# PENGARUH *INFILL PATTERN* TERHADAP KEKUATAN HASIL CETAKAN 3D *PRINTING* BERBAHAN *POLY-LACTIC ACID*

**Gilar Pandu Annanto*, Imam Syafa'at, Ilham Naufal Ardianto**
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.
Email: gilarpanduannanto@unwahas.ac.id

**Abstrak**

*Fused deposition modeling (FDM) merupakan salah satu jenis teknologi additve manufacturing yang saat ini populer dan banyak digunakan. Metode FDM ini memiliki kemampuan untuk memproduksi komponen dari berbagai material polymerer seperti PLA, ABS, dan PETG. Kekuatan produk hasil cetak FDM dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, dan salah satunya adalah material dan pola isian. Penelitian ini berfokus untuk meneliti jenis infill yang dapat menghasilkan komponen dengan waktu cetak yang singkat tetapi kuat. Spesimen berbahan PLA diberikan variasi pola isian rectilinear, stars, 3D honeycomb, archimedean chords, dan support cubic. Spesimen yang telah tercetak kemudian dilakukan pengujian tarik untuk mendapatkan informasi mengenai nilai kekuatannya. Kesimpulan yang didapatkan adalah hasil cetak dengan kekuatan tertinggi dicapai oleh spesimen yang menggunakan infill berjenis 3D honeycomb dengan nilai kekuatan sebesar 27,92 MPa. Sedangkan untuk waktu cetak yang paling singkat didapatkan pada spesimen yang menggunakan infill berjenis support cubic dengan lama waktu yang dibutuhkan adalah 42 menit. Selain itu, dilakukan perbandingan antara kekuatan dengan waktu cetak untuk mengetahui jenis infill yang paling optimal baik dari segi waktu dan kekuatan. Dari hasil perbandingan diketahui bahwa spesimen yang menggunakan infill berjenis rectilinear memiliki nilai ratio tertinggi sebesar 0,6. Hal ini menunjukkan bahwa infill berjenis rectilinear merupakan jenis infill yang paling optimal dibandingkan dengan jenis infill lainnya yang diteliti pada penelitian ini.*

***Kata kunci**: 3D printing, FDM, kekuatan tarik, PLA.*

## PENDAHULUAN

*Rapid prototyping* merupakan sebuah teknologi yang berkemampuan untuk mempersingkat waktu manufaktur dari sebuah produk. *Additive manufacturing* merupakan salah satu cabang dari teknologi ini. *Additive manufacturing* merupakan sebuah teknologi yang memberikan keleluasaan seorang perancang dalam membuat sebuah bentuk fisik dari model visual yang telah di buat. Bentuk fisik dari proses ini juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan dari hanya purwa rupa hingga pengaplikasian dalam industri (Fernandez-Vicente dkk., 2016). *Additive manufacturing* memiliki konsep kerja yang berbeda dengan konsep kerja proses manufaktur konvensional. Proses manufaktur konvensional memiliki kecenderungan untuk mengikis bagian – bagian yang tidak diperlukan dalam sebuah material hingga menjadi sebuah bentuk produk yang diinginkan, sedangkan *additive manufacturing* memiliki konsep dengan mengendapkan material lapis demi lapis hingga terbentuk sebuah model produk. Hal inilah yang membuat teknologi *additive manufacturing* memiliki kelebihan dalam penghematan ongkos produksi serta mampu dalam membuat berbagai komponen yang bahkan memiliki tingkat kompleksitas geometri yang tinggi. Dewasa ini cukup banyak cabang dari teknologi *additive manufacturing*, namun metode *fused deposition modeling* merupakan metode yang cukup lazim dan banyak diterapkan (Ruban dkk., 2014).

*Fused deposition modelling* atau biasa disingkat dengan FDM merupakan salah satu metode yang cukup banyak diaplikasikan dalam pembuatan sebuah model, hal ini akibat pengaruh pesatnya perkembangan teknologi 3D *printing* dengan harga terjangkau. Mesin 3D *printing* berbasis FDM, memiliki kapabilitas dalam mengakselerasi pengembangan suatu produk dalam industri, hal ini dikarenakan kemudahan dalam membuat sebuah purwarupa dari konsep produk yang dirancang, disatu sisi, produk yang di cetak menggunakan metode ini juga tidak jarang memiliki kemampuan untuk dapat diterapkan secara langsung pada sebuah sistem (Srinivasan dkk., 2020). 3D *printer* berbasis FDM memiliki cara kerja yaitu melelehkan benang polimer yang dikenal sebagai *filament.* Hasil lelehan *filament* ini kemudian diendapkan pada sebuah permukaan

lalu menumpuknya dengan lapisan – lapisan baru hingga terbentuk sebuah geometri (Chua dkk., 2020). Terdapat cukup banyak jenis *filament* yang bisa didapatkan dengan mudah di pasaran, seperti *poly lactic acid (PLA), polyethylene terephthalate glycol (PETG), dan acrylonitrile buatdiene styrene (ABS). PLA* merupakan material yang memiliki kelebihan yaitu kemudahan dalam perlakuan manufaktur serta biodegradable (Arockiam dkk., 2021). Selain itu, *filament PLA* juga merupakan *filament* yang paling mudah didapatkan dipasaran, oleh karena itu membuat jenis *filament* ini menjadi yang paling populer dibandingkan dengan jenis yang lainnya.

Dalam proses manufaktur, kekuatan merupakan salah satu parameter yang cukup penting karena akan digunakan sebagai penentu dalam spesifikasi suatu produk. Kekuatan dari hasil cetak yang menggunakan metode FDM terbilang cukup kompleks, hal ini dikarenakan kekuatan produk hasil cetak tidak hanya mengandalkan material *filament* saja, tetapi parameter – parameter seperti sudut orientasi, kerapatan isian, pola isian, ketebalan dinding dan beberapa parameter lainnya memiliki peran yang penting dalam menghasilkan sebuah produk dengan nilai kekuatan tertentu (Durgashyam dkk., 2019). Salah satu parameter yang patut dipertimbangkan adalah pola isian atau biasa disebut dengan *infill*. Sebuah perangkat lunak *slicer*, perangkat lunak untuk memprogram 3D *printer*, menyediakan banyak sekali variasi *infill* yang tentunya mampu menghasilkan kekuatan yang berbeda – beda dengan waktu cetak yang berbeda pula. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *infill* optimal baik dari segi waktu dan kekuatan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *Poly-lactic Acid (PLA*) seperti pada tabel. Spesimen dibuat menggunakan mesin 3D *printer* berjenis FDM.

**Tabel 1. Spesifikasi mesin 3D *printer***

| Deskripsi | Keterangan |
|---|---|
| *Merk* | Ender 3 Pro |
| *Modeling technology* | FDM |
| *Printing size* | 220*2020*250 mm |
| *Filament size* | 175 mm |
| *File format* | STL, OBJ, AMF |
| *Nozzle Diameter* | 0,4 mm |

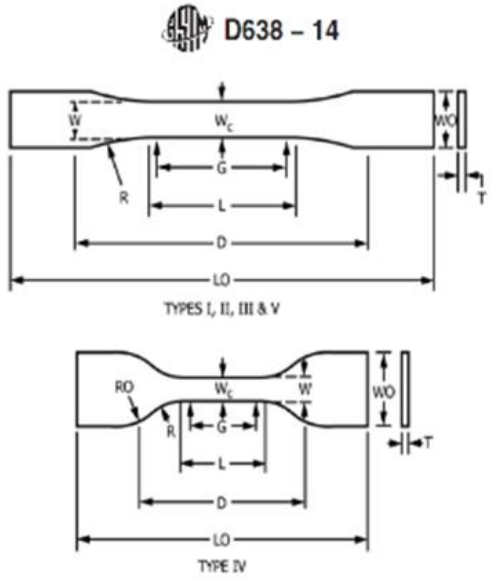
Penelitian dilakukan di laboratorium perancangan Jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi lengkap dari mesin 3D *printer* yang digunakan dalam penelitian ini. Mesin uji tarik digunakan untuk menguji kekuatan setiap spesimen yang telah dicetak. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi mesin uji tarik yang digunakan.

**Tabel 2. Spesifikasi mesin uji tarik**

| Parameter | Keterangan |
|---|---|
| *Capacity* | 200 KN |
| *Speed (without loading)* | 0-90 mm/min |
| *Accuracy* | 1% |
| *Driving Method* | *Hydraulic system* |
| *Max space* | 460 mm |
| *Grip for rod (rod diameter)* | 10-40 |
| *Grip for plate* | 40×60 mm |
| *Effective space* | 540 mm |
| *Effective space* | 280 |

**Tabel 3. Spesifikasi material PLA**

| Parameter | Keterangan |
|---|---|
| Warna | Putih |
| Diameter | 1,75 mm |
| *Roundness Tolerance* | 0,01-0,02 mm |
| *Print Temperature* | 230˚- 250˚C |
| *Print Bed Temperature* | 70˚ - 100˚C |




**Gambar 1. Spesimen uji**

**Tabel 5. Spesifikasi standar ASTM D638-14**

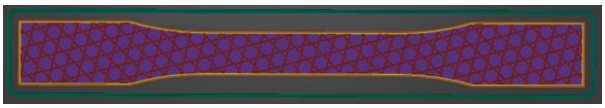
| Dimensions (see drawings) | 7 (0.28) or under | | Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl | 4 (0.16) or under | | Tolerances |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type I | Type II | Type III | Type IVB | Type VC, D | |
| W—Width of narrow section E,F | 13 (0.50) | 6 (0.25) | 19 (0.75) | 6 (0.25) | 3.18 (0.135) | ±0.5 (±0.02) B, C |
| L—Length of narrow section | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 33 (1.30) | 9.53 (0.375) | ±0.5 (±0.02) C |
| WO—Width overall, min G | 19 (0.75) | 19 (0.75) | 29 (1.13) | 19 (0.75) | ... | + 6.4 (+ 0.25) |
| WO—Width overall, min G | ... | ... | ... | ... | 9.53 (0.375) | + 3.18 (+ 0.125) |
| LO—Length overall, min H | 165 (6.5) | 183 (7.2) | 246 (9.7) | 115 (4.5) | 63.5 (2.5) | no max (no max) |
| G—Gage length I | 50 (2.00) | 50 (2.00) | 50 (2.00) | ... | 7.62 (0.300) | ±0.25 (±0.010) C |
| G—Gage | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ±0.13 (±0.005) |
| D—Distance between grips | 115 (4.5) | 135 (5.3) | 115 (4.5) | 65 (2.5) J | 25.4 (1.0) | ±5 (±0.2) |
| R—Radius of fillet | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 14 (0.56) | 12.7 (0.5) | ±1 (±0.04) C |
| RO—Outer radius (Type IV) | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ±1 (±0.04) |

**Tabel 6. Variasi isian spesimen**

| Infill | Kerapatan |
|---|---|
| *Rectilinear* | 30% |
| *Stars* | 30% |
| *3D Honeycomb* | 30% |
| *Archimedean Chords* | 30% |
| *Support Cubic* | 30% |

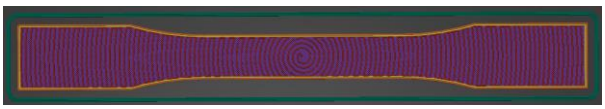
Spesimen uji harus terlebih dahulu didesain menggunakan *software computer aided design* (CAD) sebelum dilakukan proses cetak. Spesimen uji didesain mengikuti dimensi yang sesuai dengan standar ASTM D-638. Gambar 1 menunjukkan dimensi dari spesimen yang digunakan pada penelitian ini. Spesimen yang telah tergambar, kemudian di-*export* menjadi sebuah file berekstensi *stereolithography (*.stl)* yang merupakan salah satu format yang dikenali oleh perangkat lunak *slicer* agar bisa dilakukan proses *slicing*. Pada proses *slicing*, spesimen akan diberikan beberapa variasi *infill* dengan kerapatan 30% .Tabel 4 menunjukkan variasi – variasi yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 2 menunjukkan spesimen dengan *infill recitilinear* berkerapatan 30%, Gambar 3 menunjukkan spesimen dengan *infill stars* berkerapatan 30%, Gambar 4 menunjukkan spesimen dengan *infill 3D honeycomb* berkerapatan 30%, Gambar 5 menunjukkan spesimen dengan *infill archimedean chords* berkerapatan 30%, Gambar 6 menunjukkan spesimen dengan *infill suppport cubic* berkerapatan 30%.

**Gambar 2. Spesimen dengan infill rectilinear berkerapatan 30%**

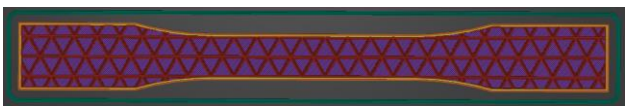


**Gambar 3. Spesimen dengan *infill stars* berkerapatan 30%**

**Gambar 4. Spesimen dengan *infill 3D honeycomb* berkerapatan 30%**

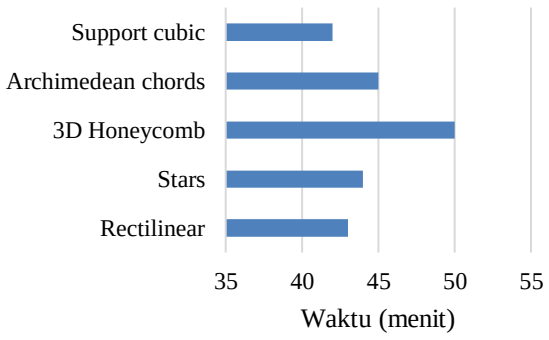


**Gambar 5. Spesimen dengan *infill archimedean chords* berkerapatan 30%**



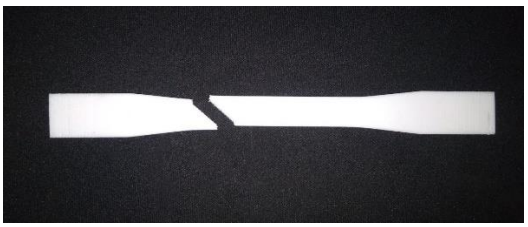
**Gambar 6. Spesimen dengan *infill support cubic* berkerapatan 30%**

## HASIL DAN PEMBAHASAN




**Gambar 7. Waktu cetak setiap spesimen.**

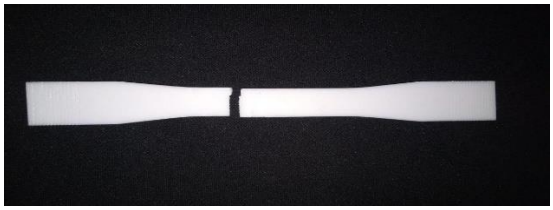
Spesimen yang telah dilakukan *slicing* kemudian dicetak menggunakan mesin 3D *printer*. Setiap spesimen dengan jenis *infill* yang berbeda membutuhkan waktu cetak yang berbeda pula. Gambar 7 menunjukkan data total waktu cetak yang dibutuhkan setiap spesimen. Dari Gambar 7, dapat terlihat bahwa *infill* berjenis 3D *honeycomb* membutuhkan waktu cetak yang terlama dibanding jenis lainnya, hal ini disebabkan oleh kompleksitas dari pola *infill 3D honeycomb*. Proses cetak tercepat dicapai dengan menggunakan *infill* berjenis *grid*. *Infill* berjenis *greed* dapat tercetak lebih cepat 2,5 kali dibandingkan dengan *infill* berjenis *support cubic* dengan waktu cetak selama 42 menit. Hal ini disebabkan karena *infill* ini memiliki karakteristik pola yang lebih sederhana.



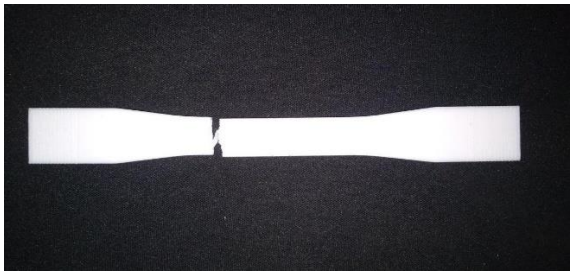
**Gambar 8. hasil patahan pada specimen dengan *infill rectilinear***

**Gambar 9. hasil patahan pada specimen dengan *infill stars***

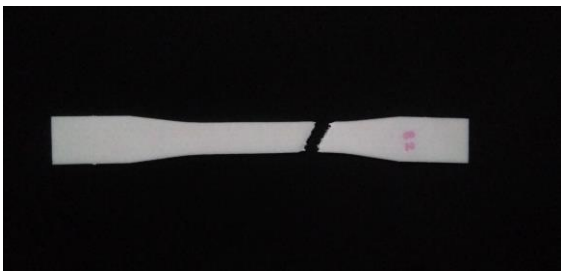
Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan data mengenai nilai kekuatan dari setiap spesimen. Pada proses ini, spesimen akan ditarik hingga mengalami kegagalan material. Pencatatan nilai kekuatan dilakukan selama proses pengujian untuk mengetahui detail dari nilai kekuatan spesimen. Gambar 8 menunjukkan hasil patahan pada spesimen dengan *infill rectilinear*, Gambar 9 menunjukkan hasil patahan pada spesimen dengan *infill stars*, Gambar 10 menunjukkan hasil patahan pada spesimen dengan *infill 3D honeycomb*, Gambar 11 menunjukkan hasil patahan pada spesimen dengan *infill Archimedean chords*, Gambar 12 menunjukkan hasil patahan pada spesimen dengan *infill support cubic*. Hasil pengujian tarik setiap spesimen dapat dilihat pada Tabel 5.



**Gambar 10. hasil patahan specimen *infill 3D honeycomb***



**Gambar 11. hasil patahan specimen *infill archimedan chords***



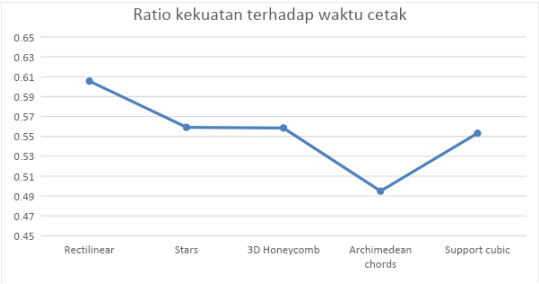
**Gambar 12. hasil patahan specimen *infill support cubic***

**Tabel 5. Hasil pengujian tarik**

| Jenis *infill* | *Tensile strength (MPa)* |
|---|---|
| *Rectilinear* | 26,04 |
| *Stars* | 24,6 |
| *3D Honeycomb* | *27,92* |
| *Archimedean Chords* | *22,27* |
| *Support Cubic* | 23,23 |

Dari Tabel 5 diketahui bahwa spesimen dengan *infill* berjenis 3D *honeycomb* memberikan nilai kekuatan yang paling besar dengan nilai 27,92 MPa, sedangkan *infill* berjenis *Archimedean chords* menghasilkan kekuatan terkecil dengan nilai sebesar 22,27 MPa. Perbedaan kekuatan ini dipengaruhi oleh sambungan antar *infill* yang dihasilkan, seperti yang terlihat pada Gambar 5, *infill Archimedean chords* hanya terhubung secara vertical,

sedangkan seperti yang terlihat pada Gambar 4, *infill* 3D *honeycomb* saling terhubung baik vertical dan horizontal. Untuk mengetahui jenis *infill* yang optimal dari segi kekuatan dan waktu cetak, dilakukan sebuah perbandingan antara hasil kekuatan dengan waktu cetak. Dari perbandingan ini kemudian didapatkan sebuah nilai ratio yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui jenis *infill* yang paling optimal. Gambar 13 merupakan hasil dari perbandingan antara kekuatan dengan waktu cetak.




**Gambar 13 Ratio kekuatan dengan waktu cetak**

Dari Gambar 13, diketahui bahwa spesimen dengan *infill* berjenis *rectiliniear* memiliki nilai ratio paling tinggi dengan nilai sebesar 0,6. Hal ini menunjukkan bahwa *infill* berjenis *rectiliniear* merupakan jenis *infill* yang paling optimal baik dari segi waktu dan kekuatan. Disisi lain, terlihat juga bahwa *infill* berjenis *Archimedean chords* memiliki nilai *ratio* paling rendah dengan nilai sebesar 0,49. Hal ini juga menunjukkan bahwa *infill* berjenis *Archimedean chords* merupakan *infill* yang paling tidak optimal.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Proses manufaktur berbasis 3D *printing* dapat menghasilkan produk dengan lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil cetak mampu memiliki karakteristik yang berbeda tergantung dengan beberapa faktor yang mempengaruhinya, salah satunya adalah pola isian atau *infill.* Dari penelitian yang teleh dilakukan, hasil cetak dengan kekuatan tertinggi didapatkan oleh spesimen yang menggunakan *infill* berjenis *3D honeycomb* dengan nilai kekuatan sebesar 27,92 MPa. Sedangkan untuk waktu cetak yang paling singkat didapatkan pada spesimen yang menggunakan *infill* berjenis *support cubic* dengan lama waktu yang dibutuhkan adalah 42 menit. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan antara kekuatan dengan waktu cetak untuk mengetahui jenis *infill* yang paling optimal baik dari segi waktu dan kekuatan. Dari hasil perbandingan, menghasilkan sebuah nilai ratio, dan nilai ratio tertinggi didapatkan pada spesimen yang menggunakan *infill* berjenis *rectilinear* dengan nilai sebesar 0,6. Hal ini menunjukkan bahwa *infill* berjenis *rectilinear* merupakan jenis *infill* yang paling optimal dibandingkan dengan jenis *infill* lainnya yang diteliti pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Arockiam, A. J., Subramanian, K., & ... (2021). A review on PLA with different fillers used as a filament in 3D printing. *Materials Today …*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532106329X

Chua, C. K., Leong, K. F., & An, J. (2020). Introduction to rapid prototyping of biomaterials. *Rapid prototyping of biomaterials*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081026632000010

Durgashyam, K., Reddy, M. I., Balakrishna, A., & ... (2019). Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method. *Materials Today …*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319314300

Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & ... (2016). Effect of infill parameters on tensile mechanical behavior in desktop 3D printing. *3D printing and …*. https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0036

Ruban, W., Vijayakumar, V., & ... (2014). Effective process parameters in selective laser sintering. *… Journal of Rapid …*. https://doi.org/10.1504/IJRAPIDM.2014.066036

Srinivasan, R., Ruban, W., Deepanraj, A., & ... (2020). Effect on infill density on mechanical properties of PETG part fabricated by fused deposition modelling. *Materials Today …*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320325797