

Pengaruh Kecepatan Putaran Kipas Pendingin pada Mesin 3D *Printing* terhadap Kekasaran Permukaan Produk Cetak

Sally Cahyati*, Agusman Marpaung

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Jl. Kyai Tpa No 1 Grogol, Jakarta Barat - 11440

*E-mail: sally@trisakti.ac.id

Diajukan: 28-11-2021; Diterima: 14-12-2022; Diterbitkan: 23-12-2022

Abstrak

Salah satu dari proses pencetakan dengan metode FDM (*Fused Deposition Modeling*) adalah 3D Printing. Banyak sekali tantangan untuk menghasilkan produk terbaik dengan metode ini, terutama karena banyaknya parameter yang mempengaruhi keberhasilan proses pencetakan produk, yaitu temperatur, ketepatan dan kepresisian peletakan desain pelapisan produk. Keberhasilan pengaturan temperatur proses merupakan *trade off* antara sistem pemanas yang diterapkan pada bed dan nozzle untuk *pelelehan* filamen dan sistem pendinginan dengan kipas angin yang bertujuan untuk mempercepat pembekuan kembali filamen yang sudah dicetak. Ketepatan pada pengaturan keduanya merupakan hal penting dalam menghasilkan produk cetak yang berkualitas baik. Analisis dan pengujian pada temperatur kerja 3D *printing* di butuhkan untuk mencegah dan mengurangi masalah penyusutan, defleksi dan deformasi pada produk cetak. Penelitian ini akan menguji apakah kecepatan kipas pendingin yang diatur pada persentase kecepatan putaran kipas yang berbeda akan mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan produk cetak? Pengujian akan dilakukan pada 15 buah benda uji hasil dari 3 jenis proses pencetakan menggunakan persentase kecepatan putaran kipas 100%, 75% dan 50%. Berdasarkan hasil pengukuran kekasaran permukaan benda uji diperoleh pada kecepatan putaran kipas 50% nilai kekasaran (Ra) benda uji terendah 22,7 μm , tertinggi 28,3 μm , dan nilai rata-ratanya adalah 24,9 μm . Pada kecepatan kipas 75% nilai kekasaran permukaan (Ra) benda uji terendah 16,7 μm , tertinggi 17,4 μm , dan nilai rata-ratanya 17,0 μm . Pada parameter kecepatan kipas 100% kekasaran permukaan (Ra) benda uji terendah 13,2 μm , tertinggi 13,8 μm , dan nilai rata-ratanya 13,6 μm . Pada benda uji hasil pencetakan dengan persentase kecepatan kipas 75% terdapat beberapa benda yang terdeformasi permukaannya, dan pada benda uji hasil pencetakan dengan menggunakan persentase kecepatan putaran kipas 50% benda uji banyak ditemukan kecacatan pada permukaannya diantaranya adalah terdeformasi permukaan, filamen tidak tercetak dengan rapih sedangkan benda uji dengan persentase kecepatan kipas 100% hampir semua benda uji mempunyai nilai Ra yang paling kecil sehingga permukaannya paling halus, tidak terjadi defleksi dan geometri produk paling baik.

Kata kunci: 3D *printing*; kekasaran permukaan; kipas pendinginan; kualitas,

Abstract

One of the printing processes using the FDM (*Fused Deposition Modeling*) method is 3D Printing. There are many challenges to producing the best product with this method, especially because of the many parameters that affect the success of the product printing process, namely temperature, accuracy, and precision of product layering design placement. The success of process temperature regulation is a trade-off between the heating system applied to the bed and nozzles for melting filaments and the cooling system with fans which aims to speed up the re-freezing of printed filaments. The accuracy of both settings is important in producing good-quality print products. Analysis and testing at working temperature for 3D printing is needed to prevent and reduce shrinkage, deflection, and deformation problems in printed products. This study will test whether the speed of the cooling fan which is set at a different percentage of fan rotation speed will affect the quality of the surface roughness of the printed product. Testing will be carried out on 15 test objects resulting from 3 types of printing processes using the percentage of the fan rotation speed of 100%, 75%, and 50%. Based on the results of measuring the surface roughness of the test object, it was obtained at a fan rotation speed of 50%, the lowest roughness value (Ra) of the test object was 22.7 μm , the highest was 28.3 μm , and the average value was 24.9 μm . At a fan speed of 75%, the lowest surface roughness value (Ra) was 16.7 μm , the highest was 17.4 μm , and the average value was 17.0 μm . For the fan speed parameter of 100% surface roughness (Ra), the lowest test object is 13.2 μm , the highest is 13.8 μm , and the average value is 13.6 μm . On the printed test object with a fan speed percentage of 75%, there were several objects whose surface was deformed, and on the printed test object using a fan rotation speed percentage of 50%, the test object found many defects on the surface, including surface deformation, filaments not printed neatly, while Test specimens with a fan speed percentage of 100% almost all test objects have the smallest Ra value so that the surface is the smoothest, no deflection occurs and the product geometry is the best.

Keywords: 3D printing; surface roughness; cooling_fan; quality

1. Pendahuluan

3D Printer adalah suatu alat yang digunakan pada proses mencetak objek 3D dari suatu pemodelan 3D CAD, yang tidak hanya dapat dilihat secara langsung proses pembuatannya, tetapi juga dapat langsung disentuh dan diubah menjadi bentuk 3D dengan skala tertentu. Sebuah prototipe yang kompleks sekalipun dengan mudah dapat dibangun dalam waktu cepat tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material jika menggunakan teknologi ini [1]. Hal inilah yang menjadi pertimbangan teknologi ini kerap digunakan dalam pembuatan suku cadang dari produk yang sudah langka dan tidak mempunyai data geometriaknya [2]. Bahan polimer yang dibuat dengan teknik 3D printing mempunyai sifat yang dapat menyusut saat pendinginan setelah dipanaskan, dimana struktur mikro awalnya dapat mengalami transformasi pola spontan di bawah pemanasan sebelum mendingin ke temperatur ruang [3][4]. Berdasarkan konsep atau cara manufakturnya yang membangun produk berdasarkan tumpukan lapisan dari irisan penampang model 3D CADnya, teknologi 3D printing juga sering disebut sebagai manufaktur aditif (*additive manufacturing*). Cara kerjanya hampir sama dengan printer laser menggunakan teknik membentuk obyek dari sejumlah layer/lapisan yang masing-masing dicetak di atas setiap lapisan lainnya. Sebuah proses yang dapat melakukan proses manufaktur untuk produk yang kompleks secara cepat, murah dan cepat. *3D printing* memungkinkan kemungkinan yang hampir tidak terbatas untuk pembuatan prototipe secara cepat (*rapid prototyping*). Hal inilah yang menjadi pertimbangan penggunaannya dalam berbagai bidang penelitian, mulai dari bidang teknik mesin, kedokteran, ilmu material sampai kimia[5]. Secara spesifik, selama beberapa tahun terakhir, sejumlah besar penelitian perihal penggunaan 3D printing untuk membuat elektroda /perangkat untuk konversi serta penyimpanan energi elektrokimia sudah muncul [6]. Teknologi printing ini sendiri sebenarnya telah berkembang semenjak kurang lebih 1980an tetapi belum begitu dikenal sampai tahun 2010 an saat mesin cetak 3D ini dikenalkan secara komersial. Dalam sejarahnya *3D printing* pertama yang dapat bekerja dengan baik dirancang oleh Chuck Hull dari *3D System Corp* di tahun 1984. Semenjak itu teknologi *3D printing* semakin berkembang serta digunakan pada *prototipe* (model) juga industri secara luas mirip pada arsitektur, otomotif, militer, industri medis, fashion, sistem informasi [7]. Teknologi aditif manufaktur jika diterapkan dalam pembuatan prototipe sering disebut sebagai *rapid prototyping*. *Rapid prototyping* (RP) didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk membuat model berskala (*prototipe*) dari mulai bagian suatu produk (*part*) ataupun rakitan produk (*assemble*) secara cepat menggunakan data CAD[8]. *Rapid Prototyping* (RP) bisa didefinisikan menjadi metode yang digunakan untuk membentuk model berskala (*prototipe*) dari mulai bagian suatu produk (*part*) ataupun rakitan produk (*assemble*) secara cepat memakai data *Computer Aided Design* (CAD)[9].

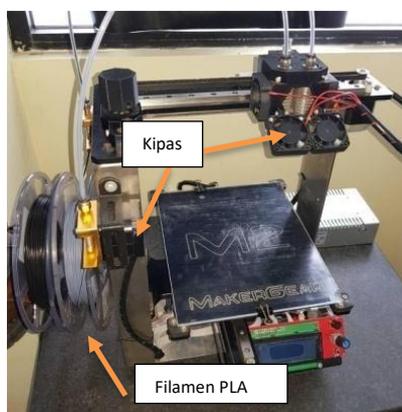
Mesin 3D printer mempunyai beberapa komponen penting seperti ekstruder, nozel, *heat bed*, kipas pendingin, dan lain-lain. Ekstruder atau *print head* 3D printer didesain untuk mencetak lapisan cetakan dengan cara mengekstrusi filamen leleh. Filamen memasuki *ekstruder* melalui tabung PTFE. Filamen merupakan untaian plastik padat yang berada pada temperatur kamar. Ini melewati *heat sink*, yang merupakan bagian yang dirancang untuk menghilangkan panas yang berasal dari *heat break* serta meminimalkan area transisi antara padat serta leleh filamen. Unit pendingin umumnya mempunyai kipas yang dipasang di samping buat menaikkan efisiensi pendinginan. *Inti heat break* merupakan bagian dari tabung dengan benang luar, yang salah satu ujungnya lebih sempit untuk meminimalkan diameternya sebesar mungkin, jadi lebih sedikit panas yang naik ke area tempat filamen harus tetap solid. *Heat bed* adalah meja berpemanas yang merupakan bagian krusial dari setiap printer 3D. Fungsinya sebagai tempat peletakan filamen leleh yang akan membentuk benda cetak selapis demi selapis[10]. Kipas pendingin digunakan untuk meningkatkan laju pendinginan dari produk yang sudah dicetak sehingga proses pencetakan berlangsung cepat. Laju pendinginan mempengaruhi proses pemadatan pada proses peleburan mirip pengecoran, dan pengelasan. Laju pendinginan ini ditentukan oleh geometri, sifat

material, kondisi manufaktur, serta lingkungan [11]. Laju pendinginan yg terjadi pada suatu benda kerja tergantung pada beberapa faktor, terutama: Jenis media pendinginnya, temperatur media pendingin serta kuatnya aliran di media pendingin[12]. Kualitas dimensi atau kekuatan mekanik dari bagian yang dicetak memiliki hubungan yang berlawanan dengan kecepatan aliran udara pendingin. Kecepatan aliran udara yang lebih tinggi meningkatkan kualitas permukaan dimensi benda tetapi juga menurunkan kekuatan mekanik [13]. Keberhasilan pengaturan temperatur proses merupakan trade off antara sistem pemanas yang diterapkan pada bed dan nozel untuk pelelehan filamen dan sistem pendingin dari kipas yang bertujuan untuk mempercepat pembekuan kembali filamen yang sudah dicetak. Ketepatan pada pengaturan keduanya merupakan hal penting dalam menghasilkan produk cetak yang berkualitas baik namun ekonomis. Dilihat dari segi kualitas analisa dan pengujian pada temperatur kerja 3D printing di butuhkan untuk mencegah dan mengurangi masalah penyusutan, defleksi dan deformasi pada produk hasil 3D printing. Pengujian akan dilakukan untuk mengetahui apakah besar kecepatan kipas pendingin yang diatur pada 100%, 75% dan 50% dari kecepatan kipas maksimum akan mempengaruhi kualitas produk cetak khususnya pada kekasaran permukaan produknya?

2. Material dan metodologi

2.1. Alat dan bahan

Dalam penelitian ini ada beberapa alat yang di gunakan mesin Printer 3D Maker Gear M2 seperti pada Gambar 1. Printer 3D merupakan mesin untuk membuat obyek dari plastik atau polimer jenis lainnya. Manufaktur aditif menghasilkan obyek dalam rangkaian lapisan dari bagian bawah, atas. Printer 3D dapat menyederhanakan dan mempercepat proses pembuatan prototipe dan barang jadi [14]. Di awal kemunculannya 3D printing didedikasikan untuk proses manufaktur, tetapi semakin berkembangnya teknologi ini penggunaannya pun semakin luas. Saat ini 3D printing banyak digunakan oleh UKM (Usaha Kecil dan Menengah) maupun individu. Harga 3D printing pun semakin murah sehingga bisa semakin menjangkau berbagai kalangan[15]. Pada penelitian ini juga menggunakan perangkat lunak desain Catia, perangkat lunak pengiris *CuraSlicer* versi 4.9.0. Fungsi utamanya merupakan untuk memroses model fisik menjadi urutan gerakan pemesinan (G-Code). alat ukur yang dipergunakan pada penelitian ini merupakan *surface roughness tester* SJ- 301[16]. Filamen adalah material yang digunakan dalam membuat membuat produk dalam mesin 3D printing dan memiliki beberapa jenis. Tidak hanya satu jenis saja. Saat ini jenis filamen untuk 3D *printing* ini memang didominasi oleh jenis *plastic* [17]. Dalam penelitian ini, 3D Printer yang akan dirakit hanya akan mendukung pencetakan dengan filamen PLA dengan spesifikasi pada Tabel 1 [18]. Waktu pencetakan tergantung pada ukuran obyek yang diproduksi. Benda kecil hanya beberapa inci kubik dan benda tinggi dan tipis dicetak dengan cepat, sedangkan benda yang lebih besar dan lebih kompleks secara geometris membutuhkan waktu lebih lama untuk dicetak[19].



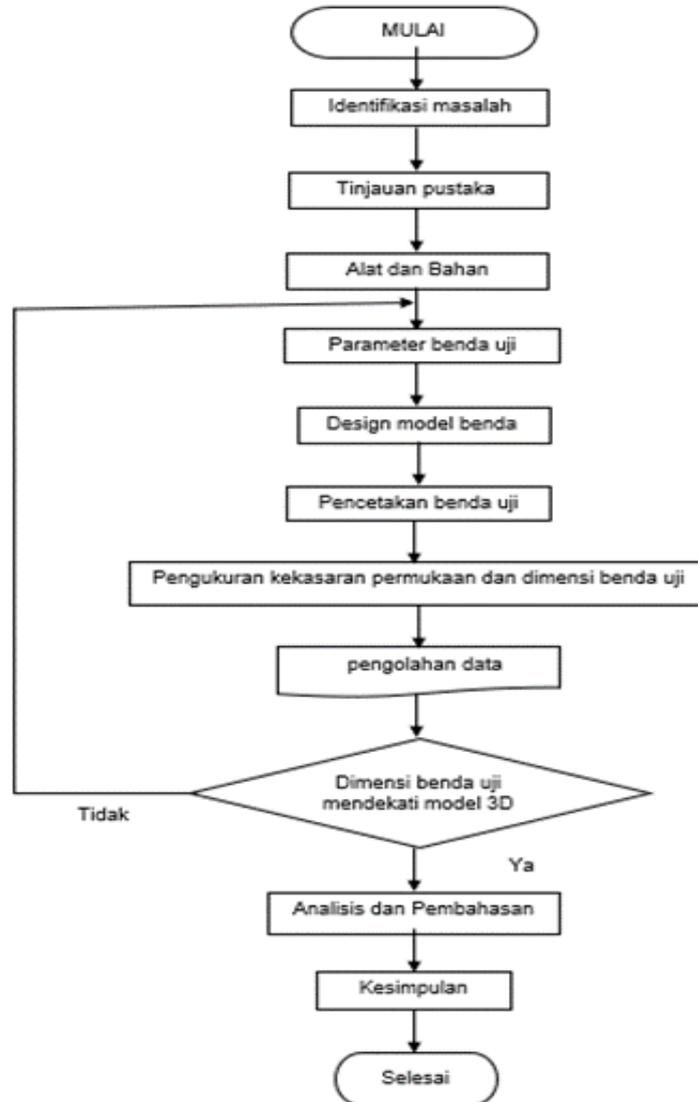
Gambar 1. Mesin 3D Printer [4]

Tabel 1. Spesifikasi PLA.

<i>Print Temp</i>	190—210°C
<i>Bed Temp</i>	Optional 40-60°C
Kekuatan tarik	37 Mpa
Modulus Lentur	4 GPa
KemampuanMemanjang	6%
Massa Jenis	1,3 g/cm3
Titik Lebur	173°C

2.2. Diagram alir

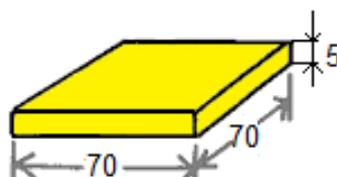
Metode penelitian yang digunakan digambarkan dalam bentuk diagram alir dalam Gambar 2 sehingga mekanisme penelitian dapat tergambarkan secara keseluruhan agar mudah dipahami.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

2.3. Desain spesimen benda uji.

Sebelum melakukan pencetakan benda uji terlebih dahulu di desain dengan menggunakan perangkat lunak Catia, dalam mendesain benda uji ukuran berbentuk persegi panjang dengan dimensi panjang x lebar x tebal = 70 x 70 x 5 mm. seperti pada Gambar3.



Gambar 3. Benda Uji

2.4. Kekasaran Permukaan.

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betulbetul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian[19].

2.5. Pengaturan parameter *Slicer*.

Pada *slicer* bisa dilakukan kostumasi di beberapa parameter pada perangkat lunak *Ultimate Cura*, dalam penelitian ini ada beberapa pengaturan parameter pada kecepatan kipas yang akan diteliti, kecepatan kipas yang digunakan adalah 100% (2200 rpm), kecepatan kipas 75% (1650 rpm), kecepatan kipas 50% (1100 rpm).

Tabel 2. Parameter *Slicer*.

Jenis Parameter	Besaran
Tinggi Lapisan (<i>Layer Height</i>)	0.2mm
Kepadatan isi (<i>Infill Density</i>)	15%
Kotak Pola Isi (<i>Infill Pattern Grid</i>)	Grid
Suhu Pencetakan (<i>Printing Temperature</i>)	200°C
Suhu bed (<i>Bed Temperature</i>)	55°C
Penempatan Dukungan (<i>Support Placement</i>)	Everywhere
Kecepatan kipas 1 (<i>Fan speed 1</i>)	100%
Kecepatan kipas 2 (<i>Fan speed 2</i>)	75%
Kecepatan kipas 3 (<i>Fan speed 3</i>)	50%

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil pencetakan benda uji.

Pencetakan benda uji di lakukan sebanyak lima kali untuk setiap parameter kipas pendinginannya, agar hasil yang di peroleh lebih akurat.



Gambar 4. Hasil pencetakan benda uji.

Pada pemeriksaan secara visual terdapat adanya beberapa perbedaan kualitas pada benda uji dengan kecepatan kipas yang berbeda. Pada benda uji dengan kecepatan kipas 100% hampir semua benda uji mempunyai kualitas permukaan produk yang baik. Benda uji hasil pencetakan dengan kecepatan kipas 75% ada beberapa benda yang terdeformasi permukaannya. Lalu pada benda uji hasil pencetakan dengan menggunakan kecepatan fan 50% benda uji terdapat lebih banyak ditemukan kecacatan pada permukaannya diantaranya adalah terdeformasi permukaan, filamen tidak tercetak dengan rapih.

3.2. Kekasaran permukaan benda uji.

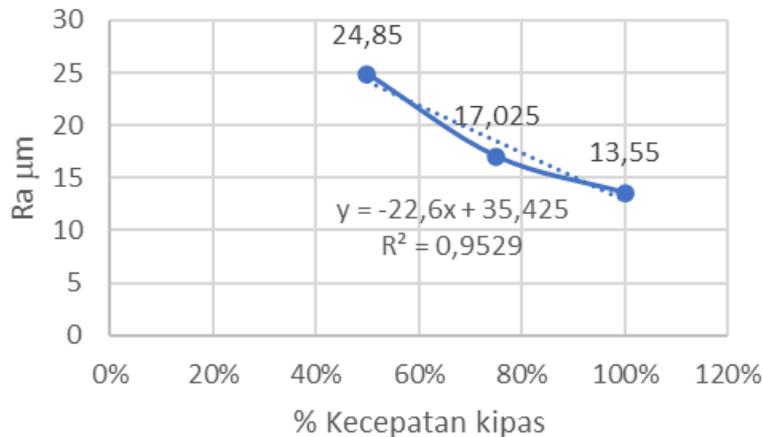
Pengukuran benda uji di lakukan tiga kali dari setiap benda uji, benda uji berjumlah lima belas benda uji, terdapat lima benda uji dari setiap parameter kecepatan kipas yang digunakan (50%,75% dan 100%), selanjutnya nilai yang diperoleh akan dirata-ratakan, dicari deviasi standarnya dan dicantumkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kekasaran permukaan.

Kecepatan kipas	Rata-rata	Varians (μm^2)	Standar Deviasi (μm)	Ketidak pastina (μm)
100%	13,555	0,038	0,22	0,0984
75%	17,026	0,063	0,282	0,1262
50%	24,85	4,882	2,209	0,9881

Pada Tabel 3 tertera hasil dari pengukuran kekasaran permukaan benda uji yang di teliti yang dicetak dengan menggunakan kecepatan kipas 50%,75% dan 100%. Nilai kekasaran (Ra) pada Tabel 3 ini merupakan hasil rata-rata dari pengukuran 3 buah benda uji hasil cetak dengan penggunaan kecepatan putar kipas 50% , 75% dan 100%. Pada pencetakan dengan menggunakan kecepatan putaran 50% produk mempunyai nilai kekasaran(Ra) terendah 22,75 μm , nilai kekasaran tertinggi 28,26 μm , rata-rata kecepatan putaran kipas 50% adalah 24,85 μm . Kecepatan kipas pendingin 50% diperoleh nilai kekasaran (Ra) produk terendah 16,72 μm . Kekasaran tertinggi 17,38 μm , rata-rata 75% kecepatan kipas yang di peroleh adalah 17,02 μm . Pada kecepatan putaran kipas 100% nilai kekasaran produknya sebesar 13,22 μm yang terendah, yang tertinggi 13,77 μm , sedangkan nilai rata-rata dari kekasarannya adalah 13,56 μm . Pada persentase kecepatan kipas pendingin 100% di peroleh nilai kekasaran (Ra) yang lebih rendah dibandingkan kecepatan kipas 50% dan 75%, nilai kekasaran yang terendah.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 hasil dari pengukuran kekasaran permukaan benda uji dapat dilihat adanya perbedaan nilai kekasaran permukaan yang signifikan hasil pencetakan pada kecepatan kipas 100%, 75% dan 50%. Semakin rendah kecepatan kipas pendingin, nilai kekasaran permukaan pada benda uji akan semakin tinggi mengikuti trend persamaan $y = -22,6x + 35,452$ yang digunakan dalam perhitungan regresi, dengan nilai koefisien determinasi, $R^2 = 0,9529$ ini menunjukkan bahwa ternyata variabel % kecepatan kipas yang digunakan pada proses pencetakan sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dengan nilai ketepatan sebesar 95,29 % dari trend persamaannya.



Gambar 5. Grafik kekasaran permukaan (Pengaruh % Kecepatan Kipas terhadap Ra Benda Uji)

Dari grafik di atas dapat dilihat perbedaan dimana semakin rendah kecepatan kipas pendinginan maka nilai kekasaran permukaan semakin tinggi dan dapat disimpulkan bahwa kecepatan kipas berpengaruh pada kekasaran (Ra) permukaan produk, sehingga untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang baik (permukaan yang halus) diperlukan pemakaian kecepatan kipas 100%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya terbukti bahwa kecepatan kipas pendingin pada proses pencetakan dengan menggunakan mesin 3D printing mempengaruhi kualitas dari produk. Kualitas produk yang dipengaruhi adalah kekasaran permukaan. Pemanfaatan persentase kecepatan putaran mesin sebesar 100% memberikan hasil yang terbaik. Produk yang dihasilkan pada 100% kecepatan kipas relatif tidak ditemukan kecacatan pada produk cetaknya. Nilai kekasaran (Ra) pada kecepatan putaran kipas pendingin 100% adalah 13,21 μm .

Daftar Pustaka

- [1] I. Hakim Rahman Saputra, G. Utama, and Y. Setyoadi, 'Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer', *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, 2019.
- [2] S. Cahyati, Syaifudin, and Achdianto, 'A Prototyping Of Additive Manufacturing Cell In Cyber Physical System For Maintenance 4.0 Preparation', *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 05, pp. 575–584, 2019, [Online]. Available: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/9586>.
- [3] S. Cahyati, B. Satriawan, J. Teknik, M. Fakultas, T. Industri, and U. Trisakti, 'Ketelitian Dimensi Produk Hasil Proses Modifikasi Mesin Fdm Dual Extruder', *Semin. Nas. Pakar ke 2*, pp. 1–7, 2019, [Online]. Available: <https://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/pakar/article/view/4185>.
- [4] A. Putra, F. Fidiyanto, B. Prakoso, R. Armantya, M. Sandi, and F. Saputro, 'Perakitan 3D Printer Fused Deposite Modeling (FDM) Berbasis Arduino Mega 2560', *Gaung Inform.*, 2019.
- [5] Q. Zhang, D. Yan, K. Zhang, And G. Hu, "Pattern Transformation Of Heat-Shrinkable Polymer By Three-Dimensional (3D) Printing Technique," *Sci. Rep.*, 2015, Doi: 10.1038/Srep08936.
- [6] A. Ambrosi And M. Pumera, "3D-Printing Technologies For Electrochemical Applications," *Chemical society reviews*. 2016, Doi: 10.1039/C5cs00714c.

- [7] M. P. Browne, E. Redondo, And M. Pumera, “3D Printing For Electrochemical Energy Applications,” *Chem. Rev.*, 2020, Doi: 10.1021/Acs.Chemrev.9b00783.
- [8] D. Bak, “Rapid Prototyping Or Rapid Production? 3d Printing Processes Move Industry Towards The Latter,” *Assem. Autom.*, 2003, Doi: 10.1108/01445150310501190.
- [9] C. Hull *Et Al.*, “Rapid Prototyping: Current Technology And Future Potential,” *Rapid Prototyping Journal*. 1995, Doi: 10.1108/13552549510732026.
- [10] J. Excell And S. Nathan, “The Rise Of Additive Manufacturing,” *Engineer*, 2010.
- [11] T. Guswantoro, M. Sianturi, N. Prapitasari, And A. Elona, “Hubungan Kecepatan Pendinginan Air Dengan Kecepatan Tiupan Udara,” *Pros. Snfa (Seminar Nas. Fis. Dan Apl.*, Vol. 2, No. 2, P. 241, 2017, Doi:10.20961/ProsidingSnfa.V2i0.16404.
- [12] N. Yilmaz And M. Y. Kayacan, “On The Relation Between Cooling Rate And Parts Geometry In Powder Bed Fusion Additive Manufacturing,” *ACAD. Perspect. Procedia*, Vol. 1, No. 1, Pp. 223–231, 2018, Doi:10.33793/Acperpro.01.01.43.
- [13] Y. Lee And C. Y. Liu, “The Influence Of Forced-Air Cooling On A 3d Printed Pla Part Manufactured By Fused Filament Fabrication,” *Addit. Manuf.*, Vol. 25, Pp. 196–203, 2019, Doi: 10.1016/J.Addma.2018.11.012.
- [14] J. Hiemenz And Stratasys Inc., “3D Printing Jigs , Fixtures And Other Manufacturing Tools,” *Stratasys*, 2015.
- [15] H. Ismianti, “Framework Prediksi Penggunaan 3D Printing Di Indonesia Pada Tahun 2030,” *Semin. Nas. Ienaco*, 2018.
- [16] Mitutoyo, “Portable Surface Roughness Tester SurfTest SJ-410 Series,” *Bolletin No. 2110*, Vol. 15013, No. 2, P. 12, 2013.
- [17] Spectrum, “High Quality 3d Printing Filaments For Each Application,” 2019.
- [18] L. Pereira, T. Letcher, And G. J. Michna, “The Effects Of 3D Printing Parameters And Surface Roughness On Convective Heat Transfer Performance,” *Asme 2019 Heat Transf. Summer Conf. Ht 2019, Collocated With Asme 2019 13th Int. Conf. Energy Sustain.*, 2019, Doi: 10.1115/Ht2019-3591.
- [19] H. Saputro, “Model Matematik Untuk Memprediksi Kekasaran Permukaan Hasil Proses Cnc Bubut Tanpa Pendinginan,” *Traksi*, Vol. 10, No. 1, Pp. 18–31, 2010.