

PENGARUH POLA ISIAN TERHADAP KEKUATAN PRODUK HASIL CETAK 3D PRINTING BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE GLYCOL (PETG)*

Gilar Pandu Annanto^{*1}, Imam Syafa'at¹ dan Dwi Prasetyo¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.

Email: gilarpanduannanto@gmail.com

Abstrak

Fused deposition modeling (FDM) merupakan salah satu jenis teknologi *additive manufacturing* yang saat ini populer dan banyak digunakan. Metode *FDM* mampu membuat komponen dari beberapa material seperti *PLA*, *ABS*, dan *PETG*. Kekuatan dari komponen yang dicetak menggunakan *FDM* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang seperti pemilihan material dan pola isian. Penelitian ini berfokus untuk meneliti kombinasi optimal agar menghasilkan komponen dengan waktu cetak yang tidak lama tetapi memiliki kekuatan yang cukup. Spesimen berbahan *PETG* diberikan variasi pola isian *cubic*, *grid*, *gyroid*, *honeycomb* dan *hillbert curve*. Spesimen yang telah tercetak kemudian dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui nilai kekuatannya. Kesimpulan yang didapatkan adalah pola isian *grid* menghasilkan nilai *ratio* waktu cetak-kekuatan paling tinggi yang dapat diartikan pola isian ini merupakan pola isian yang optimal baik dari segi kekuatan dan waktu cetak

Kata kunci: *3d printing*, *fdm*, *petg*, kekuatan.

1. PENDAHULUAN

Teknologi *rapid prototyping* merupakan sebuah teknologi yang mampu untuk mengurangi lama waktu pembuatan dari sebuah produk. Salah satu jenis dari teknologi ini adalah *Additive manufacturing*. *Additive manufacturing* merupakan sebuah teknologi yang inovatif dan serba guna karena teknologi ini mampu mewujudkan sebuah model visual menjadi sebuah purwarupa yang mana mampu untuk diaplikasikan untuk keperluan industri ataupun dalam pengembangan suatu produk (Fernandez-Vicente dkk, 2016). Teknologi *additive manufacturing* sangat berkebalikan dengan konsep manufaktur tradisional, dimana pada manufaktur tradisional, sebuah material akan dibentuk dengan cara membuang bagian – bagian yang tidak diperlukan hingga menjadi sebuah bentuk komponen. *Additive manufacturing* membalik prosedur tersebut dan terbukti mampu untuk membuat sebuah komponen dengan harga yang lebih murah, waktu yang lebih cepat serta dengan tingkat kompleksitas yang tinggi. Terdapat banyak sekali jenis – jenis dari teknologi *additive manufacturing* seperti *SLA*, *LOM*, dan yang saat ini cukup populer adalah *FDM* (Ruban dkk, 2014).

FDM atau *fused deposition modelling* merupakan salah satu yang cukup digunakan saat ini, hal ini tidak lepas dari pengaruh berkembang pesatnya teknologi *3D printing* yang semakin murah. *FDM* berbasis *3D printing* mampu membantu industri dalam mempercepat pengembangan suatu produk dan bahkan dapat digunakan untuk manufaktur komponen yang dibutuhkan (Srinivasan dkk, 2020). Cara kerja dari *FDM* adalah dengan melelehkan bahan yang berupa filament polimer dan menumpuknya untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan (Chua dkk, 2014). Filament polimer yang digunakan memiliki beberapa jenis seperti *poly lactic acid (PLA)*, *acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*, *polyethylene terephthalate glycoon (PETG)*. *PETG* merupakan material yang memiliki kekuatan lebih tinggi dan ketahanan thermal yang lebih baik dibandingkan dengan material filament jenis lainnya, sehingga *PETG* seringkali dijadikan sebagai salah satu bahan yang sering digunakan untuk mendapatkan komponen yang *robust* (Guo dkk, 2018).

Kekuatan dari komponen yang dimanufaktur menggunakan metode *FDM* tidak hanya mengandalkan material *filament* yang digunakan saja, tetapi terdapat berbagai parameter seperti sudut orientasi, kerapatan isian, pola isian, ketebalan dinding dan lain sebagainya (durgasyam dkk, 2019). Pola isian (*infill*) merupakan parameter yang patut untuk dipertimbangkan, hal ini karena didalam proses *FDM*, terdapat banyak sekali variasi pola isian dan masing – masing dari pola isian tersebut menghasilkan komponen dengan kekuatan cetak yang berbeda serta lama cetak yang berbeda. Hal inilah yang menjadikan landasan penelitian ini, dimana penelitian ini bertujuan untuk

menemukan pola isian yang mampu menghasilkan komponen yang optimal baik dari segi kekuatan ataupun waktu cetak yang diperlukan

2. ALAT DAN BAHAN

2.1. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

2.1.1 Mesin 3D Printer

Mesin 3D printer merupakan alat yang digunakan untuk mencetak spesimen. Mesin 3D printer yang digunakan merupakan mesin milik laboratorium perancangan jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim yang berjenis *FDM* dengan merk *Ender 3 Pro*. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi lengkap dari mesin 3D printer yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi mesin 3D printer Ender 3 Pro

Nama	Keterangan
<i>Modeling technology</i>	FDM
<i>Printing size</i>	220*2020*250 mm
<i>Filament size</i>	175 mm
<i>File format</i>	STL, OBJ, AMF
<i>Nozzle Diameter</i>	0,4 mm

2.2.2 Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari spesimen yang telah dicetak menggunakan mesin 3D printer. Mesin uji tarik yang digunakan merupakan milik dari laboratorium material Jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi teknik dari mesin uji tarik yang digunakan.

Tabel 2. Spesifikasi mesin uji tarik

Parameter	Keterangan
<i>Capacity</i>	200 KN
<i>Speed (without loading)</i>	0-90 mm/min
<i>Resolution</i>	1/200,000 (Or 1/300,000 specified)
<i>Accuracy</i>	1%
<i>Driving Methode</i>	<i>Hydraulic system</i>
<i>Max space</i>	460 mm
<i>Grip for rod (rod diameter)</i>	10-40
<i>Grip for plate</i>	40×60 mm
<i>Effective space</i>	540 mm
<i>Diameter of comparession plate</i>	100
<i>Effective space</i>	280 mm

2.2. Bahan

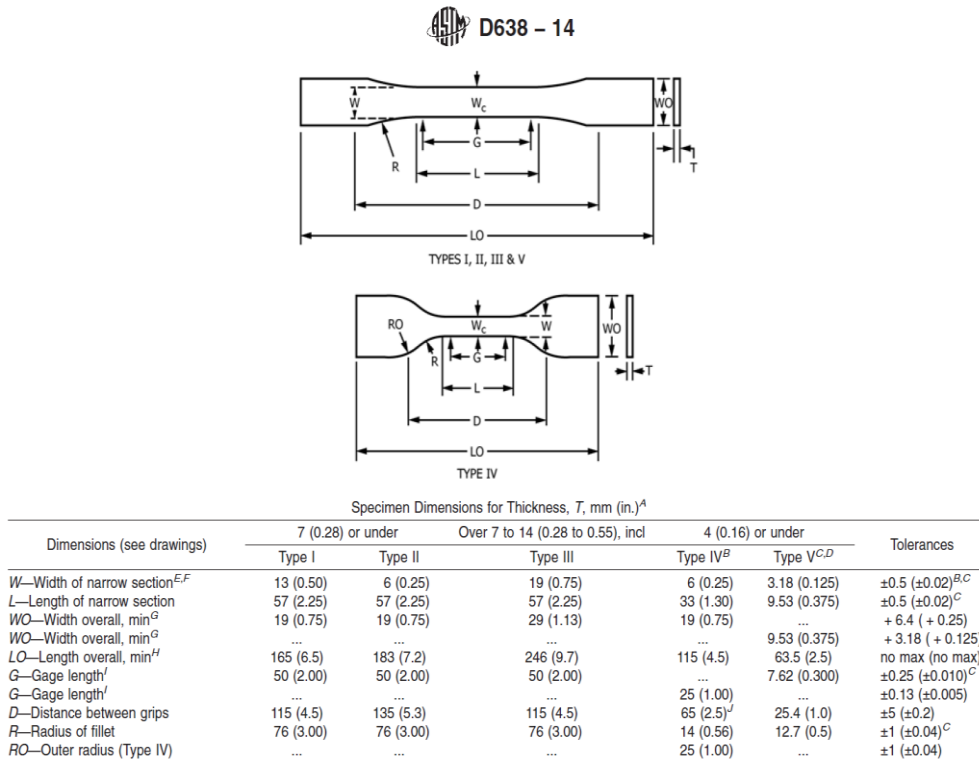
Bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen uji adalah *polyethylene terephtalate glycol* (PETG). Bahan ini merupakan salah satu yang cukup umum ditemui sebagai bahan dari *filament*. Adapun spesifikasi dari bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi material PETG

Parameter	Keterangan
Warna	Putih
Diameter	1,75 mm
<i>Roundness Tolerance</i>	0,01-0,02 mm
<i>Print Temperature</i>	230° - 250°C
<i>Print Bed Temperature</i>	70° - 100°C

3. PERMODELAN

Spesimen uji harus terlebih dahulu di desain 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.



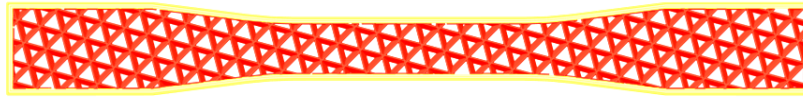
Gambar 1. Dimensi dari spesimen uji tarik (ASTM International, 2014)

Tabel 4. Variasi pola serta kerapatan isian spesimen

Infill	Kerapatan
Cubic	30%
	60%
Grid	30%
	60%
Gyroid	30%
	60%
Honeycomb	30%
	60%
Hilbert Curve	30%
	60%

Spesimen yang telah tergambar, selanjutnya disimpan kedalam format *stereolithography* (*.stl) yang merupakan salah satu format yang didukung oleh *software slicer* untuk bisa dilakukan proses *slicing*. Pada proses *slicing*, spesimen akan diberikan beberapa variasi pengaturan pada pola serta kerapatan dari isian (*infill*). Tabel 4 menunjukkan variasi – variasi yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 2 menunjukkan spesimen dengan *infill cubic* berkerapatan 30%, Gambar 3 menunjukkan spesimen dengan *infill cubic* berkerapatan 60%, Gambar 4 menunjukkan spesimen dengan *infill grid* berkerapatan 30%, Gambar 5 menunjukkan spesimen dengan *infill grid* berkerapatan 60%, Gambar 6 menunjukkan spesimen dengan *infill gyroid* berkerapatan 30%, Gambar 7 menunjukkan spesimen dengan *infill gyroid* berkerapatan 60%, Gambar 8 menunjukkan

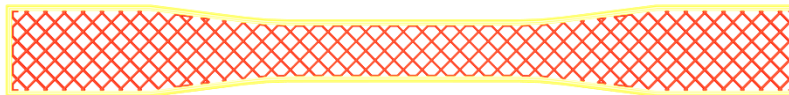
spesimen dengan *infill honeycomb* berkerapatan 30%, Gambar 9 menunjukkan spesimen dengan *infill honeycomb* berkerapatan 60%, Gambar 10 menunjukkan spesimen dengan *infill hillbert curve* berkerapatan 30%, Gambar 11 menunjukkan spesimen dengan *infill hillbert curve* berkerapatan 60%.



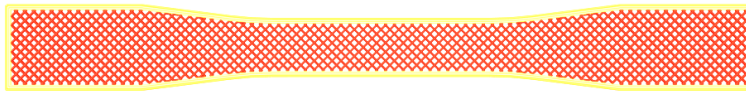
Gambar 2. Spesimen dengan *infill cubic* berkerapatan 30%



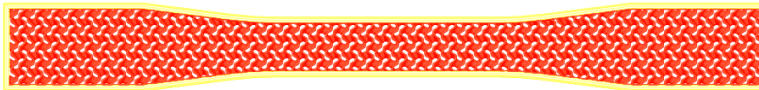
Gambar 3. Spesimen dengan *infill cubic* berkerapatan 60%



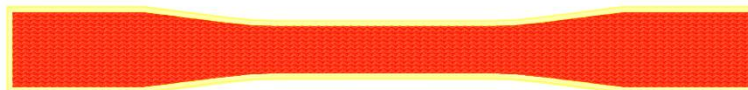
Gambar 4. Spesimen dengan *infill grid* berkerapatan 30%



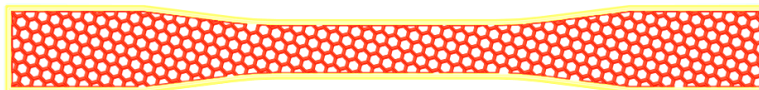
Gambar 5. Spesimen dengan *infill grid* berkerapatan 60%



Gambar 6. Spesimen dengan *infill gyroid* berkerapatan 30%



Gambar 7. Spesimen dengan *infill gyroid* berkerapatan 60%



Gambar 8. Spesimen dengan *infill honeycomb* berkerapatan 30%



Gambar 9. Spesimen dengan *infill honeycomb* berkerapatan 60%



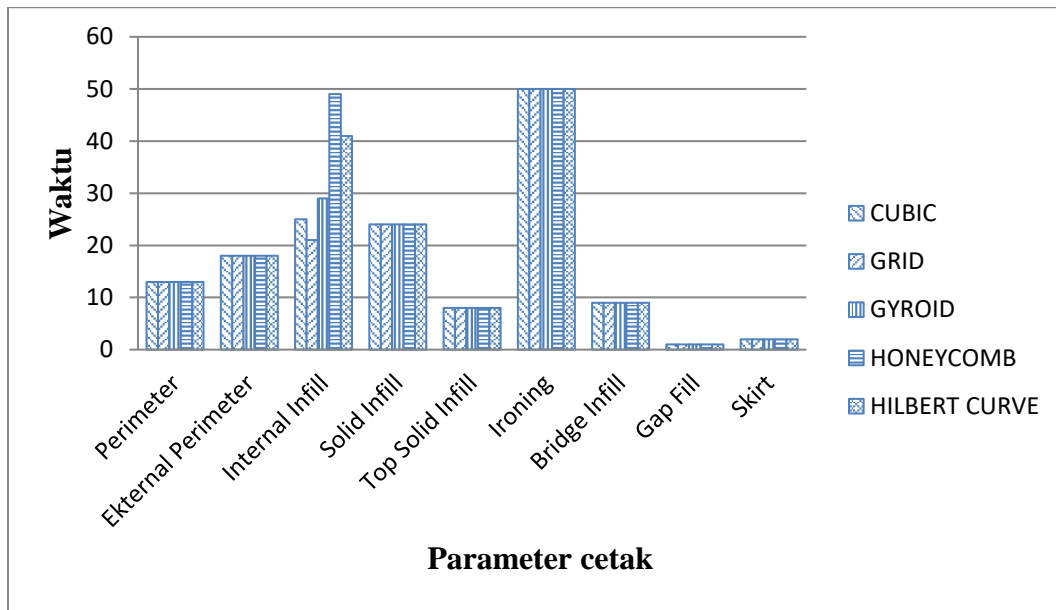
Gambar 10. Spesimen dengan *infill hillbert curve* berkerapatan 30%



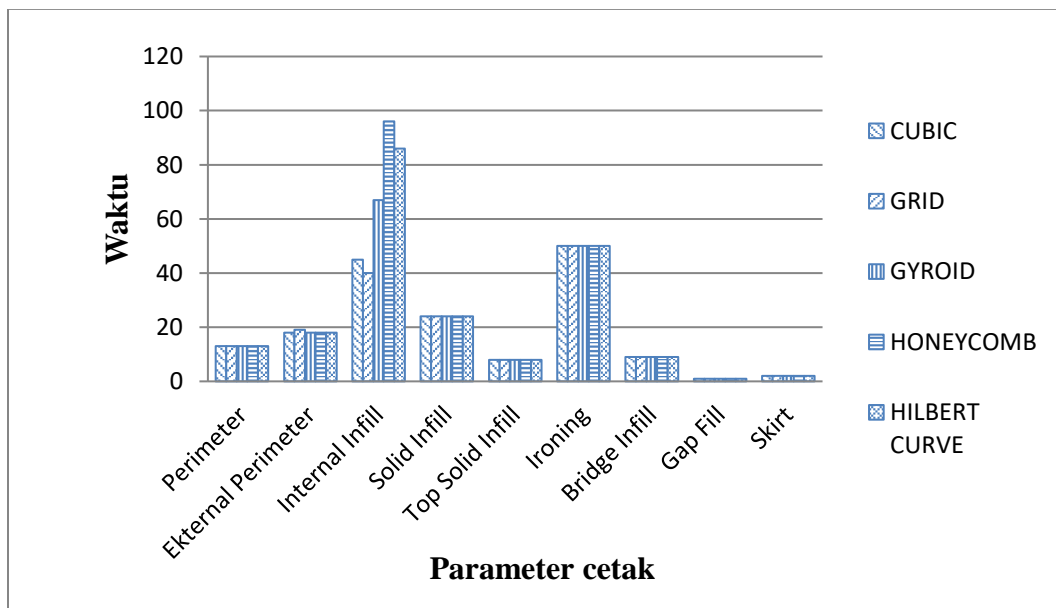
Gambar 11. Spesimen dengan *infill hilbert curve* berkerapatan 60%

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesimen yang telah melalui proses *slicing* selanjutnya dimanufaktur menggunakan mesin 3D printer. Setiap spesimen dengan jenis *infill* yang berbeda membutuhkan waktu cetak yang berbeda pula. Gambar 12 menunjukkan data waktu cetak yang dibutuhkan setiap parameter cetak pada kerapatan 30% dan Gambar 13 menunjukkan data waktu cetak yang dibutuhkan setiap parameter pada kerapatan 60%.



Gambar 12. Waktu cetak yang dibutuhkan setiap parameter pada kerapatan 30%



Gambar 13. Waktu cetak yang dibutuhkan setiap parameter pada kerapatan 60%

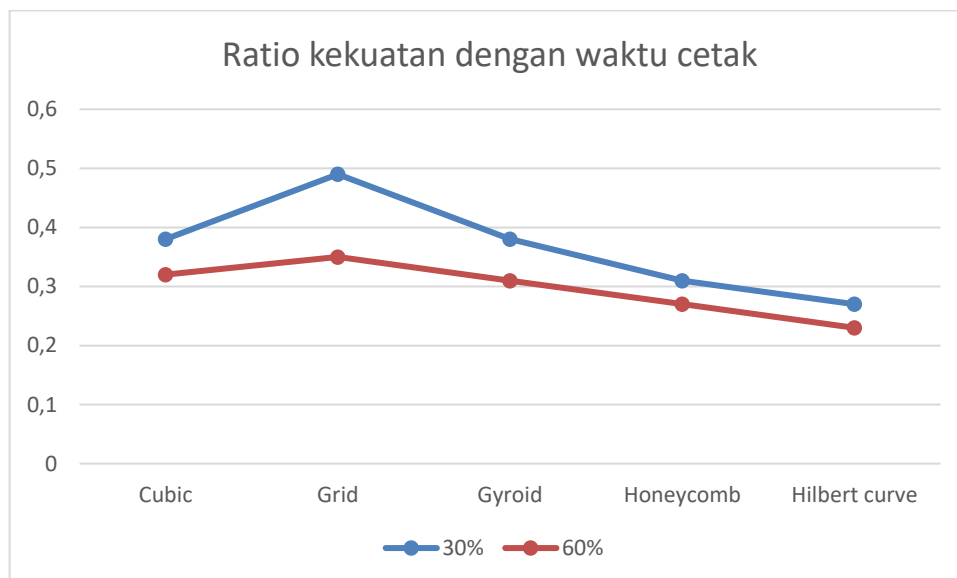
Dari Gambar 12 dan Gambar 13, dapat terlihat bahwa perbedaan waktu yang signifikan terdapat pada saat memproses parameter *internal infill*. *Infill* berjenis *honeycomb* membutuhkan waktu cetak yang lebih lama dibandingkan dengan jenis *infill* yang lain, hal ini dikarenakan kompleksitas dari pola *infill honeycomb*. Proses cetak tercepat dicapai dengan menggunakan *infill* berjenis *grid*. *Infill* berjenis *gyroid* dapat tercetak lebih cepat 2,5 kali dibandingkan dengan *infill* berjenis *honeycomb*. Hal ini dikarenakan, *infill* berjenis *grid* memiliki pola yang lebih sederhana dibandingkan dengan pola *infill* lainnya.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari setiap masing – masing spesimen. Pada proses ini, spesimen akan ditarik hingga nilai pada nilai beban tertentu membuat spesimen mengalami kegagalan materia. Adapun nilai – nilai yang merupakan hasil dari pengujian tarik pada spesimen dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian tarik terhadap spesimen hasil cetak mesin 3D printer

Jenis <i>infill</i>	Tensile strength (MPa)	
	Kerapatan 30%	Kerapatan 60%
<i>Cubic</i>	29,368	28,054
<i>Grid</i>	36,616	30,599
<i>Gyroid</i>	28,556	31,124
<i>Honeycomb</i>	27,741	30,986
<i>Hilbert Curve</i>	23,304	25,378

Dari Tabel 5 diketahui bahwa pada kerapatan 30%, spesimen dengan jenis *infill grid* memberikan nilai kekuatan yang lebih besar dan sebaliknya pada spesimen dengan *infill hillbert curve* merupakan varian yang terlemah. Pada kerapatan 60% diketahui bahwa spesimen terkuat merupakan spesimen dengan *infill* berjenis *gyroid* dan spesimen terlemah merupakan spesimen dengan *infill* berjenis *hillbert curve*. Dengan membandingkan hasil kekuatan dengan waktu cetak, maka didapatkan sebuah ratio yang menunjukkan parameter yang optimal dalam hal kekuatan serta waktu cetak. Gambar 14 merupakan hasil dari perbandingan kekuatan dengan waktu cetak.



Gambar 14. Ratio kekuatan dengan waktu cetak.

Dari Gambar 14, diketahui bahwa spesimen dengan *infill* berjenis *grid* memiliki nilai ratio yang terbesar dibandingkan dengan *infill* yang lainnya baik pada kerapatan 30% dan 60%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa *infill grid* merupakan *infill* yang cukup efisien, dimana *infill* berjenis ini mampu memberikan kekuatan dengan waktu cetak yang tidak terlalu lama. Sebaliknya, *infill* yang dianggap

kurang efisien pada penelitian ini adalah *hillbert curve* dimana specimen dengan *infill* jenis ini memiliki nilai ratio yang paling rendah baik pada kerapatan 30% dan 60%.

5. KESIMPULAN

Proses manufaktur berbasis 3D *printing* merupakan salah satu metode manufaktur yang mampu memberikan hasil dengan waktu yang cukup cepat dibandingkan dengan metode – metode lainnya. Namun, hasil akhir dari proses ini dapat memiliki hasil yang beragam tergantung dengan berbagai faktor salah satunya adalah penentuan pola isian atau *infill*. Dari penelitian ini diketahui bahwa, pada kerapatan 30%, *infill* berjenis *grid* menghasilkan nilai kekuatan paling tinggi yaitu 36,616 MPa dan sebaliknya *infill* berjenis *hillbert curve* menghasilkan nilai kekuatan yang paling rendah dengan nilai 23,304 MPa. Pada kerapatan 60%, nilai kekuatan tertinggi dihasilkan oleh *infill* berjenis *gyroid* dengan nilai sebesar 31,124 MPa dan nilai terendah dihasilkan oleh *infill* berjenis *hillbert curve* dengan nilai sebesar 25,378 MPa. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa *infill* berjenis *grid* memiliki nilai ratio tertinggi baik pada kerapatan 30% dan 60%. Nilai ratio ini menunjukkan bahwa *infill* berjenis *grid* merupakan *infill* yang paling efisien dimana *infill* berjenis ini menghasilkan cukup kekuatan dengan waktu yang cukup cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2014). Standard test method for tensile properties of plastics. Astm International.
- Chua, C. K., Leong, K. F., & An, J. (2020). Introduction to rapid prototyping of biomaterials. In Rapid prototyping of biomaterials (pp. 1-15). Woodhead Publishing.
- Primack, H.S., (1983), Method of Stabilizing Polyvalent Metal Solutions, *U.S. Patent No. 4,373,104*
- Durgashyam, K., Reddy, M. I., Balakrishna, A., & Satyanarayana, K. (2019). Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2052-2059.
- Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & Conejero, A. (2016). Effect of infill parameters on tensile mechanical behavior in desktop 3D printing. *3D printing and additive manufacturing*, 3(3), 183-192.
- Guo, J., Xiao, R., Tian, C., & Jiang, M. (2018). Optimizing physical aging in poly (ethylene terephthalate)-glycol (PETG). *Journal of Non-Crystalline Solids*, 502, 15-21.
- Ruban, W., Vijayakumar, V., Dhanabal, P., & Pridhar, T. (2014). Effective process parameters in selective laser sintering. *International Journal of Rapid Manufacturing*, 4(2-4), 148-164.
- Blau, P.J., (2009), *Friction Science and Technology: From Concepts to Applications*, 2nd Ed., CRC Press, New York, pp. 183-219.
- Srinivasan, R., Ruban, W., Deepanraj, A., Bhuvanesh, R., & Bhuvanesh, T. (2020). Effect on infill density on mechanical properties of PETG part fabricated by fused deposition modelling. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1838-1842.
- Hsu, S.M. and Shen, M.C., (2005), *Wear Mapping of Materials*, in Stachowiak, G.W. (Ed.). *Wear - Materials, Mechanisms and Practice*, John Wiley & Sons, London, pp. 369-423.