

**Samuel Eluzai Yedija  
Wijayanto**

Mahasiswa  
Universitas Surabaya  
Jurusan Teknik Industri

**Rico Handoko**

Mahasiswa  
Universitas Surabaya  
Jurusan Teknik Industri

**Jesslyne Chenia Noel**

Mahasiswa  
Universitas Surabaya  
Jurusan Teknik Mesin

**Timotius William  
Anggawirawan**

Mahasiswa  
Universitas Surabaya  
Jurusan Teknik Mesin

**The Jaya Suteja**

Tenaga Pengajar  
Universitas Surabaya  
Jurusan Teknik Mesin  
Email:  
jayasuteja@staff.ubaya.ac.id

## IDENTIFIKASI JENIS *INFILL* PATTERN PADA PROSES 3D PRINTING YANG MENGHASILKAN HASIL CETAK DENGAN KEKUATAN TEKAN DAN PANJANG FILAMEN YANG OPTIMAL

*3D Printing technology becomes a potential solution to build various customized leg prosthetics. As a leg prosthetic must be able to hold a compressive force, it is important to find the compressive strength of the 3D printed part. The aim of this research is to find the infill pattern type which produces the 3D printed part with the highest compressive strength and the shortest filament length. This research uses the Fused Filament Fabrication method to print 24 parts made of Polylactic Acid using 12 different infill patterns with 50% density. All printed parts are designed to replicate the ASTM D695 specimen. After that, the compressive strength of each part is measured by using a Universal Testing Machine. And the filament length of each part is estimated by using slicer software. Based on the experiment result, the infill pattern with the highest compressive strength is the 3D Honeycomb type. However, this infill pattern requires the longest filament length compared to other infill patterns. In order to achieve a similar value of compressive strength with the minimum required material, the Cubic type is recommended to be implemented.*

**Keywords:** 3D Printing, Compressive Strength, Filament Length, Infill Pattern, Prosthetic.

### 1. PENDAHULUAN

Disabilitas terutama tuna daksa merupakan fenomena yang banyak terjadi secara global. Alat bantu mobilisasi yang dapat meningkatkan kenyamanan dari penyandang tunadaksa adalah prostetik kaki palsu. Prostetik yang dijual bebas secara umum hanya memiliki beberapa standar ukuran tertentu. Ukuran dan bentuk bagian tubuh penyandang tuna daksa yang berbeda-beda tidak terakomodasi. Permasalahan ini timbul karena pembuatan prostetik berbahan plastik menggunakan proses injeksi. Proses injeksi memerlukan kerangka cetakan untuk tiap komponen dengan harga cukup mahal. Apabila bentuk dan ukuran prostetik harus disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing individu, maka dibutuhkan banyak sekali variasi kerangka cetakan. Sebagai akibatnya, biaya pembuatan prostetik akan menjadi sangat besar.

Teknologi *3D Printing* dapat menjadi solusi untuk membuat *customized* prostetik. *Customized* prostetik adalah prostetik yang mempunyai bentuk dan ukuran yang disesuaikan dengan penggunanya. Prostetik ini dapat dicetak menggunakan *3D Printer* sehingga pas dengan ukuran kaki penyandang tunadaksa. Dalam penggunaannya, prostetik berupa kaki palsu akan mengalami gaya tekan karena berat dari tubuh pengguna. Oleh karena itu, prostetik harus mempunyai nilai kekuatan tekan yang bisa menahan beban tekan yang terjadi.

Kekuatan tekan dari sebuah prostetik yang dicetak dengan menggunakan teknologi *3D Printing* dipengaruhi oleh beberapa parameter proses. Zu, *et al.* [1] meneliti pengaruh dari ketebalan lapisan, kerapatan pengisian, dan kecepatan cetak pada kekuatan tekan dari komponen yang terbuat dari material PLA. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan dan kerapatan pengisian mempunyai pengaruh yang sangat signifikan. Penelitian ini menunjukkan hasil yang sama seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh Dave, *et al.* [2], Singh, *et al.* [3], Abbas, *et al.* [4], dan Chen, *et al.* [5] yaitu bahwa kerapatan

pengisian adalah faktor yang berpengaruh secara signifikan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Balamurugan, *et al.* [6] menambahkan bahwa temperatur meja dan temperatur *nozzle* juga mempengaruhi kekuatan tekan dari suatu hasil cetakan *3D Printing*. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alfonso, *et al.* [7] yang menunjukkan bahwa temperatur *nozzle* merupakan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tekan hasil cetakan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Khan, *et al.* [8], kekuatan tekan hasil cetakan juga dipengaruhi oleh sudut raster. Penelitian ini menggunakan tiga sudut raster yaitu 0°, 45°, dan 60°. Kain, *et al.* [9] juga melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari tujuh macam sudut raster yaitu 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90° terhadap kekuatan tekan dari hasil cetakan. Penelitian ini menunjukkan bahwa ada interaksi langsung antara sudut raster dan kekuatan tekan yang dihasilkan. Selain sudut raster, Huu, *et al.* [10] meneliti pengaruh ketebalan lapisan dan *build orientation* terhadap kekuatan tekan. Dari hasil penelitian ini, ketebalan lapisan dan *build orientation* juga mempunyai pengaruh yang signifikan.

Menurut Hong, *et al.* [11], kekuatan tekan juga akan dipengaruhi oleh proses lanjut yang dilakukan pada komponen hasil cetak proses *3D Printing* seperti proses perlakuan panas. Penelitian ini mencoba memperkuat sifat dari hasil cetakan dari material PLA dengan melakukan perlakuan panas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan panas pada temperatur 130 °C dan holding time 300 detik dapat menghasilkan kekuatan tekuk hasil cetakan yang maksimal. Sedangkan, kekuatan tekan yang dihasilkan dapat mencapai nilai paling tinggi dengan melakukan pemanasan pada temperatur 140 °C dan *holding time* selama 600 detik pada hasil cetakan. Tapi jika temperatur dan *holding time* ditambah terus, ada indikasi bahwa kekuatan tekan akan juga bertambah.

Menurut Aloyaydi, *et al.* [12], kekuatan tekan dipengaruhi oleh *infill pattern* yang digunakan. *Infill pattern* merupakan pola pengisian pada bagian dalam dari produk yang dicetak dengan *3D Printing*. Penelitian yang dilakukan Aloyaydi menggunakan empat macam jenis *infill pattern* yaitu *Triangle*, *Grid*, *Quarter Cubic*, dan *Tri-hexagon*. Dari hasil penelitian, komponen yang menggunakan jenis *Cubic* menunjukkan nilai kekuatan tekan yang tertinggi. Parab dan Zaveri [13] juga meneliti pengaruh tiga jenis *infill pattern* yaitu *Line*, *Triangle*, dan *Gyroid* terhadap kekuatan tekan. Hasil penelitian ini menunjukkan jenis *Triangle* dapat menghasilkan komponen dengan kekuatan tekan lebih baik dibanding dua jenis *infill pattern* yang lain. Akan tetapi, jenis *Gyroid* akan menghasilkan komponen dengan sifat yang hampir *isotropic* sehingga mempunyai kekuatan tekan yang mirip saat dikenai beban tekan dari arah manapun. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Silva, *et al.* [14]. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Yadav, *et al.* [15] menginvestigasi pengaruh enam jenis *infill pattern* yaitu *Hilbert Curve*, *Honeycomb*, *Line*, *Rectilinear*, *Archimedean Curve* dan *Octagram Spiral* terhadap kekuatan tekan. Dari keenam jenis *infill pattern*, komponen yang menggunakan jenis *Hilbert Curve* mempunyai kekuatan tekan yang paling besar.

Dalam pembuatan prostetik, *infill pattern* dapat diimplementasikan untuk mengurangi volume dan massa hasil cetakan agar lebih nyaman untuk digunakan. Akan tetapi, penggunaan *infill pattern* ini juga akan menyebabkan hasil cetakan memiliki kekuatan tekan yang berbeda. Menurut Suteja [16], *infill pattern* yang dapat digunakan pada proses *3D Printing* ada bermacam macam yaitu *Hilbert Curve*, *Gyroid*, *Archimedean Chords*, *3D Honeycomb*, *Octagram Spirals*, *Rectilinear*, *Stars*, *Cubic*, *Triangle*, *Concentric*, *Grid*, dan *Honeycomb*. Belum semua jenis *infill pattern* ini telah diteliti. Selain itu, penelitian yang telah dilakukan belum mempertimbangkan kebutuhan material untuk mencetak komponen. Kebutuhan material ini akan mempengaruhi biaya pembuatan komponen. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi jenis *infill pattern* yang menghasilkan kekuatan tekan dan kebutuhan material optimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi nilai kekuatan tekan komponen hasil cetakan *3D Printing* yang menggunakan bermacam *infill pattern*. Nilai kekuatan tekan ini kemudian dibandingkan dengan jumlah material yang dibutuhkan dalam mencetak komponen. Perbandingan kekuatan tekan dan kebutuhan material ini dapat menunjukkan *infill pattern* yang menghasilkan hasil cetakan dengan kekuatan tekan yang tertentu dan membutuhkan material yang sedikit. Dengan mengetahui perbandingan kekuatan tekan dan kebutuhan material dari hasil cetakan *3D Printing* yang menggunakan bermacam-macam *infill pattern*, kelayakan teknologi *3D Printing* dalam pembuatan prostetik dapat dianalisis lebih jauh.

## 2. METODE DAN BAHAN

*3D Printer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah ANET A8 Prusa I3 yang diproduksi oleh Shenzhen Anet Technology Co., Ltd. Teknologi *3D Printer* ini menggunakan teknologi jenis *Fused Filament Fabrication*. *3D Printer* ini mempunyai luasan cetak sebesar 220 mm x 220 mm x 240 mm. Peralatan *extruder* dari *3D Printer* ini mempunyai diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm. Peralatan ini digunakan untuk memanaskan material *Polylactic Acid* (PLA) sehingga mempunyai temperatur 210 °C. Material PLA yang

digunakan dalam penelitian awalnya berbentuk filamen dengan diameter 1,75 mm dengan merek CCTREE. Penelitian ini menggunakan material PLA karena merupakan material yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan. Setelah melunak, filamen ditekan agar keluar melalui *nozzle* dengan kecepatan tertentu sehingga mempunyai diameter sama seperti diameter *nozzle*. Filamen dicetak raster demi raster dan lapisan demi lapisan di atas meja kerja untuk menghasilkan komponen yang didesain menyerupai spesimen uji tekan berdasarkan ASTM D695. Sebelumnya, meja kerja telah dipanaskan terlebih dahulu sehingga mempunyai temperatur 65 °C. Bentuk dan ukuran spesimen uji ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Lintasan pencetakan filamen diatur sesuai dengan jenis *infill pattern* yang digunakan. Karena ada dua belas macam *infill pattern* yang banyak digunakan maka penelitian ini menggunakan semua *infill pattern* tersebut sebagai faktor penelitian.



**Gambar 1:** Bentuk dan ukuran spesimen ASTM D695 dalam milimeter.

Untuk menentukan lintasan yang dilalui oleh peralatan *extruder*, penelitian ini menggunakan perangkat lunak Slic3r Prusa, yang dikembangkan oleh Prusa dan perangkat lunak Repetier-Host, yang dikembangkan oleh Hot-World GmbH & Co. KG. Kedua perangkat lunak ini juga digunakan untuk mengatur parameter proses pencetakan spesimen uji. Pada penelitian ini, kepadatan *infill* yang digunakan adalah 50 % agar dapat lebih memperlihatkan pengaruh dari *infill pattern* terhadap kekuatan tekan. Spesimen uji dicetak pada permukaan X-Y atau *flat* seperti terlihat pada Gambar 2 dengan sudut raster membentuk sudut 90 ° terhadap sumbu X agar menahan beban tekan yang diterapkan tegak lurus permukaan X-Z. Parameter proses *3D Printing* yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 1.



**Gambar 2:** Permukaan cetak dan arah gaya tekan.

Pada penelitian ini, dua belas spesimen uji dicetak menggunakan *infill pattern* yang berbeda. Pencetakan dua belas spesimen ini dilakukan sebanyak dua kali replikasi. Karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan dari hasil cetakan yang menggunakan berbagai jenis *infill pattern*, maka sejumlah dua puluh empat buah spesimen yang telah dicetak kemudian diuji tekan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* yang diproduksi oleh GOTECH Testing Machines Inc. Sebelum diuji tekan, ukuran penampang dari dua puluh empat spesimen tersebut diukur menggunakan jangka sorong dengan akurasi 0,01mm. Kekuatan tekan dapat dihitung dengan cara membagi gaya tekan yang didapatkan dari *Universal Testing Machine* dengan luasan penampang masing-masing spesimen. Selain itu, kebutuhan

material dari hasil cetakan yang menggunakan masing-masing *infill pattern* juga diestimasi berdasarkan panjang filamen yang dibutuhkan. Panjang filamen yang dibutuhkan diestimasi menggunakan perangkat lunak Repetier-Host, yang dikembangkan oleh Hot-World GmbH & Co. KG. Untuk menghitung volume material yang dibutuhkan maka panjang filamen ini dikalikan dengan luasan penampang lingkaran dari filamen.

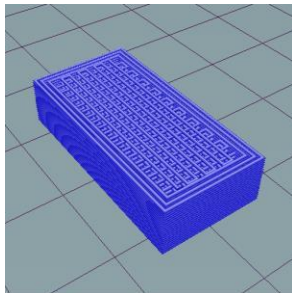
**Table 1:** Parameter proses pencetakan spesimen uji.

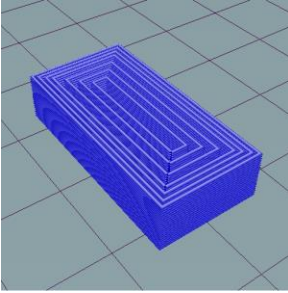
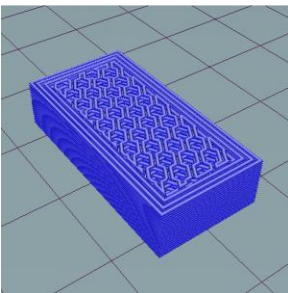
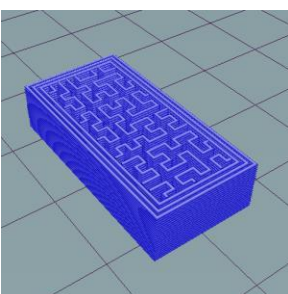
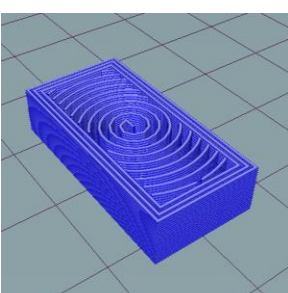
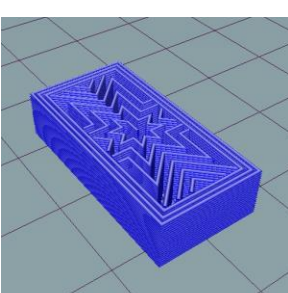
PARAMETER	NILAI
Diameter <i>nozzle</i> [mm]	0,4
Temperatur meja [°c]	65
Temperature <i>nozzle</i> [°c]	210
Laju pencetakan [mm/s]	40
Ketebalan lapisan [mm]	0,3
Jumlah <i>shell</i>	2
Kepadatan <i>infill</i> [%]	50
Sudut raster [°]	90
<i>Build orientation</i>	X-Y

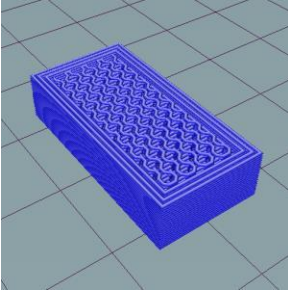
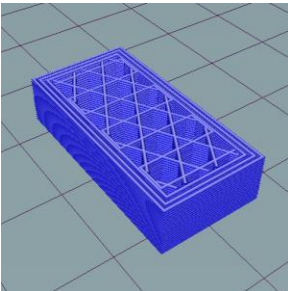
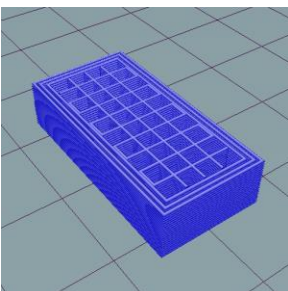
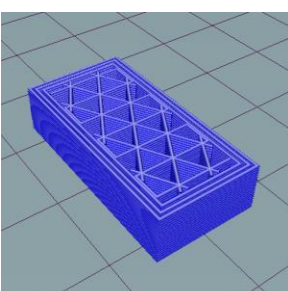
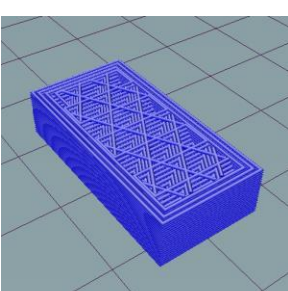
### 3. HASIL DAN DISKUSI

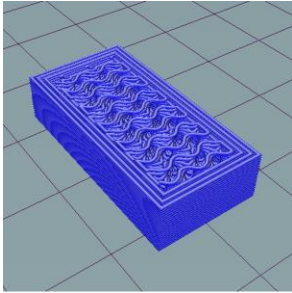
Tabel 2 menunjukkan dua belas jenis *infill pattern* dan gambar pola pengisian masing-masing *infill pattern*. Hasil pengujian dan nilai rata-rata kekuatan tekan dari spesimen uji yang menggunakan dua belas jenis *infill pattern* juga terlihat pada tabel tersebut. Selain itu, tabel ini juga memperlihatkan panjang filamen yang dibutuhkan untuk mencetak spesimen yang menggunakan masing-masing *infill pattern* beserta perbandingan kekuatan tekan dan panjang filamen dari masing-masing *infill pattern*. Berbagai jenis *infill pattern* dan kekuatan tekan dari spesimen uji yang menggunakan *infill pattern* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kekuatan tekan dipengaruhi oleh jenis *infill pattern* yang digunakan. Sedangkan panjang uji yang dibutuhkan untuk mencetak spesimen uji yang menggunakan berbagai *infill pattern* terlihat pada Gambar 4. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara *infill pattern* dengan panjang filamen yang dibutuhkan untuk mencetak suatu spesimen uji.

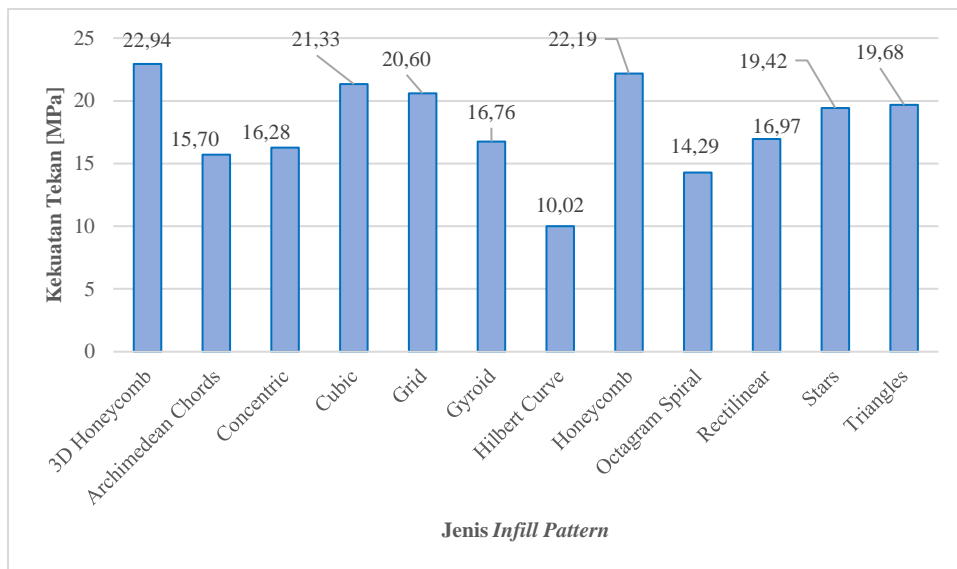
**Table 2:** Hasil kekuatan tekan spesimen.

INFILL PATTERN	KEKUATAN TEKAN SPESIMEN UJI			PANJANG FILAMEN [mm]	RASIO KEKUATAN TEKAN DAN PANJANG FILAMEN [MPa/mm]
	PENGUJIAN PERTAMA [MPa]	PENGUJIAN KEDUA [MPa]	RATA-RATA [MPa]		
 <i>Rectilinear</i>	18,87	15,06	16,965	1106	0,01533906

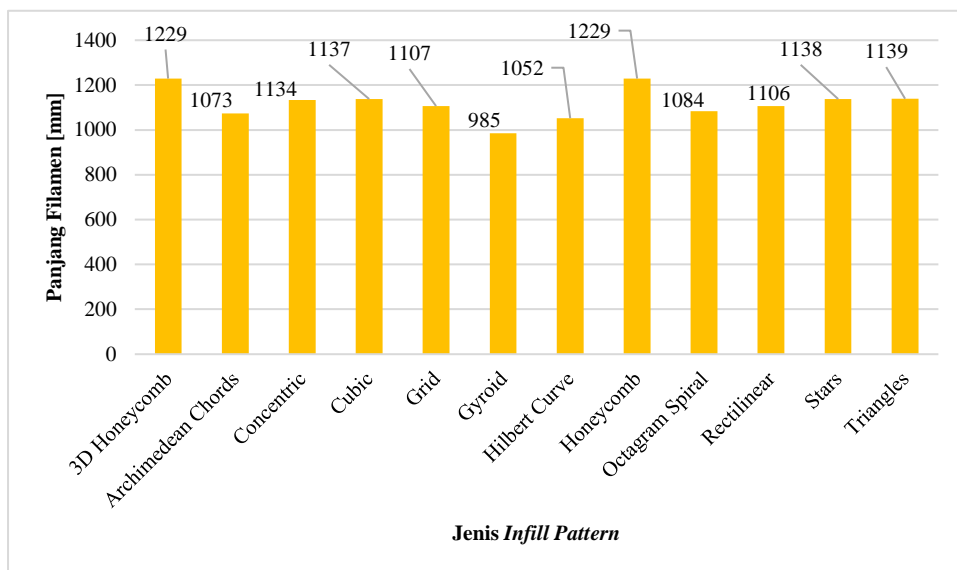
 <p style="text-align: center;"><i>Concentric</i></p>	15,79	16,76	16,275	1134	0,014351852
 <p style="text-align: center;"><i>Honeycomb</i></p>	23,12	21,25	22,185	1229	0,018051261
 <p style="text-align: center;"><i>Hilbert Curve</i></p>	9,52	10,51	10,015	1052	0,009519962
 <p style="text-align: center;"><i>Archimedean Chords</i></p>	14,74	16,66	15,700	1073	0,014631873
 <p style="text-align: center;"><i>Octagram Spiral</i></p>	16,33	12,25	14,290	1084	0,013182657

 <p><i>3D Honeycomb</i></p>	22,32	23,56	22,940	1229	0,018665582
 <p><i>Stars</i></p>	20,17	18,66	19,415	1138	0,017060633
 <p><i>Grid</i></p>	19,93	21,27	20,600	1107	0,018608853
 <p><i>Triangles</i></p>	19,45	19,91	19,680	1139	0,017278314
 <p><i>Cubic</i></p>	21,09	21,57	21,330	1137	0,018759894

 <p><i>Gyroid</i></p>	15,86	17,65	16,755	985	0,017010152
--	-------	-------	--------	-----	-------------



**Gambar 3:** Kekuatan tekan dari spesimen sebagai fungsi dari *infill pattern*.



**Gambar 4:** Panjang filamen yang dibutuhkan spesimen sebagai fungsi dari *infill pattern*.

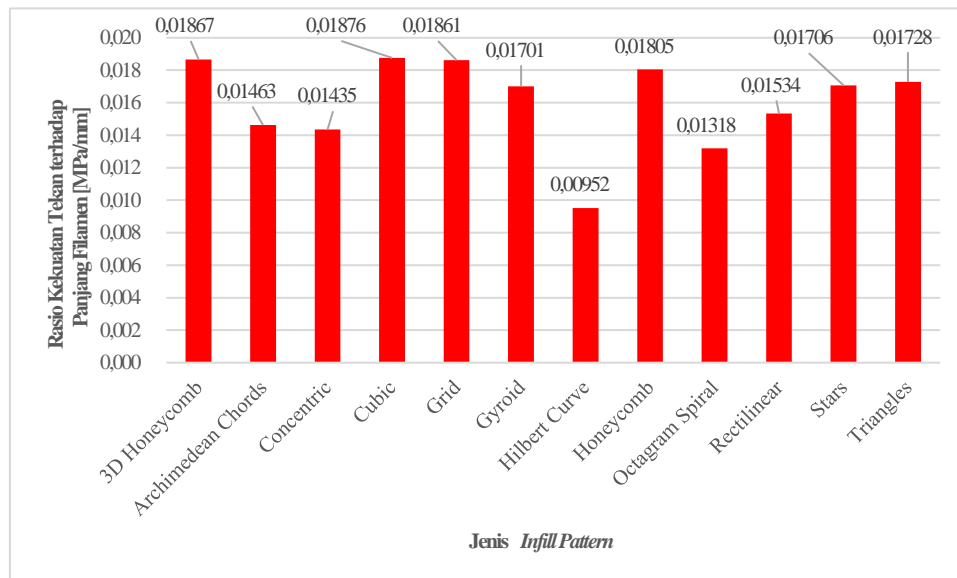
Dari hasil pengujian kekuatan tekan didapatkan bahwa *infill pattern* jenis *3D HoneyComb* mampu menahan beban tekan yang paling besar. Sedangkan jenis *Hilbert Curve* mampu menahan beban tekan yang



paling kecil. Dengan menggunakan jenis *3D HoneyComb* kekuatan tekan yang dihasilkan adalah 22,94 MPa. Sedangkan jenis *Hilbert Curve* hanya mampu menahan kekuatan tekan sebesar 10,015 MPa. Penelitian ini menggunakan spesimen uji tekan dan mekanisme pengujian sesuai standar ASTM D695 sehingga hasil yang didapatkan bisa digunakan untuk mewakili kekuatan tekan semua komponen dengan berbagai bentuk dan ukuran.

Jenis *infill pattern* yang membutuhkan material paling banyak adalah *3D HoneyComb* dan *HoneyComb*. Sedangkan jenis *Gyroid* membutuhkan material yang paling sedikit. Panjang filamen yang dibutuhkan untuk jenis *3D HoneyComb* dan *HoneyComb* adalah sebesar 1229 mm. Untuk *Gyroid* membutuhkan filamen sepanjang 985 mm. Hasil dari penelitian ini menunjukkan hasil yang konsisten dengan yang ditunjukkan oleh penelitian lain yang menggunakan spesimen uji tarik sebagai komponen yang dicetak menggunakan FFF [16]. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mewakili proses pencetakan semua bentuk dan ukuran komponen.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan perbandingan kekuatan tekan dan panjang filamen dari masing-masing *infill pattern*. Jenis *Hilbert Curve* mempunyai perbandingan yang paling kecil yaitu sebesar 0,00952. Sedangkan perbandingan paling besar diperoleh jika menggunakan jenis *Cubic* yaitu sebesar 0,01876. Perbandingan kekuatan tekan dan panjang filamen ini dapat mewakili jenis *infill pattern* yang menghasilkan komponen dengan kekuatan tekan yang sama dengan kebutuhan material yang paling sedikit. Perbandingan ini juga menunjukkan *infill pattern* yang menghasilkan kekuatan tekan paling tinggi dengan penggunaan material yang sama.



**Gambar 5:** Rasio kekuatan tekan terhadap panjang filamen spesimen sebagai fungsi dari *infill pattern*.

Walaupun jenis *3D HoneyComb* menghasilkan spesimen dengan kekuatan tekan paling besar seperti terlihat dari gambar 3 akan tetapi penggunaan jenis *infill pattern* ini akan membutuhkan filamen yang paling panjang seperti terlihat pada gambar 4. Jadi, jenis ini dapat digunakan untuk komponen yang membutuhkan kekuatan tekan besar tanpa mempertimbangkan banyak material yang dibutuhkan. Tetapi jika kebutuhan material juga harus dipertimbangkan agar harga dari komponen bisa lebih murah, maka jenis *Cubic* sebaiknya digunakan. Hal ini disebabkan karena jenis ini mempunyai perbandingan kekuatan tekan terhadap panjang material yang paling tinggi. Dengan menggunakan jenis ini, kekuatan tekan yang dihasilkan paling besar untuk jumlah material yang sama.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil yang ditemukan pada penelitian ini adalah bahwa jenis *infill pattern* memiliki pengaruh terhadap kekuatan tekan dan banyak material yang dibutuhkan untuk mencetak hasil cetakan *3D Printing* yang terbuat dari material PLA. Kekuatan tekan dari hasil cetakan yang menggunakan jenis *3D Honeycomb* menunjukkan nilai paling besar. Jenis yang membutuhkan paling sedikit material dalam mencetak hasil cetakan adalah *Gyroid*. Sedangkan jenis *3D Honeycomb* membutuhkan material paling banyak. Dari hasil tersebut dapat disim-



pulkan bahwa untuk mendapatkan kekuatan tekan yang paling besar, jenis *3D Honeycomb* dapat digunakan tapi dengan konsekuensi akan membutuhkan material yang paling banyak. Untuk mendapatkan kekuatan tekan yang sama dengan material yang paling sedikit, jenis *Cubic* sangat direkomendasikan karena mempunyai perbandingan kekuatan tekan dan panjang filamen yang paling tinggi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] YU, Z. *et al.*, “Study on Effects of FDM 3D Printing Parameters on Mechanical Properties of Polylactic Acid,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, v. 688, n. 3, pp. 0–5, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/688/3/033026.
- [2] DAVE, H. K. *et al.*, “Compressive Strength of PLA based Scaffolds: Effect of layer height, Infill Density and Print Speed,” *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, v. 11, n. 1, pp. 21–27, 2019.
- [3] SINGH, R., G. SINGH, J. SINGH, AND R. KUMAR, “Investigations for tensile, compressive and morphological properties of 3D printed functional prototypes of PLA-PEKK-HAp-CS,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 2019, doi: 10.1177/0892705719870595.
- [4] ABBAS, T. F., F. M. OTHMAN, AND B. H. ALI, “Effect of infill Parameter on compression property in FDM Process,” *Int. J. Eng. Res. and Application www.ijera.com*, v. 7, n. December, pp. 16–19, 2017, doi: 10.9790/9622-0710021619.
- [5] CHEN, R., L. BAICH, J. LAUER, D. SENESKY, AND G. MANOGHARAN, “Design for additive manufacturing - effects of part orientation, printer selection, and infill density on mechanical properties and production cost,” pp. 1–17, 2020, doi: 10.31224/osf.io/3v6be.
- [6] BALAMURUGAN, K., M. VENKATA PAVAN, S. K. AHAMAD ALI, AND G. KALUSURAMAN, “Compression and flexural study on PLA-Cu composite filament using FDM,” *Mater. Today Proc.*, v. 44, pp. 1687–1691, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.858.
- [7] AFONSO, J. A., J. L. ALVES, G. CALDAS, B. P. GOUVEIA, AND J. BELINHA, “Influence of 3D printing process parameters on the mechanical properties and mass of PLA parts and predictive models,” n. August, 2020, doi: 10.1108/RPJ-03-2020-0043.
- [8] KHAN, S. F., M. M. ZUKHI, H. ZAKARIA, AND M. A. M. SAAD, “Optimise 3D printing parameter on the mechanical performance of PLA-wood fused filament fabrication,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, v. 670, n. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/670/1/012048.
- [9] KAIN, S., J. V. ECKER, A. HAIDER, M. MUSSO, AND A. PETUTSCHNIGG, “Effects of the infill pattern on mechanical properties of fused layer modeling (FLM) 3D printed wood/polylactic acid (PLA) composites,” *Eur. J. Wood Wood Prod.*, v. 78, n. 1, pp. 65–74, 2020, doi: 10.1007/s00107-019-01473-0.
- [10] HUU, N. H., D. P. PHUOC, T. N. HUU, AND H. T. T. THU, “Optimization of the FDM Parameters to Improve the Compressive Strength of the PLA-copper Based Products,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, v. 530, n. 1, pp. 0–10, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/530/1/012001.
- [11] HONG, J. H., T. YU, Z. CHEN, S. J. PARK, AND Y. H. KIM, “Improvement of flexural strength and compressive strength by heat treatment of PLA filament for 3D-printing,” *Mod. Phys. Lett. B*, v. 33, n. 14–15, pp. 3–7, 2019, doi: 10.1142/S0217984919400256.
- [12] ALOYAYDI, B., S. SIVASANKARAN, AND A. MUSTAFA, “Investigation of infill-patterns on mechanical response of 3D printed poly-lactic-acid,” *Polym. Test.*, v. 87, n. April, p. 106557, 2020, doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106557.
- [13] PARAB, S. AND N. ZAVERI, “Investigating the Influence of Infill Pattern on the Compressive Strength of Fused Deposition Modelled PLA Parts,” *Lect. Notes Mech. Eng.*, n. April, pp. 239–247, 2020, doi: 10.1007/978-981-15-4485-9\_25.
- [14] SILVA, C., A. I. PAIS, G. CALDAS, B. P. P. A. GOUVEIA, J. L. ALVES, AND J. BELINHA, “Study on 3D printing of gyroid-based structures for superior structural behaviour,” *Prog. Addit. Manuf.*, n. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s40964-021-00191-5.
- [15] YADAV, P., A. SAHAI, AND R. S. SHARMA, “Strength and Surface Characteristics of FDM-Based 3D Printed PLA Parts for Multiple Infill Design Patterns,” *J. Inst. Eng. Ser. C*, v. 102, n. 1, pp. 197–207, 2021, doi: 10.1007/s40032-020-00625-z.
- [16] SUTEJA, J., “Effect of Infill Pattern, Infill Density, and Infill Angle on the Printing Time and Filament Length of 3D Printing,” *J. Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, p. 145, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.16.