

PENGARUH PARAMETER EKSTERNAL PROSES 3D PRINTING TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL CETAK FILAMENT PLA +

Mohammad Alfidera⁽¹⁾, Asmar Finali⁽¹⁾, Chairul Anam⁽¹⁾, Agung Fauzi Hanafi⁽¹⁾ dan Prabuditya Bhisma W.W^(1*)

⁽¹⁾ Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

^(*)E-mail *Corresponding Author* : prabuditya.bww@gmail.com

Abstrak

Dalam dunia industri, plastik semakin diminati selain logam, terutama di bidang penelitian, berkat modernisasi penggunaan 3D printer. Teknologi FDM (*Fused Deposition Modeling*) memungkinkan pembuatan objek 3D dari model digital dengan metode manufaktur aditif, menggunakan filamen yang dilelehkan. Teknologi ini populer karena kemudahan penggunaan, biaya rendah, ramah lingkungan, dan efisiensi dalam pengembangan produk. Namun, produk FDM memiliki sifat mekanik lebih lemah dibandingkan dengan *injection moulding* karena adanya titik lemah di antara lapisan-lapisannya. Oleh karena itu, pengaturan parameter yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kekuatan tarik filamen. Uji tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan produk 3D printing, menunjukkan bahwa variasi arah susunan cetakan dan ketinggian lapisan dapat meningkatkan sifat mekanis objek FDM. Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik rata-rata sebesar 28,5 MPa untuk ABS dan 56,6 MPa untuk PLA, dengan modulus elastisitas masing-masing 1807 MPa dan 3368 MPa. Pengujian lebih lanjut menemukan perbedaan kekuatan tarik pada berbagai kombinasi pola eksternal *Concentric* dan *Rectilinear*, dengan pola *Concentric* pada suhu 210°C menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 61,49 MPa, dan pola *Rectilinear* pada suhu 220°C menghasilkan kekuatan tarik terendah sebesar 54,80 MPa. Analisis perbandingan menunjukkan pola *Concentric* pada suhu 220°C memiliki perbandingan terbesar 0,015, sedangkan pola *Rectilinear* pada suhu yang sama memiliki perbandingan terkecil 0,0132. Hasil ini menegaskan pentingnya analisis parameter proses untuk meningkatkan kekuatan tarik dan efisiensi material pada produk 3D printing.

Kata Kunci: 3D Printing, Kekuatan Tarik, Filament.

Abstract

In the industrial world, plastic is becoming increasingly popular alongside metal, especially in the field of research, thanks to the modernization of 3D printer usage. FDM (Fused Deposition Modeling) technology allows for the creation of 3D objects from digital models using additive manufacturing methods, with melted filament. This technology is popular due to its ease of use, low cost, environmental friendliness, and efficiency in product development. However, FDM products have weaker mechanical properties compared to injection molding because of weak points between the layers. Therefore, precise parameter settings are crucial to improving the tensile strength of the filament. Tensile testing is conducted to measure the strength of 3D printed products, showing that varying the printing orientation and layer height can enhance the mechanical properties of FDM objects. Research results indicate an average tensile strength of 28.5 MPa for ABS and 56.6 MPa for PLA, with elastic moduli of 1807 MPa and 3368 MPa, respectively. Further testing found differences in tensile strength among various combinations of Concentric and Rectilinear external patterns, with the Concentric pattern at 210°C producing the highest tensile strength of 61.49 MPa, and the Rectilinear pattern at 220°C producing the lowest tensile strength of 54.80 MPa. Comparative analysis shows that the Concentric pattern at 220°C has the highest ratio of 0.015, while the Rectilinear pattern at the same temperature has the lowest ratio of 0.0132. These results emphasize the importance of process parameter analysis to improve the tensile strength and material efficiency of 3D printed products.

Keyword : 3D Printing, Tensile Strength, Filament

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan dunia industri, salah satu material yang diminati selain logam ialah plastik, plastik mulai digemari terutama dibidang penelitian sehingga pengembangan dan efisiensi penggunaan plastik banyak yang sudah mengalami modernisasi terutama dalam penggunaan 3D printer, dengan teknologi ini peneliti dapat membuat objek 3D dengan bentuk apapun dari model digital 3D CAD sebagai desain dan pencetakannya menggunakan teknologi manufaktur aditif (*layer by layer*) dengan material filamen yang dilelehkan, dengan mesin 3D printer ini penggunaanya dapat membuat suatu produk yang siap pakai [1].

Teknologi FDM telah digunakan secara luas pada proses 3D printing karena penggunaan yang mudah, biayanya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih mudah dalam proses pengembangan produk, *prototyping* dan manufaktur [2].

Dilain sisi, produk yang dihasilkan menggunakan metode 3D printing FDM lazimnya memiliki sifat mekanik yang tidak lebih baik jika dibandingkan dengan proses *injection moulding* karena terdapat titik lemah diantara lapis-lapisnya. Setting parameter juga mempengaruhi hasil 3D Printing parameter-parameter tersebut tidak memiliki nilai pasti dalam proses pengerjaannya sehingga diperlukan analisis yang mendalam untuk mengetahui parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik filamen tersebut. Salah satu cara untuk mengetahui berapa besar kekuatan produk hasil 3D printing yaitu dengan melakukan uji tarik. Adapun tujuan dari pengujian yang dilakukan akan menghasilkan nilai tegangan tarik dari produk 3D printing. Spesimen tarik yang diambil dari bagian tengah yang mana ditarik dengan tegangan tertentu hingga melewati batas elastisitasnya [3].

Selanjutnya dari nilai tegangan tersebut akan dilakukan analisa pengaruh parameter proses terhadap besarnya nilai kekuatan dari spesimen uji yang dihasilkan. Tujuan pada Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter proses mesin 3D printing terhadap kekuatan produk, dan mengetahui hasil pengujian tarik dari variasi eksternal pattern terhadap material filament PLA+.

2. METODOLOGI

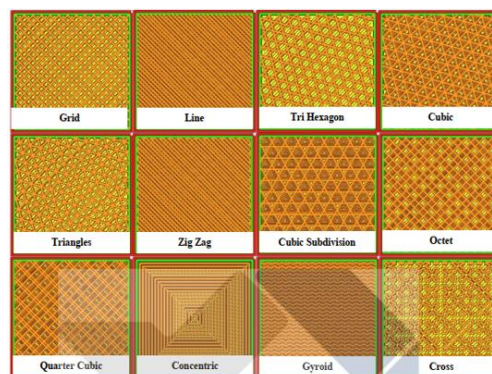
Parameter merupakan nilai-nilai pada saat proses pencetakan produk yang dapat diatur melalui software dan dapat dijadikan acuan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Pada printer 3D terdapat software yang dapat digunakan untuk mengatur parameter pencetakan, yang kemudian akan menghasilkan program diskusi berupa G-code yang kemudian akan dibaca oleh mesin. *Slicer* merupakan software yang dapat digunakan dalam pencetakan 3D dengan beberapa parameter yang terkandung di

dalamnya, seperti suhu nozzle. Pengaturan ini mengatur suhu nosel yang kemudian akan digunakan untuk mengeluarkan filamen selama proses pencetakan 3D. *Fill Density*, digunakan untuk mengatur tingkat kepadatan bagian tengah objek yang akan dicetak. Nilai kepadatan pada kepadatan pengisian diatur dalam persentase yang berkisar antara 0% hingga 100%. Semakin tinggi persentase pemakaiannya maka inti benda cetakan akan semakin padat dan akan memperlambat proses pencetakan; sebaliknya, semakin rendah tingkat pemanfaatannya maka inti benda yang dicetak akan semakin longgar dan proses pencetakan akan semakin cepat. .

Kecepatan disebut juga *speed* digunakan untuk mengatur kecepatan gerakan yang dilakukan saat mencetak. Saat mengatur kecepatan yang akan digunakan, terdapat pengaturan *default* yang mencakup tiga pengaturan kecepatan yang perlu diperhatikan, seperti:

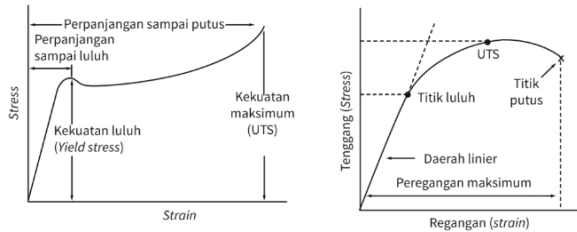
1. Kecepatan *periferal* adalah pengaturan kecepatan untuk casing. Semakin lambat proses pencetakan, semakin sedikit bahan yang diekstrusi.
2. Kecepatan pengisian biasanya digunakan untuk mengatur kecepatan pencetakan pola atau bentuk pengisian objek 3D.
3. Kecepatan gerak adalah pengaturan kecepatan yang digunakan untuk mengatur pergerakan nosel saat pencetakan tidak sedang berlangsung.

Fill pattern, merupakan pengaturan yang digunakan untuk menentukan pola atau bentuk yang mengisi inti objek cetakan. Setiap pola atau bentuk pola pengisi memiliki kekuatan struktur dan kecepatan pencetakan yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan pola isian disesuaikan dengan jenis model, kekuatan struktur yang diinginkan, dan kecepatan pencetakan. Pola isian hanya dapat digunakan bila nilai persentase kepadatan isian kurang dari 100% sehingga pola atau bentuk isian dapat terbentuk. Pola isian mempunyai banyak pola atau bentuk, namun pada software Ultimaker Cura 4.10 terdapat 13 pola yang berbeda seperti: grid, garis, tiga segi enam, kubus, segitiga, zigzag, pembagian blok, *byte*, seperempat blok, konsentris, spindel, diagonal. dan diagonal 3D ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.



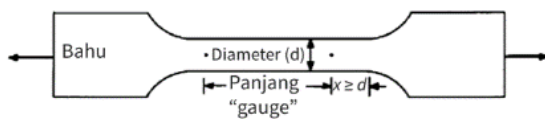
Gambar 1. Bentuk infill eksternal pattern simplify 3D [4]

Uji tarik merupakan cara karakterisasi yang paling banyak digunakan untuk menguji sifat mekanik suatu bahan. Standarisasi pengukuran yang dapat digunakan untuk uji tarik bahan logam adalah ASTM E8 (Amerika) atau JIS 2241 (Jepang). Pengujian ini memungkinkan peneliti untuk mengetahui bagaimana reaksi suatu bahan terhadap tenaga tarikan. Pada umumnya, pengujian dilakukan dengan menarik sampel bahan sampai putus. Peralatan merekam data tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) selama proses pengujian dilakukan dan menampilkan kurva seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Bentuk kurva stress strain [5]

Kurva tersebut menunjukkan hubungan antara gaya tarik terhadap bahan dengan perubahan panjang bahan. Salah satu parameter penting yang dapat diketahui dari kurva uji tarik adalah kemampuan maksimum bahan dalam menahan beban (*ultimate tensile strength*) atau kekuatan tarik maksimum. Kemiringan garis pada daerah kurva linier adalah elastisitas bahan atau modulus young.



Gambar 3. Benda uji ASTM D638

Pengujian material logam pada umumnya menggunakan spesimen berbentuk silinder sesuai ASTM E8, sedangkan untuk material komposit atau polimer menggunakan sampel berbentuk pipih, misalnya sesuai ASTM D 638. Pengujian untuk benda yang regas harus menggunakan spesimen dengan bagian bahu yang lebih besar dari pada bagian uji (*gauge*). Hal tersebut dimaksudkan agar benda uji (*spesimen*) tidak rusak di bagian yang dijepit oleh grip dan rahang alat uji, luas penampang spesimen harus di buat kecil pada bagian tengahnya agar kondisi patah pada bagian tersebut.

Penelitian mengenai Pengaruh Parameter Eksternal proses 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik Hasil Cetak Filament PLA+, dilaksanakan di Politeknik Negeri Banyuwangi pada Maret hingga Juni 2024. Kegiatan penelitian ini dilakukan di Lab. Komputer Teknik Mesin yang dilengkapi dengan mesin 3D Printing dan untuk pengujian spesimen Uji Tarik dilakukan di Laboratorium Perlakuan dan Pengujian bahan Teknik Mesin Polinema.

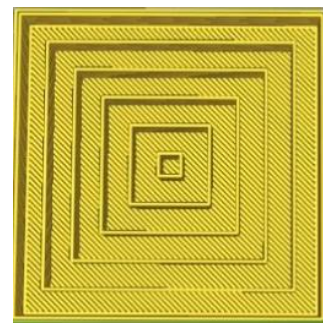
Pola pengisian *Concentric* adalah jenis pola pengisian yang digunakan dalam pencetakan 3D. Ini melibatkan

pembuatan kotak, lingkaran, atau cincin konsentris di dalam interior objek yang dicetak untuk memberikan dukungan struktural. Berikut poin-poin pola *Concentric* sebagai berikut :

Kekuatan, meskipun tidak sekuat beberapa pola pengisian lainnya, pengisian konsentris masih memberikan kekuatan dan stabilitas yang baik pada objek yang dicetak. Ini sangat baik untuk benda silinder atau benda dengan permukaan melengkung.

Penggunaan Bahan isi konsentris dapat menggunakan lebih sedikit bahan daripada pola pengisian lainnya, menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis dalam beberapa kasus.

Fleksibilitas isi konsentris dapat memberikan lebih banyak fleksibilitas pada objek cetak, yang dapat bermanfaat untuk jenis cetakan tertentu

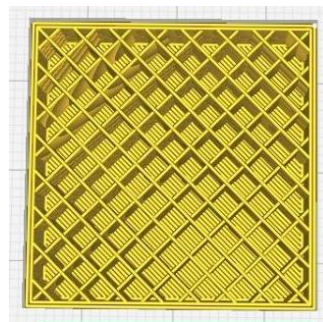


Gambar 4. Infill Pattern Concentric [6]

Pola pengisian *Rectilinear* atau Bujur sangkar ini adalah pola yang memungkinkan waktu pencetakan cepat karena garis lurus dan geometri sederhana. Pola ini membutuhkan lebih sedikit gerakan dari ekstruder printer, yang dapat sangat mengurangi waktu pencetakan secara keseluruhan.

Berikut adalah beberapa poin penting pola *Rectilinear*:

Kekuatan *Rectilinear Infill* terletak pada kesederhanaan dan efisiensinya. Garis lurus memberikan struktur yang kuat, membuat objek yang dicetak lebih tahan lama dan tahan terhadap berbagai bentuk tekanan. Garis berpotongan mengurangi kemungkinan deformasi atau kerusakan. Kecepatan, polanya mudah, terdiri dari garis lurus yang berpotongan di sudut kanan. Kesederhanaan ini membuatnya mudah diterapkan dan dipahami.



Gambar 5. Infill Pattern Rectilinear

Temperatur *extruder* sangat berperan penting pada hasil kualitas cetak 3D Printing, suhu yang sering digunakan saat menggunakan material PLA + dengan merk ANET yaitu kisaran 190°C sampai dengan 220°C setiap suhu menghasilkan cetakan yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi filament dan mesin 3D Printing. Parameter yang digunakan dalam uji tarik meliputi persentase variasi dari *infill* antara lain, Temperatur *extruder* dan temperatur *hot bed*. Temperatur *extruder* yang digunakan adalah 210°C, 220°C. Sedangkan untuk temperatur *bed* menggunakan 60°C. Setiap spesimen uji menggunakan mesin 3D printing dengan diameter 0,4 mm, pola pengisian menggunakan *external pattern Rectilinear* dan *Concentric* dan *internal pattern Triangula*, kecepatan cetak atau *print speed* mm/s dan sudut *pattern* yang digunakan dalam proses pencetakan 3D adalah 90° terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Variasi sampel uji

Parameter	Nilai
Temp. <i>Extruder</i>	210°C, 220°C
Diameter <i>nozzle</i>	0,4 mm
Temp. <i>Bed</i>	60°C
Kepadatan <i>infill</i>	100%
<i>Print speed</i>	40 m/s
Sudut <i>pattern</i>	90°

Proses pencetakan spesimen dilakukan dengan cara mencetak spesimen uji menggunakan mesin 3D printer ANET dengan filament PLA+ berdasarkan standar ASTM D638. Desain ini kemudian diimpor ke *software simplify* 3D dengan format STL menggunakan *micro-SD card*. Pengujian setiap variasi kerapatan *infill* yang digunakan 100%, sehingga total spesimen berjumlah 8 buah.



Gambar 6. Proses pencetakan spesimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesimen ini dibuat dengan menggunakan bahan filament PLA+ Anet yang kemudian dicetak menggunakan mesin 3D printing, dengan temperatur suhu 210°C-220°C dan ukuran spesimen dengan panjang 25 mm tebal 12 mm lebar 12 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Bentuk spesimen

Pengaturan parameter 3D Printing setelah mendapatkan G-Code yang akan digunakan maka lakukan persiapan pencetakan spesimen uji menggunakan mesin 3D printer merk Anet ET4 seperti melakukan kalibrasi mesin 3D printer untuk menghasilkan permukaan yang datar pada *bed*, memindahkan G-Code dari PC ke dalam mesin menggunakan MicroSD, memanaskan *nozzle* dan *bed* hingga mencapai suhu yang diinginkan dan memasang filament yang digunakan ke dalam mesin.

Data hasil pengujian dalam bentuk tabel dan grafik. Bagian ini mencakup data hasil uji tarik untuk setiap variasi parameter. Spesimen uji tarik menggunakan standart ASTM D638 sesuai gambar 3. Berikut ini merupakan hasil uji tarik yang dikelompokan berdasarkan *Infill* dan *Temperatur*.



Gambar 8. Spesimen hasil uji tarik

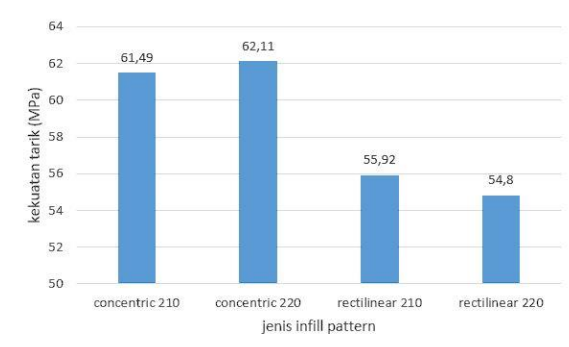
Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik Concentric

Temperatur (°C)	Kekuatan tarik Spesimen Uji			Panjang Filamen (mm)	Rasio Kekuatan tarik dan Panjang Filamen (MPa/mm)
	Pengujian Pertama (MPa)	Pengujian Kedua (MPa)	Rata-rata (MPa)		
210	61,39 MPa	61,59 MPa	61,49 MPa	4137,8 mm	0,0148
220	63,17 MPa	61,06 MPa	62,11 MPa	4137,8 mm	0,0150

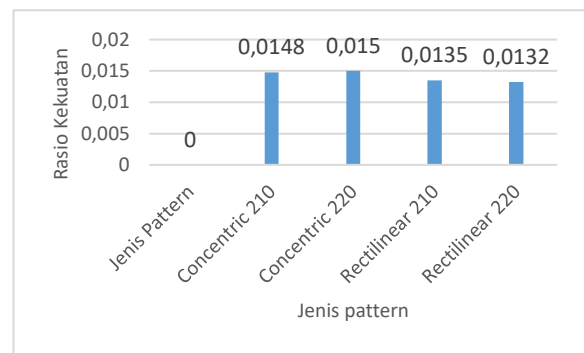
Patahan yang terjadi pada Gambar 8 merupakan patahan pecahan sehingga sebagian filamen hilang seperti pecah menjadi beberapa bagian-bagian kecil yang tidak dapat disatukan kembali dan dapat disimpulkan merupakan material getas.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Rectilinear

Temperatur (°C)	Kekuatan tarik Spesimen Uji			Panjang Filamen (mm)	Rasio Kekuatan tarik dan Panjang Filamen (MPa/mm)
	Pengujian Pertama (MPa)	Pengujian Kedua (MPa)	Rata-rata (MPa)		
210	55,46 MPa	56,38 MPa	55,92 MPa	4140,5 mm	0,0135
220	52,56 MPa	57,04 MPa	54,80 MPa	4140,5 mm	0,0132



Gambar 9. Grafik Kekuatan tarik dari spesimen infill pattern



Gambar 10. Rasio kekuatan tarik dan panjang filament

4. KESIMPULAN

Terjadi perbedaan kekuatan tarik pada tiap-tiap kombinasi variasi eksternal pattern concentric dan Rectilinear. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tarik tertinggi didapatkan pada eksternal pattern Concentric dengan suhu 210°C memperoleh nilai tarik 61,49 Mpa. Kekuatan tarik yang mempunyai nilai paling kecil adalah variasi eksternal pattern Rectilinear dengan suhu 220°C yaitu 54,80 Mpa. Penelitian yang digunakan spesimen uji tekan dan pengujian sesuai standar ASTM D638 sehingga hasil yang didapatkan mewakili kekuatan tarik semua komponen dengan variasi bentuk dan ukuran.

Jenis rectilinear dengan suhu temperatur 220°C mempunyai nilai yang paling kecil yaitu sebesar 0,0132. Sedangkan perbandingan paling besar didapatkan menggunakan jenis Concentric dengan suhu temperatur 220°C yaitu sebesar 0,015. Perbandingan kekuatan tarik dan panjang filamen ini dapat mewakili jenis infill pattern yang menghasilkan komponen dengan kekuatan tarik yang sama dengan kebutuhan material yang paling sedikit. Perbandingan ini juga menunjukkan infill pattern yang menghasilkan kekuatan paling tinggi dengan penggunaan material yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Sally and S. Noviana Sandi, "Analisa Kekuatan Kerangka Penopang Ekstruder Modifikasi Mesin 3d Printer Nozel Tunggal Menjadi Nozel Ganda," *Seminar Nasional Pakar ke 2*, vol. 2, pp. 1-7, 2019.
- [2] P. Wahyudi Hafizi, Hasdiansah and Husman, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Filamen Polylactic Acid Menggunakan Metode Taguchi," *Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas*, 2018.
- [3] C. William D, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, Utah: Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, 2001.

- [4] simplify3d, "Infill Pattern Basic," 4 November 2015. [Online]. Available: <https://www.simplify3d.com/resources/videos/infill-pattern-basics/>.
- [5] R. A. Sani, *Karakterisasi Material*, Jakarta Timur: Bumi Aksara, 2019.
- [6] Abhi3D, "Concentric Infill Pattern In 3D Printing," Abhi3D, [Online]. Available: <https://abhi3d.com/concentric-infill#gsc.tab=0>. [Accessed 2024].
- [7] H. S. Pristiansyah, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 11, pp. 33-40, 2019.
- [8] A. a. L. H. G. Gebisa, "Influence of 3D Printing FDM Process Parameters on Tensile Property of ULTEM 9085," *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 331-338, 2019.