

ANALISA BENDING STRESS PADA FILAMEN ABS TERHADAP ARAH CETAKAN 3D PRINTING TIPE FDM

Wahyu Widiyanto¹

¹ Program Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu

Jl. Wanamarta No. 20 KIK Kendal, 51371

wahyu.widiyanto@poltek-furnitur.ac.id¹

ABSTRAK

Pengukuran *Teknologi Rapid Prototyping* (RP) terus berkembang pesat dan memiliki peran penting di berbagai sektor. Salah satu metode yang digunakan dalam teknologi ini adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM), yang melibatkan proses melelehkan bahan termoplastik dengan menggunakan mekanisme ekstruder. Mesin pencetak 3D tipe FDM mengendalikan pergerakan *nozzle* secara komputerisasi, yang menghasilkan berbagai arah gerakan, termasuk sejajar dengan sumbu x (0°), y (90°), dan juga diagonal (45°). Perbedaan dalam arah ini memiliki dampak pada karakteristik mekanis dari kekuatan lentur pada cetakan yang dihasilkan. Penelitian ini melibatkan pengujian tekan (*Bending test*) sesuai dengan standar ASTM D790 dengan menggunakan mesin pengujian Beste KJ-1065. Spesimen pengujian dibuat dalam tiga jenis yang berbeda, dengan pengaturan arah *nozzle* yang memiliki perbedaan sudut *external infill angle offset* dan *internal infill angle offset*, yaitu pada sudut 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah *nozzle* pada mesin pencetak 3D tipe FDM juga mempengaruhi kekuatan tekan/lentur produk yang dihasilkan. Kekuatan tekan/lentur maksimum terbesar ditemukan pada produk dengan arah *nozzle* 0°, mencapai 65.21 MPa, sementara yang terendah terjadi pada produk dengan arah *nozzle* 90° dalam kondisi horizontal, mencapai 45.18 MPa.

Kata kunci : *rapid prototyping, 3D printing, fused deposition modeling*

Abstract

Rapid Prototyping (RP) technology is rapidly advancing and plays a crucial role in various sectors. One of the methods used in this technology is Fused Deposition Modelling (FDM), which involves the process of melting thermoplastic material using an extrusion mechanism. FDM-type 3D printers control nozzle movements through computerization, resulting in various directions of movement, including parallel to the x-axis (0°), y-axis (90°), and diagonal (45°). Differences in these directions impact the mechanical characteristics of flexural strength in the produced prints. This research involves a bending test according to ASTM D790 standards, using the Beste KJ-1065 testing machine. Test specimens were created in three different types, with nozzle direction settings that differ in external infill angle offset and internal infill angle offset, specifically at 0° (parallel to the X-axis), 45° (parallel to the diagonal), and 90° (parallel to the Y-axis). The research results show that the nozzle direction in FDM-type 3D printers also influences the flexural strength of the produced products. The highest flexural strength was found in products with a 0° nozzle direction, reaching 65.21 MPa, while the lowest occurred in products with a 90° nozzle direction in the horizontal condition, reaching 45.18 MPa.

Keywords : *rapid prototyping, 3D printing, fused deposition modeling.*

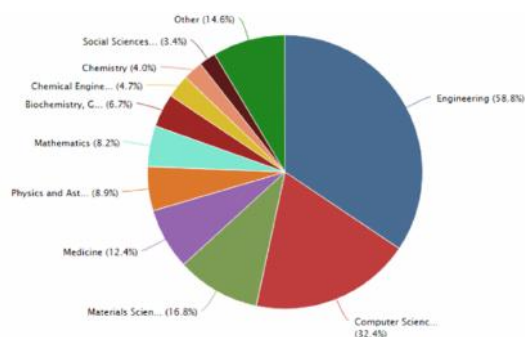
PENDAHULUAN

Pada saat ini pencetakan tiga dimensi (3D *Printing*) yang termasuk dalam teknologi *rapid prototyping* (RP) telah diterapkan dibanyak aspek.

Proses pembangunan *rapid prototyping* menggunakan teknologi 3D *Printing* mempunyai peranan yang penting (berdampak cukup signifikan) contohnya pada aspek *manufacturing industry, medical applications, art, and aerospace* [1]. Terus berkembangnya teknologi *Rapid prototyping* ini

yang mana merupakan teknologi support bagi beberapa bidang lain pendukung manusia masih terus berkembang. Persyaratan industrialisasi, diversifikasi dan informatisasi guna rekayasa konstruksi telah terpenuhi oleh teknik pencetakan tiga dimensi / *3D Printing*, jadi dapat diterapkan dalam membangun konstruksi dengan mencetak.

Pada pembangunan *Rapid prototyping (RP)* diawali dengan membuat gambar kerja menggunakan *software computer aided design (CAD)* untuk menghasilkan objek benda kerja. *Rapid prototyping* dapat memvisualisasikan gambar kerja tiga dimensi dijadikan benda tiga dimensi secara fisik dengan material tertentu. Tebal layer mesin *rapid prototyping* dapat mempengaruhi kualitas dari benda/objek yang dihasilkan. Jadi, lebih tipis ketebalan layer penyusunnya maka kualitas yang dihasilkan akan lebih baik [2].



Gambar 1. *Research Rapid Prototyping* pada scopus [3]

Pada gambar 1 menunjukkan data dari Scopus terdapat 3 area *research rapid prototyping* yang paling besar diteliti, yaitu bidang *material science* 16,8%, , *computer science* 32,4%, dan *engineering* 58,8% [3].

Fused Deposition Modeling (FDM) dan *Selective Laser Sintering (SLS)* merupakan teknologi pemrosesan pencetakan tiga dimensi (*3D Printing*) yang umum digunakan [4]. Metode FDM dapat membangun objek tiga dimensi dengan cara melelehkan material termoplastik menggunakan ekstruder sebagai mekanismenya. Material termoplastik yang meleleh akan membentuk layer dari bawah ke atas sehingga membentuk objek tiga dimensi. Teknologi FDM merupakan proses pencetakan 3 dimensi yang beroperasi dengan membangun komponen *layer by layer* dari dasar ke atas menggunakan filamen termoplastik yang dipanaskan kemudian diekstrusi [5].

Pembuatan produk *3D printing* menggunakan teknologi FDM maka diawali dengan membuat desain benda kerja. Beberapa *software* desain seperti CATIA, Inventor, Solidwork dan lain – lain dapat digunakan dalam membuat desain

produk *3D printing*. Apabila desain telah jadi maka dapat di *convert* keformat stl (*Stereo Lithography*). Format STL (*Stereo Lithography*) biasa digunakan oleh *software 3D Printing* dimana file STL diiris/dicacah menghasilkan layer digital yang banyak dan tipis. Pada masing – masing layer berisikan informasi geometri dari produk yang akan dicetak. File tersebut secara berurutan dikirim ke printer 3D. Data yang diterima akan memberikan perintah membangun objek 3D setiap layer ke Printer FDM [6].

Sebelumnya, penelitian dilakukan oleh Wahyu dan Tutut (2020) mengenai dampak kekuatan tarik pada produk yang dihasilkan melalui pencetakan 3D tipe FDM terhadap arah aliran bahan cetakan dari nozzle (ekstruder). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa arah aliran cetakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dari produk cetakan 3D jenis FDM. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tiga sudut aliran nozzle ekstruder yang berbeda, yaitu 0 derajat, 45 derajat, dan 90 derajat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik terendah tercatat pada sampel dengan aliran nozzle sudut 90 derajat, sekitar 33.169 MPa, sementara yang tertinggi terdapat pada aliran nozzle sudut 0 derajat, yaitu sekitar 38.505 MPa. Selain itu, ditemukan bahwa persentase perpanjangan (*elongation percentage*) pada ketiga sampel pada titik kekuatan maksimal (peak) memiliki nilai yang sama, sekitar +27%. Dari hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa mengatur arah nozzle/ekstruder dengan menggunakan *External infill angle offset* dan *internal infill angle offset* pada sudut 0 derajat akan menghasilkan produk *3D Printing* tipe FDM dengan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang paling tinggi. [7].

Posisi benda kerja pada penyusunan *rapid prototyping* menggunakan mesin *3D printing* tipe FDM dengan bahan polymer ABS dan PLA akan mempengaruhi kekuatan tarik produk yang dihasilkan. Pada penelitian Lubis (2016) terdapat spesimen dengan 2 variasi orientasi posisi objek yaitu horizontal dan vertikal. Spesimen tersebut diukur dimensinya dan dilaksanakan uji tarik. Hasil penelitian didapatkan bahwa tebal *layer* dan orientasi posisi akan memberikan hasil terhadap efisiensi waktu, kualitas permukaan, dan kekuatan tarik [8].

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Sulayman (2015) memakai material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Pada penelitiannya mencari tahu hasil cetakan *3D Printing* dengan variasi suhu pemanas nozzle/ekstruder. Adapun beberapa suhu yang digunakan adalah sebesar 260°C, 245°C dan 230°C pada pemanas nozzle/ekstruder. Pada penelitian ini didapatkan suhu yang menghasilkan volume yang mendekati ukuran sebenarnya adalah suhu 230°C.

[9]. Penelitian tersebut juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Laily dan Zainuddin (2020). Hasil penelitiannya menunjukkan semakin besar suhu *nozzle/ekstruder* akan berpengaruh pada beban yang dapat ditahan oleh hasil *3D printing* akan lebih besar. Begitu juga sebaliknya, apabila suhu *nozzle/ekstruder* semakin kecil, maka beban yang dapat ditahan oleh hasil *3D printing* akan semakin kecil. Pada penelitian ini juga menghasilkan apabila filamen PLA tidak dapat menahan beban sebesar filamen jenis ABS, dan Filamen ABS lebih kaku dibandingkan dengan Filamen jenis PLA [10].

Sistem kendali pergerakan *nozzle* pada mesin pencetak 3D diatur secara komputerisasi. Pergerakan *nozzle* dalam pencetakan 3D dapat menghasilkan arah pergerakan yang beragam, seperti sepanjang sumbu x (0 derajat), y (90 derajat), atau diagonal (45 derajat). Hingga saat ini, dampak perbedaan arah pergerakan ini terhadap sifat mekanis dari kekuatan lentur produk cetakan belum sepenuhnya dipahami. Untuk mendapatkan kekuatan lentur dapat menggunakan standar ASTM D790. Prabhu dkk 2022 dalam penelitiannya analisis mekanik hibrid bambu dan serat kaca yang diperkuat resin nanokomposit, untuk mendapatkan flexural strength / kekuatan lentur menggunakan Uji standar ASTM D790. Dimensi sampel yang diuji adalah panjang 125 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3,2 mm [11].

Variasi mekanis ini nantinya dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pengusaha atau penelitian berikutnya untuk meningkatkan kekuatan produk cetakan *3D Printing*. Penelitian ini berfokus pada analisis sifat mekanis bending stress dari struktur hasil cetakan *3D Printing* yang menggunakan bahan ABS.

METODE PENELITIAN

1. Material Filamen ABS

Gambar 2 adalah Filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang digunakan dalam penelitian ini, untuk *feeding material* *3D printing* tipe FDM.



Gambar 2. Filamen Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

2. Alat (software dan hardware)

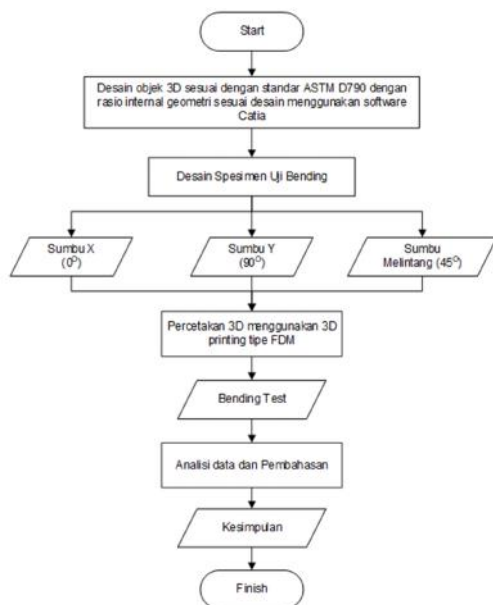
Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut :

1. Pembuatan desain specimen 3D menggunakan *Software* CATIA.
2. Pengaturan struktur objek *3D printing* menggunakan *software* Simplify3D.
3. Pencetakan specimen *3D printing* dengan material ABS menggunakan mesin 3D printer Prusa i3. Mesin 3D printer Prusa i3 memiliki tingkat akurasi 3-4,8%, hal tersebut dipengaruhi oleh suhu fusi [12].
4. Adapun standar yang digunakan pada pengujian spesimen adalah ASTM D790.
5. Mesin Beste KJ-1065 digunakan untuk menguji kekuatan tekan lentur 3 titik yang diperlihatkan pada gambar 3. Mesin Beste KJ-1065 memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 - Capacity : 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500kg
 - Stroke : 650 mm (excluding clamp)
 - Range of speed : A : 0.5 ~ 500 mm/min , B : 50 ~ 500 mm/min
 - Effective testing space : 120mm
 - Accuracy: $\pm 0.5\%$
 - Resolution : A : 1 / 250,000 B : 1 / 150,000



Gambar 3. Mesin pengujian lentur (bending testing machine) Beste KJ-1065

3. Flow Chart



Gambar 4. Flow Chart Penelitian

Tahapan prosedur penelitian bedasar flow chart di atas (gambar 4) adalah sebagai berikut :

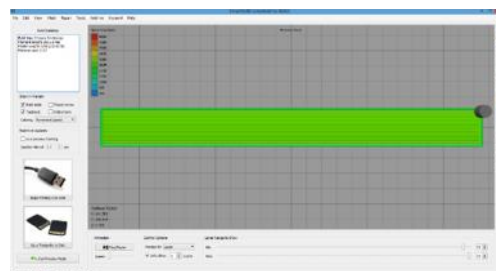
1. Pembuatan desain specimen 3D disesuaikan dengan standar ASTM D790 yaitu standar pengujian tekan lentur 3 titik menggunakan software Catia V5. Adapun ukuran dimensi spesimen sesuai dengan ASTM D790 adalah panjang 125 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3,2 mm.
2. Pada tahap *Printing preparation* dan *Slicing layers* ini, objek tiga dimensi dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya dalam proses sebelumnya akan dibuka menggunakan perangkat lunak Simplify3D. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, jumlah lapisan objek tiga dimensi yang akan dicetak dapat diidentifikasi secara otomatis, dan Anda memiliki kemampuan untuk menentukan jumlah lapisan ini dengan mengatur ketebalan setiap lapisannya.
3. Tahap berikutnya adalah pencetakan objek 3D. Objek yang telah divalidasi melalui perangkat lunak Simplify3D akan dicetak menggunakan 3D Printer. Panjang, massa filament, dan durasi pencetakan sudah diatur sebelumnya menggunakan perangkat lunak Simplify3D. Pada tahap ini, pengaturan arah nozzle mencakup pengaturan internal infill angle offset dan external infill angle offset yang dapat diatur pada tiga sudut berbeda, yaitu 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Dengan pengaturan ini, pencetakan objek dapat dilakukan sesuai dengan sudut yang

diinginkan untuk mempengaruhi hasil akhir produk.

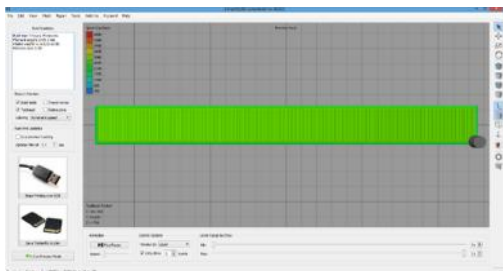
4. Langkah berikutnya adalah pengujian mekanik dari objek tiga dimensi yang telah berubah menjadi spesimen uji tekan. Pengujian mekanik ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM D790. Ini adalah tahap penting untuk menilai sifat-sifat mekanik dari objek cetakan, khususnya dalam hal ketahanan tekanannya. Standardisasi melalui ASTM D790 membantu memastikan bahwa pengujian tersebut dilakukan dengan cara yang konsisten dan dapat diandalkan, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk evaluasi lebih lanjut terhadap objek yang dicetak.
5. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kekuatan tekan menggunakan alat yang disebut Tensile Testing Machine, dengan model tertentu yaitu Beste KJ-1065. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi sejauh mana objek tiga dimensi yang telah dicetak dapat menahan tekanan dan tegangan. Alat tersebut memungkinkan pengukuran ketahanan tekanan benda uji dan memberikan data yang diperlukan untuk menilai sifat mekanik dan kekuatan material dari objek cetakan tersebut.

4. Rancangan Penelitian

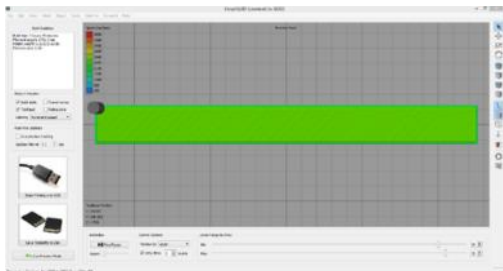
Seperti yang terlihat dalam gambar 5, 6, dan 7, rancangan penelitian ini mengacu pada pengujian tekan (bending test) yang mengikuti standar ASTM D790. Setiap variabel yang digunakan dalam pengujian memiliki tiga sampel yang berbeda. Ketiga variabel tersebut mencakup pengaturan arah *nozzle* dengan *external infill angle offset* dan *internal infill angle offset* yang diatur pada tiga sudut berbeda, yaitu 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Dengan menggunakan metode ini, penelitian dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak perbedaan sudut dalam pencetakan 3D terhadap sifat mekanik objek cetakan.



Gambar 5. Internal Geometri sumbu X (0°) cetak 3D Printing



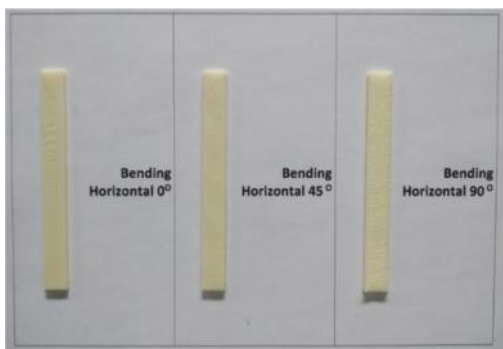
Gambar 6. Internal Giometri sumbu Y (90°) cetak 3D Printing



Gambar 7. Internal Giometri sumbu melintang (45°) cetak 3D Printing

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 8 menunjukkan hasil cetakan spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tekan (bending test) sesuai dengan standar ASTM D790. Ini adalah langkah penting dalam penelitian yang memungkinkan evaluasi sifat mekanik dan kekuatan dari objek cetakan yang telah diproduksi, serta penilaian lebih lanjut terhadap dampak variasi dalam sudut pencetakan terhadap karakteristik mekanik spesimen ini.



Gambar 8. Hasil spesimen uji tekan

Gambar 9 memperlihatkan proses pengujian spesimen uji tekan dengan menggunakan mesin pengujian lentur (bending testing machine) Beste KJ-1065. Langkah ini adalah tahap kunci dalam penelitian yang dilakukan, di mana spesimen yang telah dicetak akan dikenakan tekanan untuk

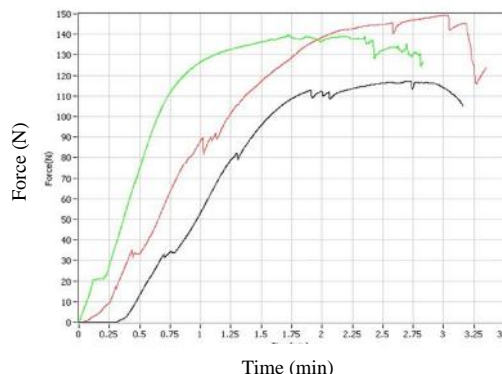
mengukur ketahanan lenturnya. Hasil pengujian ini akan memberikan data yang penting untuk menilai kualitas dan karakteristik mekanik dari objek cetakan yang telah diproduksi.



Gambar 9. Proses bending test

1. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal 0°

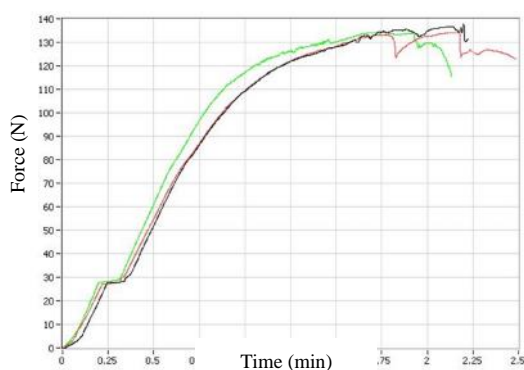
Hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 0° (sejajar sumbu X) ditunjukkan gambar 10. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan orientasi 0° mampu menahan gaya maksimum sebesar 149.350 N, dengan nilai rata-rata gaya tekan sebesar 144.5 N. Kekuatan tekan/lentur maksimal (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen ini adalah sebesar 67.272 MPa, dengan nilai rata-rata sebesar 65.21 MPa. Hasil ini mencerminkan karakteristik mekanik dari spesimen dengan orientasi tertentu dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.



Gambar 10. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal 0°

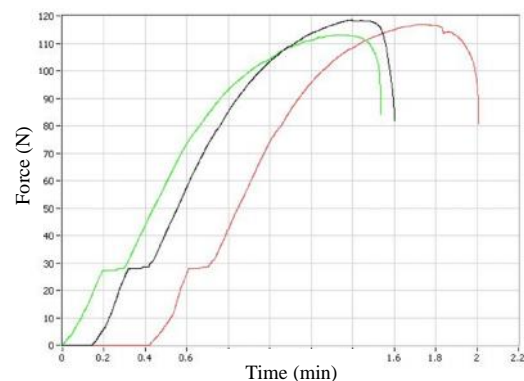
2. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal 45°

Gambar 11 menggambarkan hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 45° (sejajar diagonal). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan orientasi 45° memiliki rata-rata gaya tekan maksimum sebesar 135.504 N. Kekuatan tekan/lentur rata-rata (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen dengan orientasi ini adalah sebesar 53.325 MPa. Hasil ini mencerminkan sifat mekanik dari spesimen dengan orientasi sudut 45° dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.



Gambar 11. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal 45°

3. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal 90°



Gambar 12. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal 90°

Gambar 12 menggambarkan hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 90° (sejajar sumbu Y). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan

orientasi 90° memiliki rata-rata gaya tekan maksimum sebesar 116.186 N. Kekuatan tekan/lentur rata-rata (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen dengan orientasi ini adalah sebesar 45.18 MPa. Hasil ini mencerminkan karakteristik mekanik dari spesimen dengan orientasi sudut 90° dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.

Tabel 1. Sifat mekanis spesimen uji tekan (*bending test*)

Material	Force @ Peak (N)	Maximum flexural strength (MPa)	Flexural modulus of elasticity (MPa)
Spesimen 0°	144.5	65.2095	1213.19
Spesimen 45°	135.504	53.325	886.996
Spesimen 90°	116.186	45.180	849.905

Dari tabel 1, dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan arah nozzle sudut 0° (sejajar sumbu X) menghasilkan gaya tekan terbesar dan kekuatan tekan (flexural strength) tertinggi, sementara spesimen dengan arah nozzle sudut 90° (sejajar sumbu Y) menghasilkan gaya tekan terkecil dan kekuatan tekan terendah. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi cetakan 3D memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik mekanik dari spesimen, dan orientasi dengan sudut tertentu dapat menghasilkan ketahanan tekanan yang lebih baik dibandingkan dengan orientasi lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa arah cetakan nozzle pada mesin 3D printing jenis Fused Deposition Modelling (FDM) memengaruhi kekuatan tekan/lentur dari produk yang dihasilkan. Kekuatan tekan/lentur maksimal tertinggi dicapai pada produk dengan arah nozzle 0° (sejajar sumbu X) sebesar 65.21 MPa, sementara kekuatan tekan/lentur terendah terjadi pada produk dengan arah nozzle 90° (sejajar sumbu Y) dalam kondisi horizontal, mencapai 45.18 MPa. Oleh karena itu, produk 3D printing jenis FDM dengan arah cetakan nozzle yang memiliki pengaturan internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 0° mampu menghasilkan kekuatan tekan/lentur yang paling tinggi..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rinanto and W. Sutopo, "Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping: Study Literatur," *Jurnal Metris*, pp. 105-112, 2017.
- [1] D. Sulayman, B. Waluyo and B. Sugito, "PENGARUH SUHU DARI HEATER NOZZLE TERHADAP PRODUK," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- [2] J. Q. Al-Maliki, "The Processes and Technologies of 3D Printing," *International Journal of Advances in Computer Science and Technology*, pp. 161-165, 2015.
- [3] L. N. Ikhsanto and Zainuddin, "Analisa Kekuatan Bending Filamen Abs Dan Pla Pada Hasil 3d Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle," *Jurnal Media Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 9-17, 2020.
- [4] M. P. More, "3D Printing Making the Digital Real," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH (IJESRT)*, pp. 1822-1825, 2013.
- [5] O. Carneiro, "Fused Deposition Modeling with Polypropylene," *Materials and Design Journal*, pp. 768-776, 2015.
- [6] P. Demircioglu, I. Bogrekci and H. S. Sucuoglu, "THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FUSION TEMPERATURE AND DIMENSIONAL ACCURACY OF 3D PRINTED PARTS," *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 38, no. 1, pp. 21-28, 2020.
- [7] P. Feng, X. Meng, J. F. Chen and L. Ye, "Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders," *Elsevier Construction and Building Materials*, pp. 486-297, 2015.
- [8] P. Prabhu, K. Balakrishnan, R. R. M. Vannan and B. Alagappan, "Mechanical, thermal and morphological analysis of hybrid natural and glass fiber-reinforced hybrid resin nanocomposites," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, no. 1, 2022.
- [9] S. Lubis, S. Djamil and Yolanda, "Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer PLA Dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk," *SINERGI*, vol. 20, pp. 27-35, 2016.
- [10] V. G. Surange and P. V. Gharat, "Using Fused Deposition Modelling (FDM)," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, pp. 1403-1406, 2016.
- [11] W. Widiyanto and T. I. Setyani, "Pengaruh Arah Cetakan 3d Printing Tipe Fdm Bahan Polymer Abs Terhadap Tensile Strength Produk Yang Dihasilkan," *Jurnal Media Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 25-34, 2020.