

Optimasi Parameter *3D Printing* Tipe FDM Terhadap Akurasi Dimensi Dengan Filamen Berbahan Daur Ulang Plastik HDPE

Herda Agus Pamasaria¹, Tri Hannanto Saputra²

^{1,2}Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin – Politeknik ATMI Surakarta
herda.agus@atmi.ac.id , hannanto.saputra@atmi.ac.id

ABSTRACT

One step to overcome the amount of plastic waste is to process the plastic waste into a filament for the FDM 3D Printer, but research needs to be done to get the optimum parameters to print a product with the best dimensional accuracy as the result of 3D Printing process using recycled plastic materials filament. Methods used in this research are combination of Taguchi method and PCR-TOPSIS, and the fixed parameters used in this research are layer thickness, extrusion temperature and printing speed. The purpose of selecting these parameters is to facilitate the setting process of FDM type 3D printing. The material used is a filament made from HDPE plastic recycled material. The results of this research indicate that the optimum parameter is a combination of printing temperature 260 °C, layer height 0.12 mm and printing speed 50 mm/s. The most influential parameters are sorted into layer height, printing temperature and the last is printing speed.

Keyword: HDPE, 3D Printing, Parameter, FDM, Recycle

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah sampah plastik di Indonesia adalah dampak dari penggunaan produk plastik yang tinggi. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dalam Publikasi Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) tahun 2018, timbunan sampah plastik di Indonesia pada tahun 2018 diperkirakan mencapai 24.500 ton per hari atau setara dengan 8,96 juta ton per tahun. Hal ini akan meningkatkan polusi dan kualitas lingkungan hidup akan terancam. Salah satu langkah yang cukup tepat dalam mengatasi masalah sampah plastik adalah dengan mengolah sampah plastik tersebut menjadi filamen 3D

printing, hal ini juga sejalan dengan semakin meluasnya penggunaan mesin 3D Printing terutama dengan metode *Fused deposition modeling (FDM)*. Sehingga dengan mengubah sampah plastik menjadi filamen 3D printing, selain dapat mengurangi sampah plastik juga dapat memenuhi kebutuhan filamen 3D printing type FDM.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam proses cetak 3D printing adalah kualitas produk hasil cetak, salah satu faktor penting untuk menghasilkan produk cetak yang berkualitas adalah dimensi, karena semakin akurat dimensi yang dihasilkan, maka kualitas produk yang dihasilkan akan semakin baik. Parameter 3D Printing yang mempengaruhi akurasi

dimensi adalah *layer thickness*, *build orientation*, *raster orientation*, *extrusion temperature*, *air gap*, *raster width* dan *print speed* (Arup dan Nita, 2019). Kombinasi variasi parameter yang tepat akan menghasilkan produk *3D printing* dengan akurasi dimensi paling baik (Pamasaria, 2019). Dari pertimbangan tersebut perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan kombinasi parameter yang paling tepat untuk menghasilkan produk *3D printing* dengan kualitas paling baik menggunakan filamen berbahan daur ulang plastik.

Pada penelitian ini akan digunakan filamen berbahan daur ulang plastik HDPE. Plastik HDPE dipilih karena penggunaannya yang cukup luas antara lain untuk botol detergen, botol obat, botol oli mesin, botol shampoo, kemasan jus, botol sabun cair, kemasan kopi dan botol sabun bayi. Sehingga plastik jenis ini akan mudah ditemukan untuk di daur ulang menjadi filamen *3D printing*. Sedangkan parameter proses yang digunakan adalah *layer thickness*, *extrusion temperature* dan *print speed*. Ketiga parameter itu dipilih karena cukup mudah disetting dalam pemrosesan menggunakan *3D printing* type FDM.

II. TINJAUAN PUSTAKA

3D printing atau yang biasa dikenal dengan istilah *Rapid Prototyping* merupakan proses membuat produk dengan mendesain file *CAD (Computer Aided Design)* lalu mengirimnya ke mesin untuk membuat benda nyata. *3D printing* saat ini banyak digunakan dalam dunia industri untuk pembuatan *prototype*, *customized product*, dan produk jadi dalam jumlah kecil. Jika dibandingkan dengan *Injection Molding* dan *Computer Numerical Control (CNC)*, *3D printing*

memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah penghematan biaya produksi, penghematan energi, pengurangan emisi gas CO₂, serta kemampuan menghasilkan produk dengan bentuk yang rumit (Kusuma, 2016).

Salah satu teknik yang sering digunakan dalam proses *3D Printing* adalah FDM, FDM singkatan dari *Fused Deposition Modeling*. Prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya produk dibuat lapis per lapis (Hasdiansah, 2018).

Terdapat beberapa penelitian yang dilakukan untuk meneliti kualitas produk yang dihasilkan dari proses *3D Printing* dengan teknik FDM. Reddy dkk (2018) melakukan variasi *layer thickness*, *build inclination*, *material infill* dan *print quality* untuk meningkatkan kualitas permukaan hasil printing dengan teknik FDM, penelitian ini menunjukkan kualitas permukaan yang dihasilkan oleh proses FDM bervariasi sehubungan dengan *layer thickness* yang berbeda dan kemiringan yang dihasilkan, sedangkan pengaruh *material infill* dan *print quality* tidak terlalu signifikan terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Setiawan dkk (2018) melakukan penelitian variasi parameter *3D printing* terhadap keakuratan dimensi dan kekasaran permukaan produk, parameter yang divariasi adalah *printing speed*, *printing temperature* dan *layer height*. Penelitian dilakukan pada material filament PLA dan menghasilkan nilai parameter terbaik yang didapatkan adalah *print speed* 20 mm/s, *printing temperature* 210°C, dan *layer height* 0,1 mm. Nilai kekasaran yang didapat dari hasil terbaik yang didapatkan adalah 8,55 µm. Nilai terakurat didapat adalah 29,945 mm,

dikatakan akurat karena nilainya mendekati angka 30 mm. dengan keakuratan 99,81%.

Andriyansyah dkk (2018) melakukan variasi *parameter printing* menggunakan *filament foodgrade* PLA hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa parameter optimum untuk material tersebut adalah, suhu ekstrusi 200 °C, suhu bed 55 °C, ketinggian lapisan 0,1 mm serta *feed rate* 50 mm/s. sementara Hasdiansah (2018) melakukan penelitian dengan melakukan variasi parameter *printing* terhadap material *Thermoplastic Polyurethane (TPU)* Dari penelitian ini diperoleh bahwa tingkat elastisitas produk dipengaruhi oleh variasi *extruder temperature* dan *layer thickness*. *Extruder temperature* memberikan pengaruh terhadap tingkat elastisitas produk jadi, namun *layer thickness* memberikan efek yang paling dominan dalam menghasilkan tingkat elastisitas produk. Tiga variasi *ekstruder temperature* dengan *layer thickness* 0,2 mm memiliki nilai rata-rata pengujian elastisitas yang relatif sama.

Dari penelitian – penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa masih cukup terbuka peluang untuk melakukan penelitian terhadap kualitas produk hasil *3D Printing* dengan sistem FDM, terutama untuk melakukan penelitian dengan menggunakan *filament* dari bahan *recycle plastik HDPE*.

III. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan 3 jenis parameter dengan masing – masing parameter memiliki 3 level (Tabel 3.1), sedangkan respon dari pengujian ini adalah panjang (sumbu x), lebar (sumbu y) dan tebal (sumbu z).

Tabel 3.1. Parameter dan level pengujian.

	Parameter	Level		
		1	2	3
A	<i>Temperature (°C)</i>	240	250	260
B	<i>Layer thickness (mm)</i>	0,12	0,16	0,2
C	<i>Print speed (mm/s)</i>	30	65	100

Perhitungan derajat kebebasan (dof) yang didapatkan dalam penelitian ini adalah $dof = 3 \times (3-1) = 6$, maka jumlah eksperimen yang harus diambil minimal berjumlah 6. Sehingga penelitian ini menggunakan *orthogonal array* L9 yang memiliki jumlah eksperimen berjumlah 9. Data tabel *orthogonal array* L9 untuk penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. *Orthogonal Array* L9.

No	Temp. °C	Layer mm	Speed mm/s	Parameter Respon
1	230	0,12	20	x
2	230	0,16	35	x
3	230	0,20	50	x
4	245	0,12	35	x
5	245	0,16	50	x
6	245	0,20	20	x
7	260	0,12	50	x
8	260	0,16	20	x
9	260	0,20	35	x

Selanjutnya adalah proses pelaksanaan penelitian, dalam tahap ini dilakukan proses *printing*, setiap variasi parameter di cetak sebanyak 3 spesimen, sehingga spesimen yang digunakan berjumlah 27 spesimen. Kemudian Semua spesimen diukur dengan alat ukur yang telah disediakan meliputi ukuran panjang, lebar

dan tebal. Kemudian dihitung deviasi dari masing – masing ukuran.

Nilai respon dari pengukuran yang dilakukan kemudian dianalisa dengan Taguchi yang dipadukan dengan PCR-TOPSIS. Metode taguchi memiliki keuntungan dalam hal uji coba, karena parameter terukur telah dimodifikasi menjadi susunan *orthogonal array*, dan mentransformasi data yang diperoleh dalam bentuk *Signal to Noise Ratio (SNR)* (Nugroho dkk, 2019). Untuk nilai SNR dalam penelitian ini menggunakan kriteria *smaller the better* yang nilainya didapatkan melalui persamaan 3.1.

$$\frac{S}{NR} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.1)$$

Dari nilai SNR yang didapat, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai *Process Capability Ratio (PCR)*. PCR merupakan kemampuan sebuah proses untuk memenuhi spesifikasi desain yang ditetapkan. Bagi sebuah proses untuk dapat dikatakan mampu, nilainya harus berada diantara spesifikasi atas dan bawah. Hal ini berarti kemampuan proses berada dalam ± 3 standar deviasi dari rata-rata proses (Djami dkk, 2014). Nilai PCR dapat diperoleh melalui persamaan 3.2.

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \quad (3.2)$$

Setelah didapatkan nilai PCR, maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*. TOPSIS menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan

jarak terpanjang (terjauh) dari solusi ideal negatif. Nilai TOPSIS dari hasil perhitungan diperoleh dari persamaan 3.3.

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \quad (3.3)$$

Dari nilai TOPSIS yang didapatkan kemudian di analisa agar diperoleh parameter yang paling optimal untuk menghasilkan produk dengan akurasi dimensi paling baik para proses cetak *3D printing* dengan menggunakan filamen dari bahan daur ulang plastik HDPE.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran terhadap seluruh spesimen dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran spesimen

Variasi	Deviasi Panjang Sumbu X (mm)			Deviasi Lebar Sumbu Y (mm)			Deviasi Tebal Sumbu Z (mm)		
	DP_A	DP_B	DP_C	DL_A	DL_B	DL_C	DT_A	DT_B	DT_C
1	-0,72	-0,69	-0,69	-0,67	-0,71	-0,70	0,16	0,15	0,14
2	-0,73	-0,72	-0,72	-0,72	-0,70	-0,71	-0,21	-0,22	-0,13
3	-0,72	-0,72	-0,72	-0,65	-0,65	-0,65	-0,12	0,27	0,33
4	-0,47	-0,24	-0,32	-0,46	-0,27	-0,33	-0,10	-0,20	-0,28
5	-0,62	-0,64	-0,70	-0,67	-0,57	-0,63	0,37	0,27	0,15
6	-0,67	-0,67	-0,66	-0,68	-0,67	-0,67	0,25	0,23	0,21
7	-0,31	-0,32	-0,37	-0,34	-0,34	-0,33	-0,06	0,01	-0,19
8	-0,73	-0,81	-0,79	-0,67	-0,67	-0,66	0,06	0,08	0,05
9	-0,74	-0,73	-0,71	-0,72	-0,69	-0,68	0,22	-0,01	0,34

Dari setiap hasil pengukuran tersebut kemudian di hitung nilai SNR menggunakan persamaan 3.1. dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai SNR dari setiap respon

Variasi	SNR Deviasi Panjang	SNR Deviasi Lebar	SNR Deviasi Tebal
1	3,11	3,21	16,47
2	2,83	2,97	14,38
3	2,86	3,76	11,84
4	8,95	8,73	13,69
5	3,69	4,10	11,11
6	3,55	3,43	12,74

7	9,55	9,44	18,77
8	2,18	3,54	23,80
9	2,79	3,12	12,62

Setelah diketahui nilai SNR, kemudian nilai tersebut diolah sehingga diketahui nilai *PCR* (*Process Capability Ratio*) melalui persamaan 3.2. Nilai PCR dari penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai PCR dari setiap respon

Variasi	PCR Deviasi Panjang	PCR Deviasi Lebar	PCR Deviasi Tebal
1	-0,15	-0,20	0,12
2	-0,19	-0,23	-0,05
3	-0,18	-0,12	-0,26
4	0,54	0,53	-0,11
5	-0,08	-0,08	-0,32
6	-0,10	-0,17	-0,19
7	0,62	0,63	0,31
8	-0,26	-0,15	0,72
9	-0,19	-0,21	-0,20

Hasil dari nilai PCR yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung nilai TOPSIS dengan menggunakan persamaan 3.3. nilai TOPSIS dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai TOPSIS

Variasi	d+	d-	PCR-TOPSIS
1	1,28	0,45	0,26
2	1,41	0,28	0,17
3	1,47	0,15	0,09
4	0,84	1,13	0,57
5	1,44	0,23	0,14
6	1,40	0,22	0,14
7	0,41	1,38	0,77
8	1,18	1,05	0,47
9	1,48	0,15	0,09

Dari nilai TOPSIS yang ditunjukkan pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa

kombinasi parameter nomer 7 memiliki nilai yang paling besar, sehingga kombinasi parameter tersebut merupakan yang paling optimal untuk menghasilkan produk cetak *3D printing* dengan menggunakan filamen berbahan daur ulang plastik HDPE dengan akurasi dimensi yang paling baik.

Dari Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter 7 memiliki nilai *printing temperature* 260 °C, *layer height* 0,12 mm dan *printing speed* 50 mm/s. Untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh dari ketiga parameter tersebut dapat diambil nilai rata – rata TOPSIS, seperti ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Urutan parameter paling berpengaruh

Level	Parameter		
	Temp	Layer	Speed
1	0,173	0,535	0,289
2	0,283	0,259	0,276
3	0,443	0,105	0,333
Selisih	0,270	0,431	0,057
Rangking	2	1	3

Dari tabel 4.5. dapat diketahui bahwa parameter yang paling berpengaruh adalah *layer height*. Semakin kecil *layer height* maka produk HDPE yang dihasilkan juga memiliki rata – rata deviasi dimensi yang kecil, hal ini karena material HDPE mempunyai sifat padat dan kaku, kekakuan dari material HDPE dan pemilihan *layer height* yang kecil akan meminimalkan deformasi yang terjadi, sehingga dimensi yang dihasilkan akan semakin baik

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter yang paling optimal untuk mencetak produk *3D printing* dengan akurasi dimensi yang paling baik menggunakan filamen dari bahan daur ulang plastik HDPE adalah kombinasi parameter ke 7 yang memiliki nilai *printing temperature* 260 °C, *layer height* 0,12 mm dan *printing speed* 50 mm/s. Sedangkan urutan parameter yang paling berpengaruh adalah *layer height*, kemudian *printing temperature* dan yang terakhir adalah *printing speed*

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Indonesia, 2018, *Pengelolaan Sampah di Indonesia*, Publikasi Statistik Lingkungan Hidup Indonesia.
- Arup, D. and Nita, Y. 2019, A Systematic Survey of FDM Process Parameter Optimization and Their Influence on Part Characteristics, *Journal Of Manufacturing and Material Processing*, vol 3, no. 3, pp 1-30.
- Pamasaria, H.A., Herianto, dan Saputra, T.H., 2019, Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM (Fused Deposition Modelling) Terhadap Kualitas Hasil Produk, *Seminar Nasional IENACO*, pp. 201-207, UMS, Surakarta.
- Kusuma, I.E. 2016, Pengembangan Model Bisnis Berbasis Teknologi 3D Printer Dengan Pendekatan Product Service System (PSS), *Tesis*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Hasdiansah, 2018, Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi dan Kekasaran Permukaan Objek 3D Berbasis Fused Deposition Modelling (FDM) Material Fleksibel, *Tesis*, UGM, Yogyakarta.
- Reddy, V., Flys, O., Chaparala, A., Berrimi, C.E., Amogh, V., and Rosen, B.G., 2018, Study on Surface Texture of Fused Deposition Modeling, *8th Swedish Production Symposium*, vol. 25, pp. 389–396, Stockholm
- Setiawan, A.A., Karuniawan, B.W., Arumsari, N., 2018, Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis, *Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, pp. 165-168, PPNS, Surabaya.
- Andriyansyah, D., 2018, Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Filamen Foodgrade Pada Fused Deposition Method, *Tesis*, UGM, Yogyakarta.
- Nugroho, T.A., dan Hutama, A.S., 2019, Metode Taguchi – PCR TOPSIS untuk Optimasi Parameter Mesin Laser Grafir, *POLITEKNOSAINS*, vol. XVIII, no. 1, pp. 6-11.
- Djami, R.J., dan Sunaryo, S., 2014, Metode PCR-TOPSIS Untuk Optimasi Taguchi Multirespon, *Statistika*, vol. 2, no. 1, pp. 46-55.

