

PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *LAYER HEIGHT* HASIL 3D PRINTING TERHADAP UJI *BENDING* MATERI ABS

THE EFFECT OF NOZZLE TEMPERATURE AND LAYER HEIGHT RESULTS OF 3D PRINTING ON BENDING TEST OF ABS MATERIALS

Addha Ilham⁽¹⁾, Andriil Arafat⁽²⁾, Rifelino⁽³⁾, Hendri Nurdin⁽⁴⁾

^{(1) (2) (3) (4)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

addhailham0211@gmail.com

arafat@ft.unp.ac.id

rifeIino@ft.unp.ac.id

hens2tm@ft.unp.ac.id

Abstrak

Kemajuan teknologi telah mempengaruhi berbagai aspek dalam dunia manufaktur, salah satunya adalah *rapid prototyping* atau *3D printing*. Produk hasil *3D printing* tidak hanya dibutuhkan untuk pembuatan prototipe saja bahkan penggunaannya juga untuk produk fungsional. Permasalahan yang sering terjadi dalam parakteknanya, akibat dari pengaturan parameter proses *nozzle temperature* dan *layer height* yang tidak optimal berdampak pada hasil cetakan *3D printing*. Tentunya hal ini menjadi pertimbangan yang besar untuk menghasilkan produk *3D printing* yang berkualitas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mencari kombinasi pengaturan parameter proses yang optimal dan informasi mengenai pengaruh parameter proses terhadap respon kekuatan *bending* material hasil cetakan *3D printing*. Jenis penelitian yang digunakan penelitian eksperimen. Spesimen dicetak sebanyak Sembilan spesimen dengan variasi parameter proses pencetakan *3D printing* menggunakan material ABS. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *Bending* terhadap hasil *3D printing* dengan metode *three point bending*. Berdasarkan hasil pengujian *bending* didapat nilai terendah pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 222^o C dan *layer height* 0.2 mm dengan nilai *flextural strength* 52.12 MPa. Sedangkan untuk nilai uji *bending* tertinggi terdapat pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 232^o C dan *layer height* 0.1 mm dengan nilai *flextural strength* 57.78 MPa, kombinasi parameter ini sekaligus menjadi parameter yang direkomendasikan untuk proses pencetakan *3D printing*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil bahwa variasi dari parameter proses *3D printing* mempengaruhi nilai kuat *bending* material.

Kata Kunci: *3D Printing, Nozzle temperature, layer Height, ABS, Bending*

Abstract

Technological advances have affected various aspects of the manufacturing world, one of which is rapid prototyping or 3D printing. 3D printed products are not only needed for prototyping, they are also used for functional products. Problems that often occur in practice, as a result of setting the nozzle temperature and layer height process parameters that are not optimal have an impact on 3D printing results. Of course, this is a big consideration to produce quality 3D printing products. Therefore, this study aims to find a combination of optimal process parameter settings and information about the effect of process parameters on the bending strength response of 3D printed materials. The type of research used is experimental research. Nine specimens were printed with variations in the parameters of the 3D printing process using ABS material. In this study, the bending test was carried out on the results of 3D printing with the three point bending method. Based on the results of the bending test, the lowest value was obtained at the combination of the nozzle temperature parameter 2220 C and the layer height 0.2 mm with a flexural strength value of 52.12 MPa. Meanwhile, the highest bending test value is found in the combination of nozzle temperature parameters of 2320 C and layer height of 0.1 mm with a flexural strength value of 57.78 MPa, this combination of parameters is also a recommended parameter for the 3D printing process. Based on the results of the study, it was found that variations of the 3D printing process parameters affect the bending strength of the material.

Keyword: *3D Printing, Nozzle temperature, layer Height, ABS, Bending*

I. Pendahuluan

Kemajuan teknologi dalam dunia manufaktur akhir-akhir mengalami perkembangan yang sangat pesat, khususnya *rapid prototyping* teknologi *3D printing* atau sering disebut *Additive Manufacturing* (AM) (Mahamood et al., 2016). Teknologi AM ini sudah banyak digunakan didalam dunia manufaktur seperti percetakan skala kecil hingga besar, mencetak prototipe hingga produk fungsional, serta kegiatan penelitian (Lubis et al., 2016). Teknologi AM yang umum digunakan saat ini adalah *rapid prototyping* berbasis *Fused Deposition Modelling* (FDM) (A. A. Setiawan, 2018).

Proses kerja mesin *3D printing* berbasis FDM mencetak hasil desain dari format *Computer Aided Design* (CAD) lalu diexport kedalam format *Stereo-Lithography* (STL). Data STL kemudian di input kedalam *software slicer* untuk perintah pencetakan. (A. Setiawan, 2017). Prinsip kerja FDM mengekstrusi material *3D printing* (filamen) melalui nozel yang dipanaskan pada suhu tertentu kemudian produk dicetak lapis per lapis (Pristiansyah et al., 2019). Terdapat bebrbagai macam jenis filamen untuk mencetak *3D printing*, yang umum digunakan dan sering menjadi pilihan karena kualitas yang baik dengan harga rendah yaitu filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) (Riza et al., 2010).

ABS merupakan jenis filamen yang sering digunakan dalam percetakan *3D printing*, karena mudah didapatkan dan harganya relatif murah (Wahjuni et al., 2021). ABS tersusun dari beberapa monomer pembentuk, proporsinya dapat bervariasi antara 15%-35% *acrylonitrile*, 5%-30% *butadiene* dan 40%-60% *styrene* (Sagias et al., 2018).

Permasalahan yang sering terjadi dalam parakteknanya, akibat dari pengaturan parameter proses yang tidak optimal berdampak pada hasil cetakan *3D printing* (Galeta et al., 2016). Contohnya seperti penyusutan hasil cetakan yang membuat produk menjadi cacat, kemudian lapisan pertama yang tidak sempurna sehingga kekosongan yang terjadi berdampak pada lapisan berikutnya dan kekasaran hasil cetakan (Kuswanto, 2017). Semua permasalahan ini terjadi akibat ketidak sesuaian kombinasi antar parameter proses terutama parameter *nozzle temperature* dan *layer height* yang akan berdampak pada sifat mekanis material nantinya.

Parameter proses memberi pengaruh terhadap sifat mekanis material, tingkat elastisitas produk dipengaruhi oleh variasi *nozzle temperature* dan *layer height* (Suzen, 2020). Berdasarkan hasil penelitian (Ikhsanto & Zainuddin, 2020) menunjukkan untuk filamen ABS dan PLA bahwa semakin tinggi *nozzle temperature* (244⁰ C) maka semakin besar nilai kuat Tekan (28.236N). Hal ini berlaku sebaliknya, semakin rendah *nozzle temperature* (230⁰ C) maka semakin kecil nilai kuat tekannya

(26.863N), sedangkan hasil dari penelitian yang dilakukan (Budiono, 2015) tentang *layer height* dengan ketebalan 0.3 mm dan nilai kuat tariknya sebesar 18.92 MPa lebih kuat dari *layer height* 0.2 mm yang hanya mendapat nilai kuat tariknya yaitu 18.59 MPa.

Produk hasil *3D printing* tidak hanya dibutuhkan untuk pembuatan prototipe saja bahkan penggunaannya juga untuk produk fungsional (Laricha et al., 2020). Berbagai macam produk hasil dari *3D printing* seperti poros, gantungan benda, hingga kerangka-kerangka kosntruksi dari sebuah miniatur yang sering mengalami pembebanan *bending*. Oleh sebab itu, penting untuk mendapat informasi tentang karakteristik sifat mekanik terutama kuat *bending* produk hasil cetak *3D printing*. Tujuan dari pengujian *bending* untuk mendapatkan pengaruh parameter proses hasil *3D printing* terhadap *flextural strength*, sehingga produk yang dihasilkan sesuai dengan desain khususnya dalam hal kekuatan lentur material (Romli et al., 2020).

II. Metode Penelitian

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan Penelitian eksperimen dimana bertujuan untuk mencari pengaruh dari suatu faktor bebas terhadap faktor terikat. pengaruh faktor diperkirakan dengan pendekatan kuantitatif yang bersifat analitik (Margono, 2010).

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk menunjang proses pelaksanaan penlitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Mesin 3D printer jenis FDM tipe FELIX Pro Series untuk proses pencetakan spesimen.
2. Mesin *Universal Testing Machine* (UTM) tipe HT 2402 untuk proses pengujian *bending*.
3. *Software* Autodesk Inventor Professional 2018 untuk desain spesimen.
4. *Slicer* Ultimaker Cura 4.8.0 untuk *generate G-Code* pada mesin *3D printing*.
5. *Flashdisk* untuk menyimpan file *G-Code* yang akan diinput ke mesin *3D printing*.
6. *Varnier Caliper* untuk mengukur dimensi spesimen yang sudah jadi sesuai dengan desain yang telah dibuat

Bahan yang dipakai untuk penelitian ini yaitu filamen ABS dari produksi RoHS dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Filamen ABS.

<i>Diameter Filament</i>	1.75 mm
<i>Print Temperature</i>	220-250 ⁰ C
<i>Print Speed</i>	50-100 /s
<i>Length</i>	330 kg



Gambar 1. Filament ABS RoHS Deep Blue.

C. Penentuan Pangaturan Parameter

Study literatur pada Buku panduan manual book mesin 3D *printing* FELIX Pro Series bahwa range untuk pengaturan *nozzle temperature* untuk filamen ABS berkisar antara 220⁰ C – 250⁰ C dan *layer haeight* 0.1-0.35 mm. proses pencetakan untuk filamen ABS dari variasi suhu *nozzle* 230⁰ C, 245⁰ C dan 260⁰ C, didapat suhu terbaik untuk proses pencetakan yaitu 230⁰ C (Sulayman, 2015). Pencetakan menggunakan filamen ABS demi memaksimalkan kekuatan *bending* material, diuji berdasarkan variasi *nozzle temperature* 230⁰C, 237⁰C, dan 244⁰C didapat nilai kuat *bending* tertinggi pada suhu 244⁰C (Ikhsanto & Zainuddin, 2020).

Optimasi parameter proses mesin 3D *printing* FDM dengan beberapa kombinasi didapat parameter terbaik kombinasi *layer height* 0.14 mm (Seprianto & Wilza, 2017). Peningkatan kekuatan *bending* hasil 3D *printing* menggunakan metode didapat hasil *layer height* 0.35 mm mampu meningkatkan kualitas elastisitas produk (Riza et al., 2010).

Pemilihan level variasi pengaturan proses sesuai dengan nilai standar range manual book FELIX dan rentang nilainya berdekatan dengan penelitian sebelumnya demi mencapai hasil cetakan yang lebih optimal, Berdasarkan situasi diatas maka penentuan pengaturan parameter proses ditunjukkan tabel 2.

Tabel 2. Faktor Penelitian.

Faktor Bebas	Level Faktor		
X ₁ <i>Nozzle temperature</i> (°C)	222	232	242
X ₂ <i>Layer Height</i> (mm)	0.1	0.2	0.3
Faktor Terikat	Nilai Uji <i>Bending</i>		
Faktor Kontrol			
<i>Print Speed</i>	70 mm/sec		
<i>Bad Temperature</i>	80 ⁰ C		
<i>Infill Density</i>	100%		

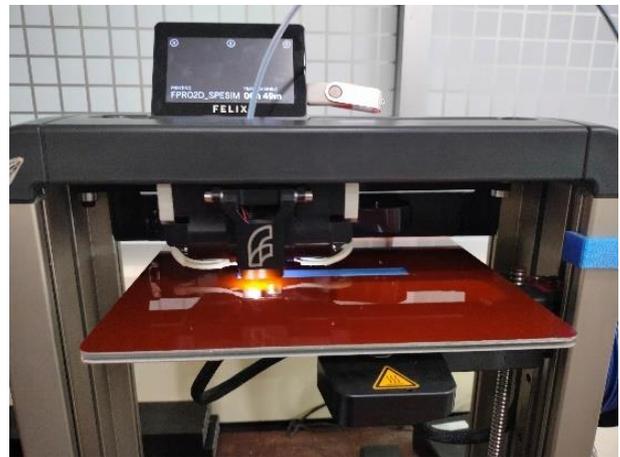
D. Prosedur Penelitian

Spesimen didesain menggunakan *software* Autodesk inventor professional 2018 berbentuk balok dengan ukuran 127 mm x 12.7 mm x 3.2 mm sesuai standar pengujian *bending* untuk material *thermoplastic*

unreinforced ASTM D790. Kemudian hasil desain spesimen dari Autodesk inventor professional 2018 yang berupa format DWG akan diexport ke format STL agar bisa terbaca di aplikasi *licer*.

Pembuatan *geometric code* (*G-Code*) dihasilkan oleh *software slicer* secara otomatis dari mode CAD hingga menjadi Bahasa pemrograman 3D *printing*. Input eksperimen dilakukan menggunakan *software* Ultimaker Cura 4.8.0 dimana faktor bebas (*nozzle temperature, layer height*) dan faktor kontrol (*print speed, bad temperature, infill density*) disetting sesuai perencanaan eksperimen.

G-Code yang dihasilkan oleh *software slicer* selanjutnya diinput ke mesin 3D *printing* menggunakan *flashdisk*. Secara otomatis mesin 3D *printing* melakukan proses pencetakan spesimen sesuai dengan desain dan parameter proses yang telah ditentukan. Proses pencetakan spesimen memakan waktu 22-45 menit seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Printer FDM tipe FELIK Pro Series.

Proses pengujian *bending* pada mesin UTM menggunakan metode *Three Point Bending* dengan standar ASTM D790. Dapat dilihat pada gambar 3 dimana jumlah point yang digunakan yaitu 2 poin di bagian bawah yang bertujuan untuk tumpuan dan 1 poin pada bagian atas sebagai pemberi pembebanan diterapkan di tengah bentang spesimen dengan kecepatan konstan 0.5 mm/menit, panjang bentang (*support span*) 63,5 mm dan data dikumpulkan dari komputer yang terintegrasi dengan mesin uji UTM.

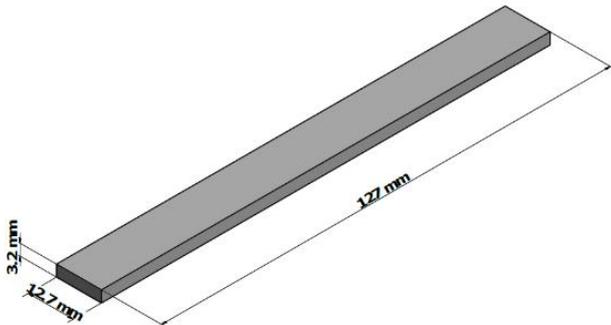


Gambar 3. Proses Pengujian *Bending*.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Desain dan Pembuatan Spesimen

Desain spesimen uji selain bertujuan untuk proses pembuatan *G-Code*, desain spesimen juga menjadi tolak ukur ketepatan dimensi dari hasil pencetakan 3D *printing*. Hasil desain spesimen ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Desain Spesimen.

Spesimen dicetak berdasarkan desain CAD, sehingga hasil cetakan spesimen mempunyai tingkat kepresisian yang sama. Spesimen dicetak berdasarkan prosedur yang telah ditentukan. Hasil cetakan kemudian diukur secara keseluruhan demi mencapai hasil cetakan yang sama spesimen yang seragam. Hasil cetakan spesimen dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkatan dari level variasi *nozzle temperature* dengan kombinasi level variasi *layer height*. Kelompok spesimen diantaranya yaitu A1, A2 dan A3.

No	Nozzle Temperature	Layer Height
1	222 ⁰ C	0.1 mm
2		0.2 mm
3		0.3 mm



Gambar 5. Hasil Cetakan Spesimen A1.

Hasil cetakan spesimen A1 pada gambar 5 setelah dilakukan pengukuran dan pengamatan bentuk, kepresisian dimensi sudah sesuai dengan standar dimensi yang diinginkan. Secara visual pada spesimen A1, semakin tinggi nilai parameter *layer*

height maka hasil cetakan akan semakin kasar.

No	Nozzle Temperature	Layer Height
4	232 ⁰ C	0.1 mm
5		0.2 mm
6		0.3 mm



Gambar 6. Hasil Cetakan Spesimen A2.

Hasil cetakan spesimen dari gambar 6 spesimen A2 seperti sebelumnya, kepresisian dimensi sudah sesuai standar. Secara visual permukaan dari cetakan spesimen A2 sedikit lebih kasar dari A1 seiring dengan peningkatan level *layer height*.

No	Nozzle Temperature	Layer Height
7	242 ⁰ C	0.1 mm
8		0.2 mm
9		0.3 mm



Gambar 7. Hasil Cetakan Spesimen A3.

Hasil cetakan spesimen A3 dapat dilihat pada gambar 7 kepresisian dimensi sudah sesuai dengan standar yang diinginkan. Secara visual berbeda dengan sebelumnya kekasaran permukaan tiap spesimen tidak terlalu jelas, jika ditinjau dari peningkatan level *nozzle temperature* dapat disimpulkan suhu yang rendah dapat mengurangi kekasaran hasil cetakan.

B. Hasil Pengujian *Bending*

Hasil pengujian spesimen A1 Bentuk patahan dapat dilihat pada gambar 8. Patahan yang terjadi jenis patahan ulet dimana spesimen mengalami deformasi plastis yang cukup besar selama proses pembebanan sebelum patah. Terlihat pada spesimen nomor 2 hasil

patahan terlihat dinding *shell* sedikit merenggang. disebabkan lepasnya lapisan filamen akibat lemahnya ikatan antara lapisan filamen.

No	Nozzle Temperature	Layer Height
1	222 ^o C	0.1 mm
2		0.2 mm
3		0.3 mm



Gambar 8. Hasil Pengujian Spesimen A1.

Hasil pengujian spesimen A2 Bentuk patahan yang terjadi juga juga patahan ulet dapat dilihat pada gambar 9. Patahan terjadi pada bagian bawah, dimana spesimen mengalami deformasi plastis yang cukup besar sebelum terjadi patah.

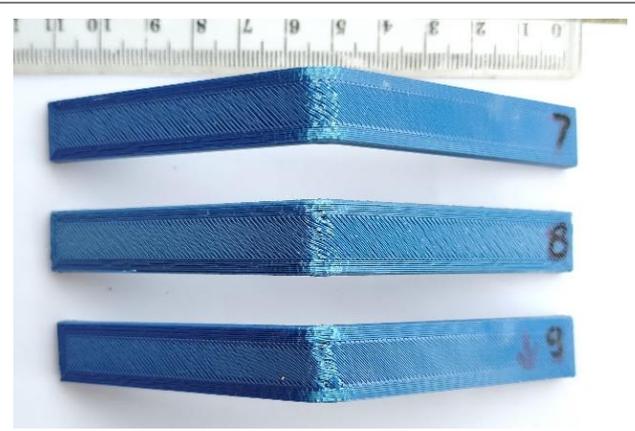
No	Nozzle Temperature	Layer Height
4	232 ^o C	0.1 mm
5		0.2 mm
6		0.3 mm



Gambar 9. Hasil Pengujian Spesimen A2.

Hasil pengujian spesimen A2 Bentuk patahan yang terjadi pada spesimen A3 juga patahan ulet, namun yang terlihat pada gambar 10 patahan yang terjadi pada bagian bawah spesimen beberapa lapisan filamen terlepas dari ikatan lapisan lainnya.

No	Nozzle Temperature	Layer Height
7	242 ^o C	0.1 mm
8		0.2 mm
9		0.3 mm



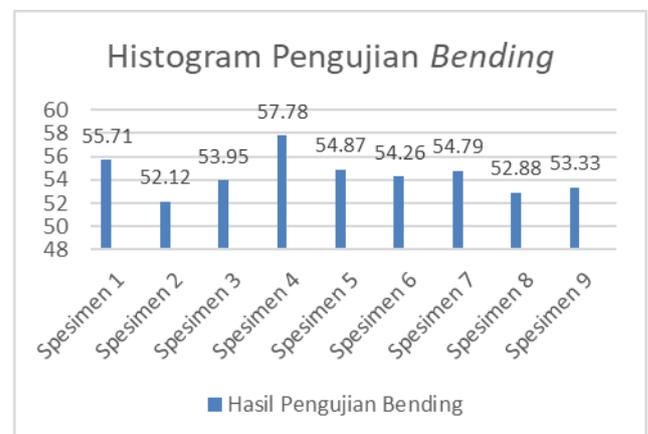
Gambar 10. Hasil Pengujian Spesimen A3.

Hasil pengujian *bending* didapatkan nilai Gaya Maksimal (F_{max}) dan *Flextural Strength* (σ) pada tiap spesimen, dengan variasi pengaturan parameter prosesnya. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian *Bending*.

No	Faktor Bebas		Gaya Max (F_{max}) (N)	<i>Flextural Strength</i> (σ) (MPa)
	X ₁	X ₂		
1	222	0.1	76.07	55.71
2	222	0.2	71.17	52.12
3	222	0.3	73.67	53.95
4	232	0.1	78.90	57.78
5	232	0.2	74.92	54.87
6	232	0.3	74.09	54.26
7	242	0.1	74.82	54.79
8	242	0.2	72.20	52.88
9	242	0.3	72.82	53.33

Data hasil pengujian *bending* ditinjau dari tabel 3, bahwa hasil pengjian dari Sembilan spesimen didapat F_{max} terendah terdapat pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 222^o C dan *layer height* 0.2 mm dengan nilai 71.17 N dan F_{max} tertinggi terdapat pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 232^o C dan *layer height* 0.1 mm dengan nilai 78.90 N.



Gambar 11. Grafik Nilai *Flextural Strength*.

Hasil pengujian *bending* dari kesembilan spesimen didapatkan nilai *flextural strength* tertinggi pada spesimen nomor 4 dengan kombinasi parameter *nozzle temperature* 232⁰ C dan *layer height* 0.1 mm dengan nilai 57.78 MPa. Sedangkan untuk nilai *flextural strength* terendah yaitu pada spesimen 2 dengan kombinasi parameter *nozzle temperature* 222⁰ C dan *layer height* 0.2 mm dengan nilai 52.12 MPa. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 11.

C. Pembahasan

Pemrosesan spesimen dilakukan sesuai dengan prosedur persiapan spesimen dan prosedur pengujian spesimen yang ditentukan. Akibatnya, spesimen yang diuji memiliki tingkat variasi bentuk dan dimensi yang sama antar spesimen. Spesimen yang dimensi dan bentuknya tidak sesuai dengan gambar kerja dianggap ditolak atau cacat dan tidak akan digunakan sebagai benda uji.

Standar *mechanical properties* dari material ABS *unreinforced* berdasarkan MatWeb untuk nilai *flexural strength* yaitu 41.4-81.4 MPa. berdasarkan tabel 3 hasil pengujian spesimen didapat nilai *flexural strength* berkisar 52.12-57.78 MPa. Jadi data hasil pengujian *bending* berada didalam nilai range standar *mechanical properties* material ABS.

Penelitian yang dilakukan oleh (Shabana et al., 2019) tentang valuasi sifat mekanik polimer ABS dan PLA cetak 3D yang biasa Digunakan dengan polimer berlapis. tiga spesimen diambil untuk pengujian untuk setiap jenis polimer untuk mempertimbangkan rata-rata dari ketiganya sebagai nilai akhir. Dengan menggunakan metode yang serupa, dari hasil penelitian didapatkan nilai *flextural strength* untuk material ABS sebesar 47,22 MPa. Sedangkan Penelitian yang dilakukan oleh (Szczepanik & Bednarczyk, 2017) tentang Sifat mekanik *bending* cetak 3D material ABS dengan menggunakan metode yang serupa memperoleh nilai *flextural strength* 41.7 dan 51.2 MPa.

IV. Kesimpulan

Hasil pengujian *bending* dari Sembilan spesimen didapat *Fmax* terendah terdapat pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 222⁰ C dan *layer height* 0.2 mm dengan nilai 71.17 N dan *flextural strength* 52.12 MPa. Sedangkan untuk *Fmax* tertinggi terdapat pada kombinasi parameter *nozzle temperature* 232⁰ C dan *layer height* 0.1 mm dengan nilai 78.90 N dan *flextural strength* 57.78 MPa.

Parameter *nozzle temperature* dan *layer height* yang tepat digunakan untuk proses pencetakan 3D *printing* dengan material ABS untuk menghasilkan kekuatan *bending* tertinggi menggunakan *nozzle temperature* 232⁰ C dengan *layer height* 0.1 mm yang menghasilkan nilai *flextural strength* (σ) sebesar

57.78 MPa.

Referensi

- Budiono, H. S. (2015). *Pengujian Kuat Tarik Terhadap Produk Hasil 3D Printing Dengan Variasi Ketebalan Layer 0,2 mm dan 0,3 mm Yang Menggunakan Bahan ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Galeta, T., Raos, P., Stojši, J., & Pakši, I. (2016). *Influence of structure on mechanical properties of 3D printed objects*. 149(June), 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.644>
- Ikhsanto, L. N., & Zainuddin. (2020). Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS Dan PLA Pada Hasil 3D Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle. *Media Mesin: Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 21 (1), 9–27.
- Kuswanto. (2017). *Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Defleksi Produk 3D Printer*. President University.
- Laricha, L., Kosasih, W., Doaly, C. O., & Putri, E. W. (2020). *Aplikasi Factorial Design Guna Peningkatan Karakteristik Fisik Produk Hasil 3D Printer*. Jakarta.
- Lubis, S., Djamil, S., & Yolanda. (2016). Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3d Printing Bahan Polymer PLA dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. *SINERGI*, 20, 27–35.
- Mahamood, S., Khader, M. A., & Ali, H. (2016). *Applications of 3-D Printing in Orthodontics : A Review*. 3(11), 267–270. <https://doi.org/10.17354/ijss/2016/99>
- Margono, S. (2010). *Metode Penelitian Pendidikan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Sugiyarto, S. (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 33–40. <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>
- Riza, E. I., Budiantoro, C., & Nugroho, A. W. (2010). Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material Petg Dengan Optimasi Parameter Proses. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 66–75.
- Romli, Seprianto, D., Putra, D. P., Zamheri, & Rasid,

- M. (2020). The Effect of Parameters on the Process of Making Objects with Rapid Prototyping Digital Light Processing Technology on the Bending Stress. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012027>
- Sagias, V. D., Giannakopoulos, K. I., & Stergiou, C. (2018). Mechanical properties of 3D printed polymer specimens. *Procedia Structural Integrity*, 10, 85–90. Diambil dari <http://www.sciencedirect.com>
- Seprianto, D., & Wilza, R. (2017). *Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D Printing Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri*. (November), 37–49.
- Setiawan, A. (2017). Pengaruh Parameter Proses Ekstrusi 3D Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan Filament PLA (Poly Lactide Acid). *Jurnal Teknik STTKD*. ISSN : 2460-1608, 4(2), 20–27.
- Setiawan, A. A. (2018). Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis. *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application Program*, (2654), 1–5.
- Shabana, Nikhil Santosh, R. V., Sarojini, J., Arun Vikram, K., & Lakshmi, V. V. K. (2019). Evaluating the mechanical properties of commonly used 3D printed ABS and PLA polymers with multi layered polymers. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 2351–2356. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F8646.088619>
- Sulayman, D. (2015). *Pengaruh Suhu Dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suzen, Z. S. (2020). Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(02), 73–80.
- Szczepanik, S., & Bednarczyk, P. (2017). Bending and Compression Properties of ABS and PET Structural Materials Printed Using FDM Technology. *Journal of Casting & Materials Engineering*, 1(2), 39. <https://doi.org/10.7494/jcme.2017.1.2.39>
- Wahjuni, S., Setyowati, O., Gofur, N. R. P., & Faisyah, S. A. (2021). Pembuatan Snap-On Smile Dengan Bahan Resin Acetyl Thermoplastic Untuk Memperbaiki Estetika Dan Fungsi Pada Kasus Kehilangan Gigi. *Journal of Vocational Health Studies*, 136–145. <https://doi.org/10.20473/jvhs.V4.I3.2021.136-145>