

Pengaruh Sudut Kemiringan dan Suhu *Nozzle* terhadap Kekasaran Permukaan pada Bagian *Overhang* Hasil Cetak 3D Material PLA

The Effect of Inclination Angle and Nozzle Temperature on Surface Roughness of Overhang Parts in 3D Printed PLA Material

M. Fendy Kussuma Hadi Sufyan^{1*}, Ikhawan Taufik¹, Silviana Silviana², Gito Sugiyanto³

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar, Magelang 56116, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang 50275, Indonesia

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tidar, Magelang 56116, Indonesia

*Corresponding author: fendy.kussuma@gmail.com

Diterima: 30-06-2025

Disetujui: 31-07-2025

Dipublikasikan: 11-08-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh sudut kemiringan overhang dan suhu nozzle terhadap tingkat kekasaran permukaan pada bagian overhang hasil pencetakan 3D menggunakan material Polylactic Acid (PLA) dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM). Metode Eksperimen digunakan dengan memvariasikan parameter sudut overhang (35°, 45°, dan 55°) serta suhu nozzle (210°C, 220°C, dan 230°C) pada proses pencetakan spesimen. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *surface roughness tester* pada bagian overhang tanpa struktur penyangga. Hasil menunjukkan bahwa kekasaran meningkat seiring bertambahnya sudut kemiringan dan suhu nozzle. Nilai kekasaran terendah tercatat pada suhu 210°C dengan sudut overhang 35°, sedangkan nilai tertinggi tercatat pada suhu 230°C dengan sudut overhang 55°. Temuan ini mengindikasikan bahwa kontrol terhadap parameter suhu dan sudut kemiringan penting untuk memperoleh kualitas permukaan yang optimal pada pencetakan bagian overhang. Studi ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap optimasi parameter proses FDM dalam menghasilkan permukaan cetakan yang lebih halus.

Kata Kunci: Pencetakan 3D, FDM, PLA, Kekasaran Permukaan, Sudut Overhang, Suhu Nozzle.

Abstract

This study aims to investigate the influence of overhang inclination angle and nozzle temperature on the surface roughness of the overhang section in a 3D printed object using Polylactic Acid (PLA) material with the Fused Deposition Modeling (FDM) method. An experimental approach was employed by varying the overhang angles (35°, 45°, and 55°) and nozzle temperatures (210°C, 220°C, and 230°C) during the printing process. Surface roughness measurements were performed on unsupported overhang areas using a surface roughness tester. The results showed that surface roughness increased with greater overhang angles and higher nozzle temperatures. The lowest surface roughness value was recorded at 210°C with a 35° overhang angle, while the highest was observed at 230°C with a 55° overhang angle. These findings indicate that controlling the nozzle temperature and overhang angle is crucial for achieving optimal surface quality in overhang printing. This study is expected to contribute to the optimization of FDM process parameters to produce smoother surfaces.

Keywords: 3D Printing, FDM, PLA, Surface Roughness, Overhang Angle, Nozzle Temperature.

1. Pendahuluan

Manufacturing Aditif (atau pencetakan 3D) telah menjadi metode pembuatan prototipe yang cepat dan banyak dipilih sejak awal tahun 1980-an (Isa dkk. 2018). Salah satu manfaat

utama dari pencetakan 3D adalah kemampuannya untuk menciptakan bentuk atau geometri yang sangat rumit (Panjaitan dkk. 2021). Dengan teknologi 3D printing, berbagai jenis objek dapat dibuat dengan kualitas tinggi, termasuk objek yang tidak dapat dihasilkan dengan metode manufaktur lainnya. Tentu saja, bahan yang dimanfaatkan dalam teknologi pencetakan 3D ini juga beragam. Salah satu bahan yang umum dipakai dalam teknologi pencetakan 3D, terutama metode FDM (*Fuse Deposition Modeling*) adalah *Polylactic Acid* (PLA) (Karuniawan dkk. 2022). PLA merupakan polimer alami atau biopolimer yang memiliki karakteristik dapat terurai secara *biodegradable*, sehingga dapat mudah terdegradasi. Polimer ini kerap dimanfaatkan di sektor biomedis, misalnya untuk pembuatan jahitan, sekrup fiksasi tulang, dan alat pengiriman obat (Ng dkk. 2024; Setyawan dan Ngadiyono 2022). Namun, teknologi pencetakan 3D yang menggunakan PLA masih menghadapi tantangan dalam menciptakan produk dengan kualitas permukaan yang memuaskan, terutama pada area *overhang* (bagian yang menggantung di udara tanpa dukungan di bawahnya). Prinsip kerja FDM adalah mengepres termoplastik melalui *nozzle* (lubang ujung ekstruder yang mengeluarkan material) panas pada suhu titik leleh material, lalu produk dihasilkan secara bertahap lapis demi lapis melalui gerakan ekstruder (Riza dkk. 2020; Tofianto dkk. 2022). Lebih lanjut, produk yang dihasilkan dengan metode cetak 3D FDM umumnya memiliki karakteristik mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan produk yang diproses menggunakan *injection moulding*, akibat adanya titik lemah di antara setiap lapisan (Aji dkk. 2023). Proses pencetakan menggunakan metode FDM memerlukan penggunaan struktur pendukung (*Support*) yang tak terhindarkan untuk banyak produk dengan *overhang*, yang mengakibatkan waktu pembuatan yang lebih lama, biaya pasca-pemrosesan yang tinggi, limbah material, serta kadang-kadang gagal dalam menghasilkan bagian produk dengan kualitas yang diinginkan (Jiang dkk. 2018). Oleh sebab itu, sudut *overhang* menjadi salah satu elemen krusial dalam teknologi pencetakan 3D yang harus diperhatikan guna meningkatkan kualitas.

Sudut *overhang* memiliki ambang batas yang dapat ditopang sendiri, umumnya ditetapkan pada 45° untuk *printer* FDM (Jiang dkk. 2019). FDM merupakan salah satu metode *3D printing* yang paling populer digunakan sebagai teknologi *additive manufacturing* yang model fisik tiga dimensinya dibangun lapis demi lapis (Bintara dkk. 2019; Andriyansyah dkk. 2021). Namun, parameter proses yang berbeda seperti suhu ekstrusi (pada *nozzle*) juga dapat berdampak besar pada sudut *overhang* ambang batas yang dapat di-*print* atau *Printable Threshold Overhang Angle* (PTOA) (Jiang dkk. 2019). Selain memengaruhi keberhasilan proses, kekasaran permukaan hasil pencetakan produk hasil *3D Printing* menjadi tantangan yang signifikan dalam upaya menghasilkan produk berkualitas tinggi (Hanafi dkk. 2021). Dalam konteks ini, kualitas permukaan yang dimaksud berhubungan dengan tingkat kehalusan permukaan (*Surface Roughness*). Kekasaran permukaan dalam pencetakan 3D merujuk pada ketidakrataan atau tidak halusya permukaan pada objek yang dicetak yang disebabkan berbagai aspek seperti metode pencetakan, parameter pencetakan, geometri objek, jenis bahan, serta ketelitian dan ketepatan mesin pencetak (Fachrudin dan Astuti 2024). Lebih lanjut, penyelesaian permukaan yang berkualitas juga berkontribusi dalam mengurangi biaya *pasca*-pemrosesan (Cacace dkk. 2017).

Penelitian ini merupakan eksperimen yang bertujuan untuk menyelidiki pengaruh sudut kemiringan pencetakan dan suhu *nozzle* terhadap kualitas permukaan bagian *overhang* hasil *3D printing* menggunakan PLA. Data yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi mengenai konfigurasi pencetakan yang terbaik, menghasilkan kualitas permukaan yang optimal, dan mendukung kemajuan teknologi *3D printing* lebih lanjut serta meningkatkan penggunaannya di berbagai sektor industri seperti manufaktur, permesinan, dan lainnya.

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

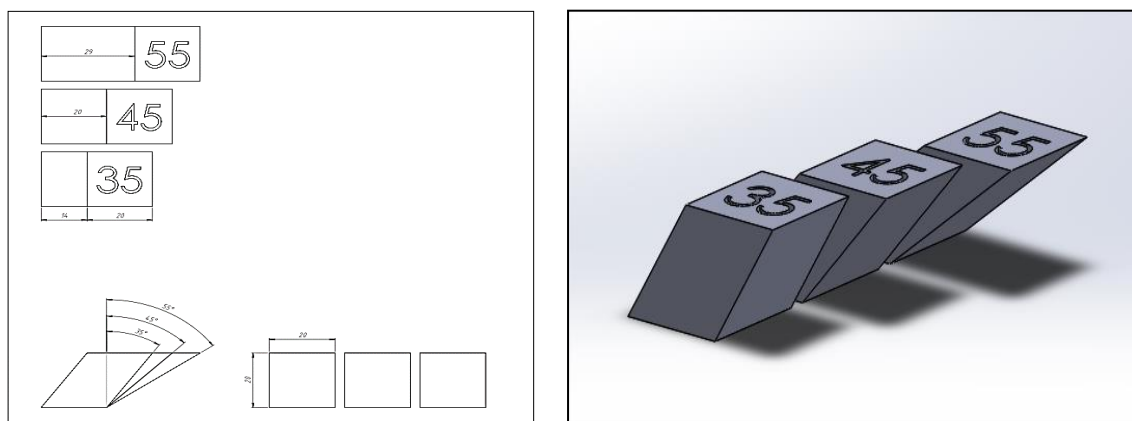
Metode penelitian menggunakan metode eksperimen dengan alur proses sebagaimana tertera pada gambar 1. Pada penelitian pengaruh desain sudut kemiringan dan suhu *nozzle* terhadap kekasaran permukaan di bagian *overhang* hasil *3D printing polylactic acid* ini dilakukan desain model 3D terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan proses *slicing* sebelum dilakukan proses *printing*. Proses *printing 3D* diberlakukan setting parameter suhu yang bervariasi untuk setiap tiga model desain, yang mana suhu *nozzle* ekstruder merupakan salah satu parameter yang sangat mempengaruhi hasil cetak produk 3D (Arifin 2023). Produk hasil *3D Printing* kemudian dilakukan pengukuran kekasaran permukaan pada bagian *overhang* (bagian yang menggantung tanpa *support*) dan dilakukan analisis pada data hasil pengukuran.



Gambar 1. Alur Proses Eksperimen

2.2. Proses Desain

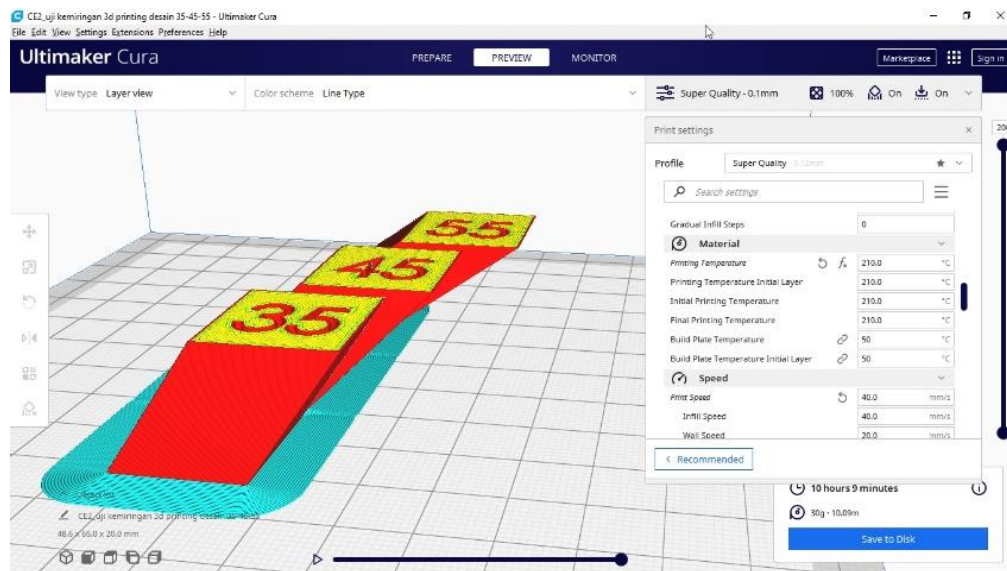
Proses desain menggunakan *software CAD* Solidworks untuk membuat objek tiga dimensi yang nantinya akan di-*print* (Amri dan Sumbodo 2018), kemudian desain yang telah dibuat disimpan dengan format STL agar dapat dibaca oleh *software slicer*. Model dibuat tiga objek dalam satu *file* yang masing-masing mempunyai sudut kemiringan 35°, 45°, dan 55°. Desain model seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. Desain Model 3D

2.3. Proses Slicing

Tahap selanjutnya adalah proses *slicing* menggunakan *software* Ultimaker CURA (Herianto dan Ikhwan Taufik 2021). Pada tahap ini, parameter-parameter ditentukan khususnya untuk parameter suhu 210°C, 220°C, dan 230°C sebagaimana rekomendasi dari jenis PLA yang digunakan. Menurut (Mohseni dkk. 2023) semakin meningkat parameter suhu *nozzle* dan kecepatan ekstrusi menghasilkan rongga hasil cetak yang semakin kecil. Lebih lanjut, parameter lainnya untuk proses *printing* digunakan ketebalan layer (*layer thickness*) 0,10 mm, kecepatan pencetakan (*printing speed*) 40 mm/s, *flowrate* 110 %, dan kecepatan pendinginan pada *nozzle* (*cooling speed*) 40% (Pratama 2021).



Gambar 3. Proses Slicing

2.4. Material Filamen

Penelitian ini menggunakan material filamen *Polylactic Acid* (PLA) dari eSun warna *snow white* dengan rekomendasi penggunaan sebagai berikut:

Recommended printing parameters

Extruder Temperature	210- 230°C
Build Platform Temperature	45-60°C
Fan Speed	100%
Printing Speed	40 - 100mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2. Printing conditions may vary with different nozzle diameters

Gambar 4. Rekomendasi parameter penggunaan filamen PLA

(Sumber: www.esun3d.com/pla-basic-product)

2.5. Mesin 3D Printer

Mesin *3D Printer* yang digunakan adalah “Creality 3D Printer Ender 2 Pro Easy Assemble Portable Magnetic Bed” dengan spesifikasi: *Build Volume*: 165 x 165 x 180 mm, *Feeder System*: Bowden, *Print head*: Single nozzle, *Nozzle size*: 0.4 mm, *Max. hot end suhu*: 260 °C, *Max. heated bed suhu*: 80 °C, *Print bed material*: Magnetic PEI. Mesin ini digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yakni harga terjangkau, mudah dioperasikan, serta telah menggunakan tipe *magnetic bed* yang memudahkan dalam pengambilan hasil *printing*.



Gambar 5. Mesin *3D Printer Creality Ender 2*

2.6. Proses *Printing*

Berdasarkan kerangka alur proses eksperimen dicetak sebanyak sembilan sampel yang diukur tingkat kekasaran permukaannya. Secara rinci set up parameter proses *printing* adalah sebagai berikut:

- Suhu 210°C dengan sudut *overhang* 35°, 45°, dan 55°.
- Suhu 220°C dengan sudut *overhang* 35°, 45°, dan 55°.
- Suhu 230°C dengan sudut *overhang* 35°, 45°, dan 55°.

Pada saat proses *printing* suhu *nozzle* dicek secara berkala menggunakan *thermogun* untuk memastikan kesetabilan dan keakuratan suhu *nozzle* ekstruder saat proses berjalan.

2.7. Pengukuran Kekasaran Permukaan

Sebanyak sembilan sampel utuh (dipastikan telah tercetak sempurna secara visual) diukur tingkat kekasaran permukaannya pada bagian *overhang*. Pengukuran dilakukan menggunakan Mitutoyo *surface roughness tester*. Data hasil pengukuran direkap dalam tabel kemudian dibuat grafik untuk memudahkan analisis.



Gambar 6. *Surface roughness tester*

3. Hasil dan Pembahasan

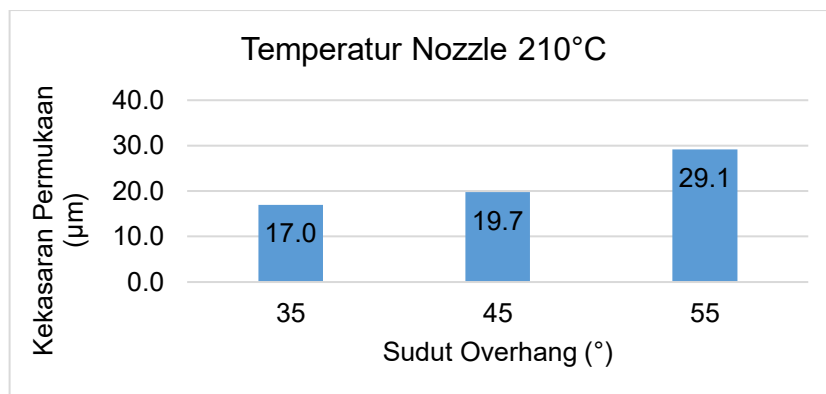
Studi eksperimental dengan melakukan proses *3D printing* untuk material PLA dengan teknik FDM pada berbagai variasi desain sudut kemiringan dan suhu *nozzle* dihasilkan sampel produk (Gambar 7), jumlah sampel uji untuk setiap parameter proses sebanyak tiga (tiga) duplikasi. Proses selanjutnya diukur kemiringan bagian *overhang* menggunakan busur derajat untuk memastikan ketepatan kemiringan hasil cetak. Lebih lanjut, sampel diukur nilai kekasarannya pada bagian *overhang* menggunakan Mitutoyo *surface roughness tester* dan data disajikan pada bagian hasil berupa nilai rata-rata yang mewakili setiap parameter proses pencetakan.



Gambar 7. Spesimen Hasil Cetak 3D Printer

3.1. Hasil Nilai Kekasaran pada sampel dengan Suhu *Nozzle* Ekstruder 210°C

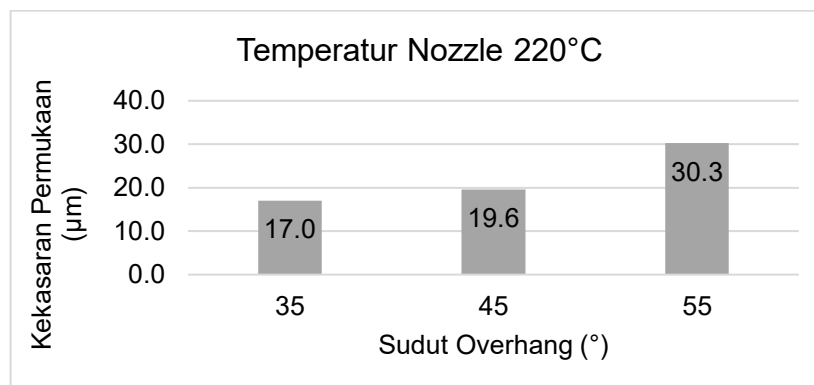
Nilai kekasaran permukaan bagian *overhang* untuk sampel uji hasil cetak 3D dengan suhu *nozzle* ekstruder 210°C dengan *infill* 100% didapatkan nilai kekasaran yang meningkat (Gambar 8) yaitu 17 μm pada sudut kemiringan 35°, 19,7 μm pada sudut kemiringan 45°, dan 29,1 μm pada sudut kemiringan 55°. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan bagian *overhang* maka akan semakin tinggi pula nilai kekasarannya.



Gambar 8. Grafik Nilai Kekasaran untuk Suhu *Nozzle* Ekstruder 210°C

3.2. Hasil Nilai Kekasaran pada sampel dengan Suhu *Nozzle* Ekstruder 220°C

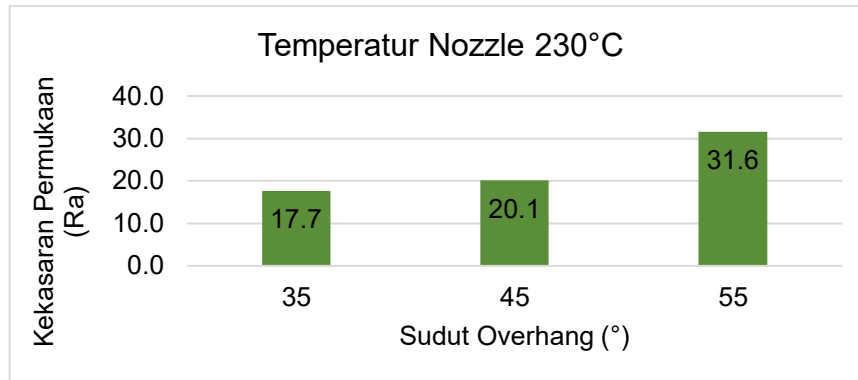
Nilai kekasaran permukaan bagian *overhang* untuk sampel uji hasil cetak 3D dengan suhu *nozzle* ekstruder 220°C dengan *infill* 100% didapatkan nilai kekasaran yang meningkat (Gambar 9) yaitu 17 μm pada sudut kemiringan 35°, 19,6 μm pada sudut kemiringan 45°, dan 30,3 μm pada sudut kemiringan 55°. Sebagaimana pada suhu *nozzle* ekstruder 210°C, nilai kekasaran untuk suhu *nozzle* ekstruder 220°C menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan bagian *overhang* maka akan semakin tinggi pula nilai kekasarannya.



Gambar 9. Grafik Nilai Kekasaran untuk Suhu *Nozzle* Ekstruder 220°C

3.3. Hasil Uji Kekasaran pada sampel dengan Suhu Nozzle Ekstruder 230°C

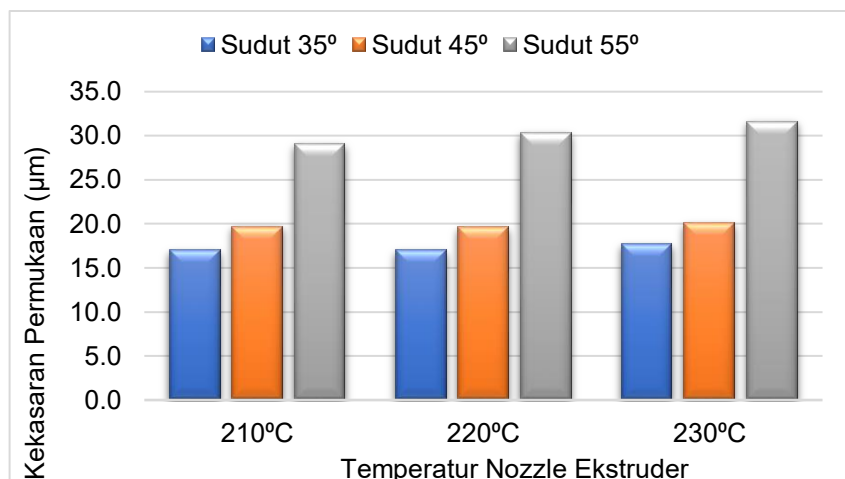
Nilai kekasaran permukaan bagian *overhang* untuk sampel uji hasil cetak 3D dengan suhu *nozzle* ekstruder 230°C dengan *infill* 100% didapatkan nilai kekasaran yang meningkat (Gambar 10) yaitu 17,7 μm pada sudut kemiringan 35°, 20,1 μm pada sudut kemiringan 45°, dan 31,6 μm pada sudut kemiringan 55°. Sebagaimana pada suhu *nozzle* ekstruder 210°C dan 220°C, nilai kekasaran untuk suhu *nozzle* ekstruder 230°C menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan bagian *overhang* maka akan semakin tinggi pula nilai kekasarannya.



Gambar 10. Grafik Nilai Kekasaran untuk Suhu *Nozzle* Ekstruder 230°C

3.4. Pembahasan

Nilai kekasaran bertambah seiring dengan meningkatnya besar sudut kemiringan pada bagian *overhang*. Selanjutnya, berdasarkan tiga grafik di atas, dapat dilihat bahwa selain faktor parameter sudut kemiringan, kekasaran permukaan sampel pada bagian *overhang* juga dipengaruhi oleh parameter suhu *nozzle* ekstruder (Gambar 11), di mana nilai kekasaran permukaan terendah terdapat pada sampel dengan pengaturan parameter suhu *nozzle* ekstruder 210°C dan sudut *overhang* 35°. Pada sisi lain, nilai kekasaran tertinggi terdapat pada spesimen dengan pengaturan parameter suhu *nozzle* ekstruder 230°C dan sudut *overhang* 55°. Berdasarkan hasil tersebut, dalam proses pencetakan 3D yang melibatkan desain produk atau model dengan bagian *overhang* dapat dibuat untuk kemiringan kurang dari 55° karena semakin besar sudut kemiringan pada bagian tersebut mengakibatkan berkurangnya ikatan antar lapisan dan suhu *nozzle* ekstruder 210°C atau lebih rendah jika memungkinkan bahan filamen yang digunakan supaya memperoleh tingkat kekasaran yang rendah karena semakin rendah suhu pencetakan maka proses pendinginan juga dapat berlangsung lebih cepat sehingga menghasilkan lapisan yang lebih rata.



Gambar 11. Grafik Nilai Kekasaran berdasarkan perbedaan Suhu *Nozzle* Ekstruder

4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan suhu *nozzle ekstruder 3D Printing FDM* dengan material PLA menghasilkan nilai kekasaran permukaan pada spesimen yang semakin besar jika digunakan suhu *nozzle ekstruder* semakin bertambah mulai dari 210°C, 220°C, hingga 230°C dan sudut *overhang* semakin besar dari 35°, 45°, hingga 55°. Di sisi lain, hasil ini sejalan dengan proses *printing 3D* bagian *non-overhang* oleh (Hakim dkk. 2019; Mukhtarkhanov dkk. 2023) yang menunjukkan bahwa suhu *nozzle* yang semakin tinggi akan memberikan dampak pada nilai kekasaran permukaan hasil proses *printing* yang akan semakin tinggi pula. Lebih lanjut, agar didapatkan hasil cetak yang baik dalam hal kerataan permukaan bagian *overhang* dapat digunakan parameter cetak dengan sudut di bawah 55° dan suhu tidak lebih dari 230°C.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang berkontribusi dan berdedikasi atas terselesaikannya artikel ilmiah ini. Semoga artikel ilmiah ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- Ajaji, B., P. Pristiansyah, dan Y. F. Ariyani. 2023. "Pengaruh Parameter Proses terhadap Kekasaran Permukaan menggunakan Filament PETG (Polythylene Terephthalate Glycol)." *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan* 1 (2): 332–338. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i2.32>.
- Amri, A. A. N., dan W. Sumbodo. 2018. "Perancangan 3D Printer Tipe Core XY berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) menggunakan Software Autodesk Inventor 2015." *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin* 3 (2): 110–115. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v3i2.21407>.
- Andriansyah, D., S. Sriyanto, A. Jamaldi, dan I. Taufik. 2021. "Evaluasi Akurasi Dimensi pada Objek Hasil 3D Printing." *Journal of Mechanical Engineering* 5 (1). <https://doi.org/10.31002/jom.v5i2.816>.
- Arifin, M. 2023. "Kajian Parameter 3D Printing terhadap Ketangguhan Material dan Kualitas Permukaan menggunakan Metode Taguchi." *JiTEKH* 11 (2): 127–137. <https://doi.org/10.35447/jitekh.v11i2.816>.
- Bintara, R. D., A. Aminuddin, D. Prasetyo, dan F. R. Arbianto. 2019. "The Characteristic of Overhang Object to Material Usage on FDM 3D Printing Technology." *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology* 3 (1): 35–41. <http://doi.org/10.17977/um016v3i12019p035>.
- Cacace, S., E. Cristiani, dan L. Rocchi. 2017. "A Level Set Based Method for Fixing Overhangs in 3D Printing." *Applied Mathematical Modeling* 44: 446–455. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.02.004>.
- Fachrudin, A. R., dan F. A. F. Astuti. 2024. "Pengaruh Layer Height dan Printing Speed terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing." *Majamecha* 6 (1): 46–57. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v6i1.2971>.
- Hakim, R., I. Saputra, G. P. Utama, dan Y. Setyoadi. 2019. "Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Material PLA terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer." *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)* 1 (1): 1–8. <https://doi.org/10.30871/jatra.v1i1.1242>.
- Hanafi, A. F., A. Finali, dan E. P. U. Rodmat. 2021. "Analisis Pengaruh Temperatur Extruder dan Heat Bed 3D Printer Tipe Fused Deposition Modelling (FDM) berbahan PLA+ terhadap

- Kekuatan Mekanik Produk.” *Elemen: Jurnal Teknik Mesin* 8 (1): 57–61. <https://doi.org/10.34128/je.v8i1.145>.
- Herianto, dan I. Taufik. 2021. *Slicing with Ultimaker Cura*. Edisi pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Isa, M. A., I. E. Yigit, dan I. Lazoglu. 2018. “Analysis of Build Direction in Deposition-based Additive Manufacturing of Overhang Structures.” *Solid Freeform Fabrication* 2018.
- Jiang, J., X. Xu, dan J. Stringer. 2018. “Support Structures for Additive Manufacturing: A Review.” *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 2 (4): 64. <https://doi.org/10.3390/jmmp2040064>.
- . 2019. “Effect of Extrusion Temperature on Printable Threshold Overhang in Additive Manufacturing.” *Procedia CIRP* 81: 1376–1381. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.047>.
- Karuniawan, B. W., F. Rachman, dan M. T. Yoningtias. 2012. “Metode Taguchi untuk Optimasi Parameter Mesin Printer 3D terhadap Kualitas Produk Material ABS.” *Austenit* 14 (2): 61–68. <https://doi.org/10.53893/austenit.v14i2.4631>.
- Lubis, Muhammad Sobron Yamin, Agasha Wiyoso, Harry Wibowo, dan Silvi Ariyanti. 2023. “Penentuan Parameter Proses Laser Cutting Terhadap Kekasaran Permukaan Material Acrylic.” *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 2 (2):19-28. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i2.43>.
- Mohseni, Y., M. Mohseni, S. Suresh, et al. 2023. “Investigating Impacts of FDM Printing Parameters and Geometrical Features on Void Formation in 3D Printed Automotive Components.” *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.078>.
- Mukhtarkhanov, M., E. Shehab, S. Araby, dan M. H. Ali. 2023. “Experimental Study of Wax-material Support Parts with Overhanging Sections.” *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* 6 (4): 534–542. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.04.002>.
- Ng, W. L., J. An, dan C. K. Chua. 2024. “Process, Material, and Regulatory Considerations for 3D Printed Medical Devices and Tissue Constructs.” *Engineering* 36: 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.021.028>.
- Panjaitan, J. H., M. Tampubolon, F. Sihombing, dan J. Simanjuntak. 2021. “Pengaruh Kecepatan, Temperatur dan Infill terhadap Kualitas dan Kekasaran Kotak Relay Lampu Sign Sepeda Motor Hasil dari 3D Printing.” *Sprocket Journal of Mechanical Engineering* 2 (2): 87–99. <https://doi.org/10.36655/sproket/v2i2.530>.
- Pratama, Y. B. 2021. “Pengaruh Parameter Proses Slicing Software terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen ST-PLA.” *Jurnal Teknologi Manufaktur* 13 (1). <https://doi.org/10.333504/mnanutech.v13i01.161>.
- Riza, E. I., C. Budiyanoro, dan A. W. Nugroho. 2020. “Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material PETG dengan Optimasi Parameter Proses menggunakan Metode Taguchi.” *Media Mesin* 21 (2): 66–75.
- Setyawan, B. A., dan Y. Ngadiyono. 2022. “Analisis Pengaruh Tingkat Kelembaban Filamen PLA terhadap Nilai Kekuatan Mekanik Hasil Cetak 3D Printing.” *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin* 7 (1): 1–11. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v7i1.48259>.
- Tofianto, M. H. E., D. Djumhariyanto, M. Trifiananto, A. Syuhri, dan A. Triono. 2022. “Pengaruh Layer Height, Nozzle Temperature dan Printing Speed terhadap Tingkat Kekasaran pada Keycaps Mechanical Keyboard dengan Filamen 3D Printing Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG).” *Rotasi* 24 (4): 64–70. <https://doi.org/10.14710/rotasi.24.4.%25p>.