., Nugroho, E., & Asroni, A. (2021). Analisa alat uji tarik buatan lokal dengan variasi bahan teknik terhadap kekuatan hasil pengujian. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2 (1), 47–51. [Google Scholar](#)
- Handoyo, Y. (2013). Perancangan alat uji impak metode charpy kapasitas 100 joule. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma" 45" Bekasi*, 1 (2), 97950. [Google Scholar](#)
- Jeffrey, J., Utama, D. W., & Soeharsono, G. (2016). Rancang Bangun Kontruksi Dan Sistem Gerak Sumbu Pada Mesin *Fused Deposition Modelling*. *Poros*, 14 (2), 99–106. [Google Scholar](#)
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2003). *Manufacturing processes for engineering materials, and systems. Material Removal Process: Cutting, 4th Ed., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ*, 452. [Google Scholar](#)
- Letcher, T., & Waytashek, M. (2014). Material property testing of 3D-printed specimen in PLA on an entry-level 3D printer. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 46438, V02AT02A014. [Google Scholar](#)
- Mahamood, S., Khader, M. A., & Ali, H. (2016). *Applications of 3-D printing in orthodontics: a review. International Journal of Scientific Study*, 3 (11), 267–270. [Google Scholar](#)
- Pramudyo, A. S., & Rachmansyah, A. (2014). Visualisasi Hasil Mesin Uji Tarik Gotech GT-7010-D2E dalam Bentuk Grafik Secara Real Time. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 3 (1), 80–88. [Google Scholar](#)
- Progress, 3D Printing. (2021). *A Unique method of fabricating 3d porous structure*. <https://www.3dprintingprogress.com/articles/17864/a-unique-method-of-fabricating-3d-porous-structures>. [Google Scholar](#)
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 917–922. [Google Scholar](#)
- Ramadhani, H. (2019). Perancangan Prototipe dan Pembuatan Struktur Rahang Bawah Manusia Pada Mesin Printer 3D. [Google Scholar](#)
- Ramadhoni, S. (2010). Pembuatan komposit matriks logam berpenguat keramik (Al/SiC) dicampur kayu dengan metode metalurgi serbuk. [Google Scholar](#)
- Satankar, R. K. (2017). *Investigating the process parameters of 3D printer extruder of Fused Deposition Modeling- A review. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. Journal of Natural Fibers*, 4 (10), 1–9. [Google Scholar](#)

Tegar Aji Saputro, Syahbuddin

Triyono, J., Sukanto, H., Saputra, R. M., & Smaradhana, D. F. (2020). *The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material*. *Open Engineering*, 10 (1), 762–768. [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Tegar Aji Saputro, Syahbuddin (2021)

First publication right:

Jurnal Syntax Admiration

This article is licensed under:

