

ANALISIS PENGARUH BENTUK *INFILL* TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN ASTM D638-14 MATERIAL *POLYLACTIC ACID* PRODUK MESIN CETAK 3D

Imam Syafa'at*, Prayogo Setyawan, Iman Mujiarto

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maritim AMNI
Jl. Soekarno Hatta 180, Semarang 50199

* Email: imamsyafaat@unwahas.ac.id

Abstrak

Banyak produk berbahan dasar plastik hasil cetakan mesin printer 3D yang belum teruji kekuatannya. Kekuatan produk cetakan tergantung dari bahan yang dipakai dan jenis internal geometry (*infill*). Penelitian ini bertujuan menganalisa kekuatan hasil cetakan 3D printer berbahan *polylactic acid* (PLA) dengan variasi densitas *infill* dan bentuk *infill*. Spesimen ASTM D638-14 dicetak menggunakan printer 3D dengan lima bentuk variasi *infill*, yaitu *cubic*, *grid*, *gyroid*, *Hilbert curve* dan *honeycomb*. Masing-masing *infill* tersebut mempunyai densitas *infill* 30% dan 60%. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari masing-masing spesimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen dengan densitas *infill* 30% kekuatan tertinggi terjadi pada bentuk *infill honeycomb* dengan nilai 22,64 MPa dan terendah terjadi pada *infill grid* dengan nilai 19,81 MPa. Pada spesimen dengan densitas 60% kekuatan tertinggi terjadi pada *infill honeycomb* dengan nilai 27,52 MPa dan terendah terjadi pada *infill Hilbert curve* dengan nilai 22,04 MPa. Secara umum bentuk patahan hasil uji tarik membentuk sudut 60° untuk semua jenis *infill*. Semakin besar densitas *infill* material cenderung lebih getas dibandingkan densitas *infill* yang lebih kecil.

Kata kunci : 3D printer, densitas, *infill*

PENDAHULUAN

Dewasa ini produk berbahan baku dari plastik atau polimer banyak ditemui di pasaran khususnya untuk tujuan perancangan. Produk untuk kepentingan perancangan maupun pembuatan protipe banyak melibatkan mesin cetak 3 dimensi (3D) untuk membentuknya. Istilah ini dikenal dengan *rapid prototyping* (RP). Menurut Mahindru & Mahendru (2013), RP adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menggambarkan teknologi yang dapat membuat benda tiga dimensi dalam satu proses secara langsung melalui CAD. Pembuatan sebuah *prototype* dengan menggunakan sebuah mesin printer 3D diawali dengan membuat sebuah desainnya terlebih dahulu dengan menggunakan *software*. Hasil desain ini digunakan yang akan digunakan sebagai input di mesin cetak 3D untuk dilakukan pencetakan. Pencetakan dengan menggunakan material baik berupa logam, plastik maupun jenis resin.

Berbagai material cetak 3D telah tersedia di pasaran, salah satu diantaranya adalah jenis plastic yakni *polylactic acid* (PLA). PLA adalah polimer termoplastik yang terbuat dari sumber daya terbarukan. Ini membuatnya lebih

ramah lingkungan daripada *filament* lain yang dibuat melalui cara yang tidak dapat diperbarui. PLA dapat digunakan untuk mencetak objek yang lebih detail dan biasanya akan menghasilkan sudut tajam dengan mudah. Dibandingkan bahan lain, PLA memiliki suhu cetak yang relatif rendah, sehingga nyaman dan serbaguna untuk pencetakan (www.sd3d.com). Hasil dari proses pembuatan sebuah benda dengan menggunakan printer 3D yang menggunakan bahan PLA terlihat cukup kuat namun masih belum diketahui secara pasti berapakah kekuatan bahannya. Untuk mengetahui kekuatan dari sebuah bahan perlu dilakukan pengujian kekuatan tarik terhadap material dengan beberapa jenis *infill* dan sudut. Produk kemudian diuji tarik dengan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu.

Pencetakan benda 3D tidak harus dalam bentuk benda *solid* / padat. Untuk pertimbangan ekonomis tetapi tanpa mengurangi kekuatan produk, keberadaan *infill* atau bentuk isian menjadi pertimbangan yang sangat penting dalam proses desain. Berbagai penelitian telah

dilakukan tentang kajian *infill* seperti dalam Annanto dkk (2021a dan 2021b) serta Lubis & Sutanto (2014). Sedangkan penelitian tentang PLA telah diungkap oleh Bari (2021), serta Mahardika & Haneif (2017). Kesemuanya mencatat bahwa kekuatan produk tergantung dari pengaturan parameter cetak dan juga bentuk dan konfigurasi *infill*.

Berbagai kajian telah dilakukan oleh para peneliti seputar produk 3D namun belum banyak ditemui uji kekuatannya. PLA adalah salah satu material yang memiliki kelebihan pada bagian tepi produk yang tajam sesuai desain. Konfigurasi isian cetakan sangat menentukan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan produk hasil cetakan mesin 3D menggunakan filamen PLA. Pembuatan spesimen sesuai standar ASTM D638-14 divariasikan jenis *infill* dan densitas *infill*-nya.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan material filamen PLA untuk mencetak *specimen* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 dimana diamatannya adalah 1,75 mm.



Gambar 1. Filamen PLA

Untuk pencetakan spesimen uji tarik menggunakan mesin 3D printer dengan teknik *Fused Deposition Modelling* (FDM). Kekuatan tarik filamen jenis ini adalah 48,8 MPa (<https://www.sd3d.com>).

Gambar 2 menunjukkan mesin 3D printer *Creality Ender* sebagai sarana pencetakan benda. Mesin ini memiliki spesifikasi ukuran cetak 220×220×250 mm dengan tipe single nozzle, 0,4 mm dan tipe ekstruder bowden. Untuk membuat programnya, menggunakan aplikasi *Prusa slicer*. Software ini dilengkapi dengan 16 variasi jenis *infill* atau geometri internal dan variasi densitas atau kerapatan *infill* dari 0-100%. Di dalam software ini tersedia pengaturan printer, pengaturan filament, dan pengaturan pencetakan seperti suhu nozzle, suhu bad, support material, dan

lain-lain. Software ini dapat di download secara gratis di internet. Sedangkan untuk mengetahui kekuatan tarik, mesin uji tarik yang digunakan dalam penelitian ini *GOTECH GT-7001-LC10* kapasitas 200 kN.



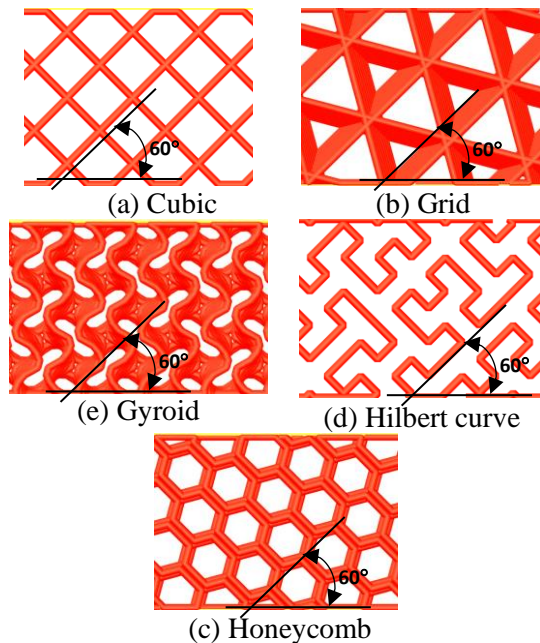
Gambar 2. Mesin 3D printer Creality ender

Penelitian ini dimulai dengan pemilihan model spesimen uji tarik yang sesuai dengan jenis isian (*infill*) dan kerapatan atau densitas yang akan dibuat. Model yang cocok untuk *specimen* uji tarik ini adalah standar ASTM D638-14 model yang pertama masing-masing benda uji memiliki ketebalan 3,2 mm dan panjang 165 mm. Setelah menemukan model yang tepat kemudian membuat desain 3D dengan menggunakan *software Solidworks*. Desain yang sudah jadi disimpan dengan format *.stl*.file *.stl* tadi diberi *infill* dan densitas yang diinginkan kemudian di convert ke *G-code* dengan menggunakan *software Prusa Slicer* supaya desain tadi bisa dibaca oleh mesin printer 3D. File *G-code* yang sudah dibuat, disimpan di memori untuk dimasukkan ke mesin printer 3D. Lima macam variasi *infill* adalah bentuk *grid*, *cubic*, *honeycomb*, *Hilbert curve* dan *gyroid* (Prusa & Bach (2019)).

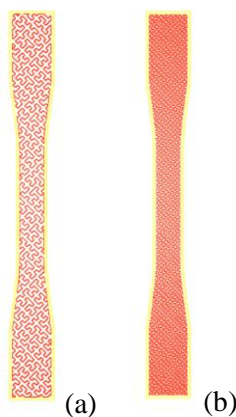
Gambar 3 memperlihatkan jenis-jenis *infill* yang dipergunakan dalam penelitian ini dengan densitas *infill* 30%. Untuk visualisasi densitas 60% lebih rapat dua kalinya dibanding densitas 30% (lihat Gambar 4). Setelah objek atau *specimen* dicetak kemudian dilakukan pengujian tarik. Selama proses pencetakan sampel menggunakan mesin printer 3D. Metode FDM digunakan dalam pencetakan sebuah objek

melalui proses *ekstruksi* dengan konsep pencetakan *layer to layer* atau lapis demi lapis.

dan bottom fill pattern berupa *monotonic*. Detil parameter seperti disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Jenis-jenis *infill* pemodelan software yang digunakan dalam penelitian ini



Gambar 4. Densitas *infill* (a) 30% dan (b) 60% bentuk *infill* Hilbert curve

Gambar 5 memperlihatkan lima macam jenis *infill* dimana masing-masing infill mempunyai densitas 30% dan 60%. Setiap sampel diberikan kode dengan urutan nama untuk memudahkan proses identifikasi kerapatan internal geometri dan bentuk internal geometri. Pencetakan specimen menggunakan parameter suhu nozzle 220 °C dan suhu bed 70 °C. Sudut orientasi *infill* adalah 45°C, dan top

Tabel 1. Parameter pencetakan

Paramater	Besaran
Bahan <i>filament</i>	PLA
Diameter <i>filament</i>	1,75 mm
Suhu <i>nozzle</i>	220 °C
Suhu bed	70 °C
Sudut orientasi <i>infill</i>	45 ° (default)
Kecepatan <i>nozzle</i>	60 mm/s
Top fill pattern	Monotonic
Bottom fill pattern	Monotonic
Length of the <i>infill</i> anchor	600 %
Max. length of the <i>infill</i> anchor	50 mm
Tinggi <i>layer</i>	0,2 mm



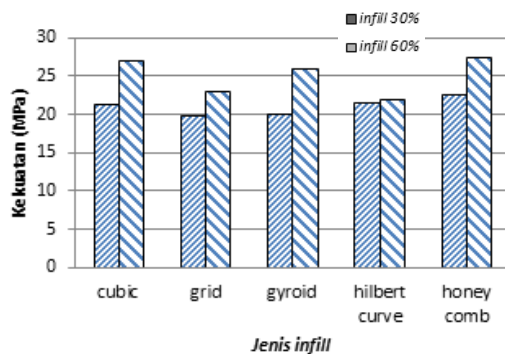
Gambar 5. Sampel specimen uji tarik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji tarik pada gambar 6 yang telah dilakukan terhadap densitas *infill* 30% dan 60% pada masing-masing jenis *infill*. Pada *specimen* dengan densitas 30% kekuatan tertinggi terjadi pada *infill honeycomb* dengan nilai 22,65 MPa dan terendah terjadi pada *infill grid* dengan nilai 19,81 MPa. Pada specimen dengan densitas 60%, kekuatan tertinggi juga terjadi pada *infill honeycomb* dengan nilai 27,52 MPa dan terendah terjadi pada *infill Hilbert curve* dengan nilai 22,04 MPa. Terbukti bahwa jenis honeycomb memiliki konstruksi yang lebih kuat dibandingkan jenis *infill* lainnya. Bentuk dasar segienam yang menyusun *infill* jenis ini (lihat Gambar 3) membuat ikatan diantara keenam sisinya saling memperkuat (Talukdar dan Dutta, 2019). Disamping hemat tempat, secara desain bentuk segienam memiliki keunggulan

tersendiri. Hal ini sesuai apa yang dicatat oleh Pirk, dkk (2004). Bentuk segienam dapat tersusun tanpa menimbulkan ruang kosong antar bangunnya. Bentuk-bentuk seperti kepala baut, mur, paving jalan, pattern bola sepak adalah contoh aplikasi segi enam. Sedangkan sarang lebah adalah contoh di alam.

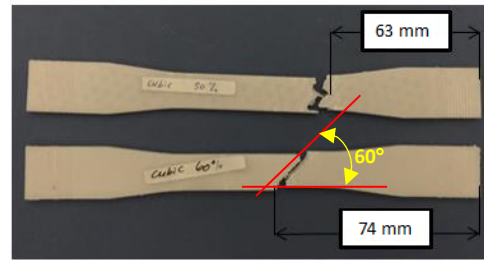
Secara umum densitas *infill* 60% menunjukkan kekuatan tertinggi dibandingkan densitas 30% pada semua jenis *infill*. Hal ini sangat logis karena semakin padat isian specimen maka akan semakin besar kekuatannya. Dengan luasan area yang lebih besar karena rapatnya *infill*, maka daya tahan terhadap beban dari luar akan semakin besar, demikian juga sebaliknya. Jika dibandingkan dengan spesifikasi filamen kekuatan tarik material jenis polylactic acid yang memiliki kekuatan sebesar 48,8 MPa maka di semua jenis *infill* terjadi penurunan kekuatan. Penurunan kekuatan 43,6% terjadi pada *infill* yang paling kuat (honeycomb 60%) dan penurunan kekuatan 59,4% terjadi pada *infill* yang paling rendah (grid 30%). Penurunan ini sangat beralasan mengingat filamen telah mengalami perubahan bentuk menjadi produk specimen dimana selama proses cetak telah mengalami pemanasan. Hal ini membuat kekuatannya menjadi berkurang.



Gambar 6. Diagram kekuatan terhadap *infill* 30% dan 60%.

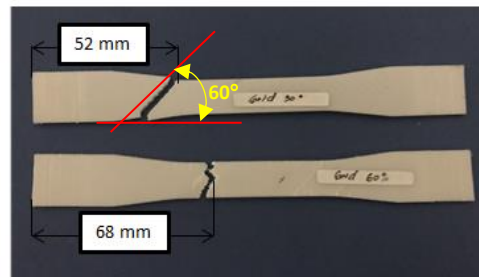
Gambar 7 memperlihatkan hasil uji tarik memperlihatkan bahwa jenis *infill* cubic ini patah pada jarak 74 mm untuk densitas 30% dan 63 mm pada densitas 60%. Sudut patahan pada densitas 60% membentuk sudut berkisar 60°. Jika mengacu pada visualisasi bentuk patahan (logam) berdasarkan pengelompokan sifat material ulet dan getas, maka densitas 60 % ini dapat dikategorikan lebih ulet dibanding 30%. Pada densitas 30% sudut yang terbentuk

cenderung acak, yakni gabungan dari beberapa sudut tertentu.

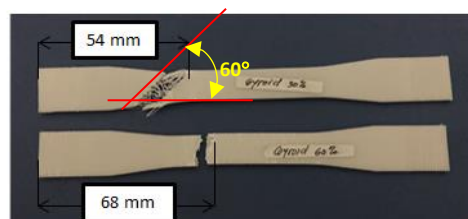


Gambar 7. Hasil uji tarik *infill* Cubic

Gambar 8 memperlihatkan patahan *infill* grid densitas 30% membentuk sudut kemiringan sekitar 60°. Sedangkan pada spesimen densitas 60% lebih menyerupai bentuk datar atau sudut 0° walau ada besaran sudut yang lain. Ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran densitas *infill*, disamping akan memperkuat konstruksi, juga akan semakin mengurangi keuletan produk. Hal ini berbeda dengan apa yang terjadi pada *infill* cubic.



Gambar 8. Hasil uji tarik *infill* Grid

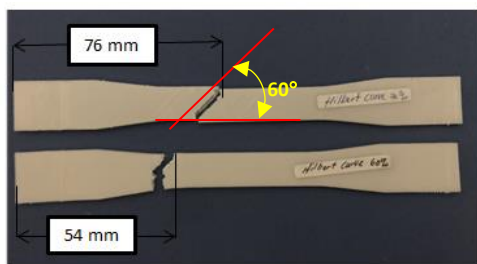


Gambar 9. Hasil uji tarik *infill* Gyroid

Gambar 9 memperlihatkan hasil eksperimen *infill* gyroid yang terlihat serabut-serabut dan membentuk kemiringan pada densitas 30%. Sedangkan pada densitas 60% bentuk patahannya relatif datar. Hal ini mengindikasikan bahwa densitas 60% tingkat keuletannya lebih rendah dibanding densitas

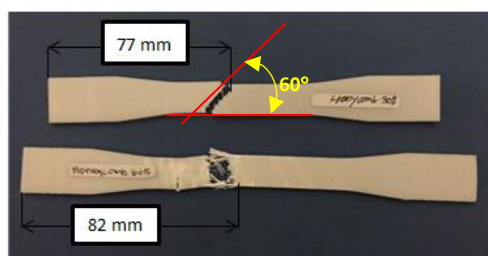
30%. Lebih sedikitnya rongga di dalam cetakan pada densitas 60% membuat spesimen nampak lebih getas pada *infill grid* ini.

Gambar 10 memperlihatkan pada densitas 30% membentuk kemiringan. Pada densitas 60% bentuk patahannya relatif datar. Hal ini mengindikasikan bahwa densitas 30% tingkat keuletannya lebih tinggi dibanding densitas 60%. Lebih banyaknya rongga di dalam cetakan pada densitas 30% membuat spesimen terlihat lebih ulet. Demikian juga sebaliknya.



Gambar 10. Hasil uji tarik densita Hilbert curve

Gambar 11 memperlihatkan bagaimana serat-serat filamen muncul setelah mengalami uji tarik pada densitas 60% *infill honeycomb*. Hal ini berbeda dengan apa yang terjadi pada gyroid (Gambar 8) dimana yang menampilkan seratnya pada spesimen densitas 30%. Yang paling penting untuk dicatat adalah secara umum, semakin besar densitas *infill* akan memberikan sifat getas terhadap spesimen. Namun hal ini tidak berlaku pada kasus *infill cubic*. Melihat hasil uji tarik jenis *infill* ini yang paling besar kekuatannya dibanding jenis *infill* lainnya, bisa disimpulkan bahwa terjadi penambahan panjang yang cukup signifikan.



Gambar 11. Hasil uji tarik infill honeycomb

Ringkasan bentuk patahan dari berbagai jenis *infill* dapat dilihat dalam Tabel.2. Jika melihat susunan *infill* yang membentuk sudut

60° pada Gambar 3, sangat wajar jika sudut patahan yang terbentuk juga membentuk sudut 60°. Hanya saja yang terjadi pada jenis *infill cubic* densitas 60% yang menghasilkan sudut 60°, sedangkan *infill* yang lain terjadi pada densitas 30%.

Tabel 2. Bentuk sudut patahan

<i>Infill</i>	Densitas <i>infill</i>	
	30 %	60 %
Cubic	Sudut acak	Sudut 60°
Grid	Sudut 60°	Sudut acak
Gyroid	Sudut 60°	Sudut 0°
Hilbert curve	Sudut 60°	Sudut acak
Honeycomb	Sudut 60°	Sudut 0°

PENUTUP

Kesimpulan

Pembuatan spesimen uji tarik ASTM D638-14 berbahan filamen PLA telah selesai dibuat dengan mesin cetak 3D. Spesimen telah diuji tarik. Berikut ini kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini.

1. Hasil uji tarik menunjukkan *specimen* dengan densitas 30% dengan kekuatan tertinggi terjadi pada *infill honeycomb* dengan nilai 22,65 MPa dan terendah terjadi pada *infill grid* dengan nilai 19,81 MPa. Dan pada *specimen* dengan densitas 60% kekuatan tertinggi terjadi pada *infill honeycomb* dengan nilai 27,52 MPa dan terendah terjadi pada *infill Hilbert curve* dengan nilai 22,04 MPa.
2. Bentuk patahan spesimen hasil uji tarik membentuk sudut 60° mengikuti pattern *infill* dari software. Semakin besar densitas *infill* material cenderung lebih getas dibandingkan densitas *infill* yang lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D638, 2000. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International.
- Bari, M.B., 2021. Optimasi Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi L27. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

- Lubis, S. dan 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), pp.26-33.
- Mahardika dan Haneif A., 2017 Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D-Printing Material Polylactic Acid Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode TAGUCHI. Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Mahindru, P. D. V dan Mahendru, P. P. 2013 Review Of Rapid Prototyping Technology For The Future. *Global Journal Of Computer Science and Technology Graphics & Vision* 13(4): Version 1.
- PLA Technical Data Sheet. 2017. PLA Properties. <https://www.sd3d.com/3d-printing/materials/>
- Prusa, J., dan Bach, M. 2019. *Basics of 3D Printing with Josef Prusa*. Prague.
- Annanto, G.P., Syafa'at, I., Ardianto, I.N., 2021. Pengaruh Infill Pattern Terhadap Kekuatan Hasil Cetakan 3D Printing Berbahan Poly-Lactic Acid, *Momentum* 17 (2).
- Annanto, G.P., Syafa'at, I., Prasetyo, D., 2021, Pengaruh Pola Isian Terhadap Kekuatan Produk Hasil Cetak 3d Printing Berbasis Fused Deposition Modeling Dengan Menggunakan Material Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG), *Prosiding SNST Fakultas Teknik 1* (1).
- Talukdar, D. dan Dutta, K., 2019. A simplified thermomechanical approach to visualize hexagonal honeycomb construction. *SN Applied Sciences*, 1(10), pp.1-7.
- Pirk, C.W.W., Hepburn, H.R., Radloff, S.E. dan Tautz, J., 2004. Honeybee combs: construction through a liquid equilibrium process?. *Naturwissenschaften*, 91(7), pp.350-353.