

PENINGKATAN KEKUATAN LENTUR PRODUK 3D PRINTING MATERIAL PETG DENGAN OPTIMASI PARAMETER PROSES MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Eduar Iqbal Riza^a

^a Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
e-mail: eduar.riza42@gmail.com

Cahyo Budiyanoro^b

^b Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
e-mail: cahyo_budi@umy.ac.id

Aris Widyo Nugroho^{c*}

^c Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

*corresponding author, e-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

ABSTRAK

Optimasi parameter proses 3D *printing* dengan bahan PETG terhadap respon kekuatan lentur menggunakan metode Taguchi telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen *orthogonal arrays* L₉ (3³) dengan tiga parameter proses yang digunakan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width*, dan *feed rate* serta dengan tiga variasi level pada setiap parameter (240 °C, 245 °C, 250 °C, 0.3 mm, 0.35 mm, 0.4mm, 50%, 75%, 100%). Spesimen dipersiapkan sesuai dengan Standar ISO 178:2010 menggunakan mesin 3D *printer* Prusa-i3, kemudian diukur dimensi, massa, waktu produksi dan kekuatan lenturnya. Respon kekuatan lentur dianalisis menggunakan metode Taguchi melalui *SN Ratio* dan ANOVA untuk mendapatkan parameter optimalnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter proses paling berpengaruh terhadap respon kekuatan lentur berturut-turut adalah *nozzle temperature*, *extrusion width* dan *feed rate* dengan kombinasi parameter optimal yaitu *nozzle temperature* (250 °C), *extrusion width* (0.35 mm), dan *feed rate* (75%). Eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal tersebut mendapatkan kekuatan lentur tertinggi dengan sebaran data yang kecil (52,98 ±0,65 MPa). Selain itu, semua produk yang dihasilkan memiliki dimensi sesuai dengan standar yang digunakan.

Kata kunci: 3D *printing*, PETG, *nozzle temperature*, *extrusion width*, Taguchi, kekuatan lentur

ABSTRACT

Optimization of 3D printing process parameters with PETG material to the flexural strength response using The Taguchi Method has been carried out. This study used L₉ (3³) orthogonal arrays experimental design using three process parameters, namely nozzle temperature, extrusion width, and feed rate with three levels in each parameter (240°C, 245°C, 250°C, 0.3 mm, 0.35mm, 0.4mm, 50%, 75%, 100%). Specimens were prepared according to ISO 178: 2010 Standard using a Prusa-i3 3D printer. Following this, their dimensions, mass, production time, and flexural strength were examined. The flexural strength response was analyzed using the Taguchi Method via SN Ratio and ANOVA analysis to obtain the optimal parameters. The results showed that the most influential process parameters on the response of flexural strength was the nozzle temperature followed by extrusion width and feed rate with an optimal combination of parameters namely nozzle temperature

(250 ° C), extrusion width (0.35 mm), and feed rate (75%). The confirmation experiments showed that the optimal parameter combination obtained the highest flexural strength with a smaller data deviation (52.98 ± 0.65 MPa). In addition, all products being produced possessed dimensions in accordance with the standard.

Keywords: 3D printing, PETG, nozzle temperature, extrusion width, Taguchi, flexural strength

1. PENDAHULUAN

Proses *rapid prototype* adalah metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala, *part* satu produk, ataupun rakitan (*assembly*). Dalam hal proses produksinya senantiasa membentuk dan menambah maka proses ini sering disebut sebagai *additive manufacturing*. Beberapa sistem *additive manufacturing* sering digunakan di industri, antara lain: *direct metal deposition* (DMD), *inkjet modeling* (IJM), *selective laser sintering* (SLS), *stereo-lithography* (SLA) dan *fused deposition modeling* (FDM) [1]. Teknologi 3D *printing* merupakan salah satu jenis *additive manufacturing* dimana material disusun *layer by layer* dengan kontrol komputer menghasilkan struktur tiga dimensi (3D) [2]. Teknologi ini diaplikasikan di berbagai bidang meliputi: kesehatan, tekstil, otomotif, industri pesawat terbang dan *bioengineering*. Dengan menggunakan teknologi *fused deposition modeling* (FDM) untuk pencetakan 3D akan mengurangi biaya produksi dan proses pembuatan produk prototipe menjadi lebih cepat.

Salah satu bahan utama dalam proses 3D *printing* adalah filamen yang berfungsi sebagai bahan pengisi bentuk. Beberapa filamen yang sering digunakan pada 3D *printing* diantaranya adalah *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *nylon*, *polyethylene terephthalate glycol* (PETG) dan *polycarbonat* (PC). PETG merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki densitas $1,38 \text{ g/cm}^3$ dan mempunyai banyak keunggulan, antara lain ketahanan terhadap kondisi cuaca, tidak rusak atau kehilangan warnanya saat terkena sinar *UV*, tidak menimbulkan bau saat proses pencetakan, memiliki sifat adhesif yang unik sehingga mampu menempel di meja pemanas dengan baik, dan memiliki faktor penyusutan termal yang rendah [3]. Polimer ini sering digunakan dalam pembuatan produk 3D *Printing* menggunakan suhu pencetakan 230°C - 265°C dan suhu *bed* di atas 60°C .

Beberapa penelitian tentang optimalisasi parameter proses 3D *printing* untuk meningkatkan kualitas produknya menggunakan Metode Taguchi telah banyak dilakukan. Nugroho dkk [4] mencari parameter proses optimal untuk bahan PLA dengan parameter proses yang diujikan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width*, *infill density*, dan *infill pattern* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. *Infill density* dan *nozzle temperature* menjadi parameter proses yang sangat berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik. Sukindar, dkk [5] menambahkan bahwa parameter proses *layer thickness*, *shell thickness*, and *printing speed* berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik produk dengan bahan PLA, dimana *shell thickness* menunjukkan parameter yang paling dominan terhadap respon kekuatan tarik. Namun dalam hal kekuatan lentur dari produk dengan bahan PLA, dari parameter proses yang digunakan yaitu *layer thickness*, *deposition angle*, dan *infill pattern*, terkonfirmasi bahwa *layer thickness* paling berpengaruh terhadap respon kekuatan lentur [6].

Szczepanik, dkk [7] melakukan perbandingan kekuatan lentur dari berbagai *infill pattern* yaitu *solid*, *polygonal*, *square* dan *circular* dengan bahan PET. Hasil yang didapat menunjukkan kekuatan lentur berturut-turut adalah 69 MPa, 33 MPa, 37 MPa dan 10,7 MPa. Peneliti lain melakukan optimalisasi parameter proses 3D *printing* pada bahan ABS. Parameter yang diujikan *layer thickness* dan *printing speed* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi parameter *layer thickness* 0,2 mm dan *printing speed* 30 mm/s menghasilkan beban lentur maksimal sebesar 43 N [8]. Sedangkan Szykiedans, dkk [9] meneliti sifat mekanik PETG yang dibuat menggunakan 3D *printing*. Penelitian membandingkan sifat PETG terbuat dari 2 bahan: PETG tanpa diperkuat dan PETG diperkuat serat kaca. Pencetakan dilakukan

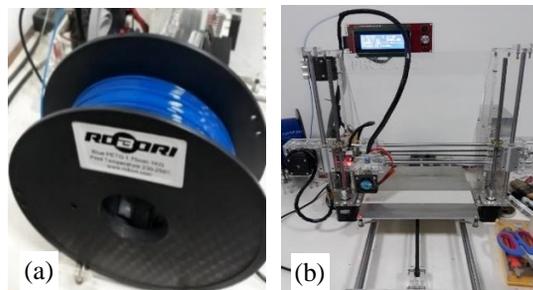
secara *flat printed* dan *upright printed*, kekuatan tarik bahan PETG dengan tambahan serat kaca sebesar 665 MPa (*flat printed*), sedangkan untuk PETG tanpa penambahan serat kaca sebesar 910 MPa (*upright printed*). Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan mengatur parameter proses dapat menghasilkan produk dengan kekuatan lebih tinggi dari pada memodifikasi material. Menderes, dkk [10] melakukan penelitian mengenai pengaruh struktur pola pengisi 3D *printing* pada bahan PETG. Parameter yang diujikan adalah *infill patern* dengan variasi pola yaitu *rectilinear*, *triangular*, dan *honeycomb*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 48,57 MPa terdapat pada produk dengan pola pengisi *rectilinear*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, parameter proses berupa *nozzle temperature*, *extrusion width*, *infill patern* dan *feed rate* berpengaruh terhadap kuat tarik produk 3D *printing*. Selain itu parameter proses *layer thickness*, *deposition angle*, orientasi, dan *infill pattern* berpengaruh terhadap kekuatan lenturnya. Pada penelitian ini dilakukan optimasi menggunakan kombinasi parameter proses yang berpengaruh terhadap produk 3D *printing* dengan bahan PETG meliputi *nozzle temperature*, *extrusion width*, dan *feed rate* dengan respon kekuatan lentur (*flexural strength*). Hasil pengujian kekuatan lentur produk dianalisis menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui pengaruh parameter yang paling optimal serta kombinasi level optimal untuk memperbaiki kualitas produk 3D *printing*. Sebagai tambahan pertimbangan untuk kualitas dan produktifitas produk dilakukan pengukuran dimensi, massa produk dan waktu produksi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan alat

Bahan filamen dalam penelitian ini menggunakan jenis PETG (Gambar 1) dengan diameter 1.75 mm dengan merk Robori dengan mesin 3D *printer* Prusa-i3.



Gambar 1. (a) Filamen PETG, (b) 3D Printer Prusa I3

2.2 Design of Experiment (DOE)

Pembuatan desain eksperimen meliputi penentuan faktor dan level yang akan dimasukkan pada konfigurasi parameter di software slic3r. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah *nozzle temperature* (°C), *extrusion width* (mm), dan *feed rate* (%) dengan tiga variasi level perubahan. Besarnya nilai variasi level berasal dari perhitungan secara teoritis, percobaan pra-eksperimen dan dari jurnal penelitian sebelumnya. Parameter proses dan level ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Proses dan Level

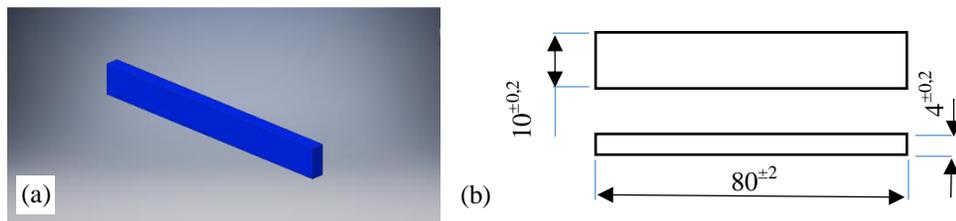
Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	240	245	250
B	<i>Extrusion Width</i> (mm)	0,3	0,35	0,4
C	<i>Feed rate</i> (%)	50	75	100

Desain faktorial menggunakan matriks ortogonal $L_9 (3^3)$ yang dapat diartikan bahwa penelitian dilakukan sebanyak sembilan kali percobaan dan ada tiga parameter proses serta tiga perubahan pada variabel dalam setiap faktor parameterinya. Selanjutnya dilakukan duplikasi sebanyak tiga kali pada setiap faktornya.

Tabel 2. Desain Eksperimen

Percobaan	Level		
	Nozzle Temperature (°C)	Extrusion Width (mm)	Feed rate (%)
1	240	0,30	50
2	240	0,35	75
3	240	0,40	100
4	245	0,30	75
5	245	0,35	100
6	245	0,40	52
7	250	0,30	100
8	250	0,35	50
9	250	0,40	75

Desain objek di gambar menggunakan *software* CAD secara 3 dimensi (Gambar 2.a). Dimensi objek dibuat sesuai standar spesimen uji bending untuk bahan polimer yaitu ISO 178:2010 (Gambar 2.b).



Gambar 2. (a) Desain CAD, dan (b) Dimensi Standar ISO 178:2010 dalam mm

Setelah pembuatan desain kemudian melakukan proses slicing dan setting parameter menurut DOE. Selanjutnya dilakukan proses pencetakan sebanyak 27 spesimen. Kemudian dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen meliputi massa produk, dimensi produk, waktu produksi dan hasil pengujian lentur. Pengujian lentur menggunakan metode *three point bending*. Data yang telah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis menggunakan SNR dan ANOVA. Kriteria yang digunakan untuk respon flexural strength pada *SN Ratio* adalah Larger the Better (LTB) yang dihitung dengan persamaan (1).

$$SN_{LTB} = - 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right] \dots\dots\dots (1)$$

keterangan:

n : jumlah pengulangan eksperimen dari suatu percobaan

y_i : data pengamatan ke-i

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

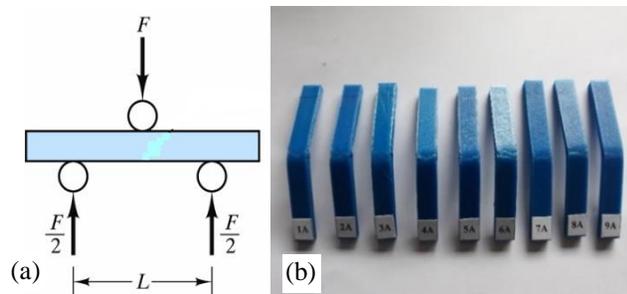
Pada penelitian ini produk yang dihasilkan berjumlah 27 spesimen dengan standar ISO 178 dari sembilan percobaan dengan tiga kali replikasi setiap percobaannya yang dicetak menggunakan 3D printer prusa-i3. Kemudian dilakukan pengambilan data meliputi massa produk, dimensi produk, waktu proses pencetakan, dan pengujian lentur (Tabel 3).

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Dimensi, Massa, Waktu dan Kekuatan Lentur

Percobaan	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Massa (gram)	Waktu (menit)	Fluxural Strength (MPa)
1	80,21±0,02	10,09±0,02	3,99±0,02	3,17±0,02	31	42,59±0,05
2	80,19±0,02	10,05±0,04	4,03±0,03	3,29±0,01	35	44,27±3,23
3	80,09±0,02	10,05±0,02	4,07±0,08	3,35±0,04	23	43,51±4,79
4	80,12±0,03	10,02±0,01	3,97±0,04	3,22±0,01	44	46,93±2,25
5	80,17±,015	10,09±0,06	3,83±0,03	3,25±0,01	29	51,06±1,08
6	80,12±0,07	10,06±0,04	4,04±0,13	3,38±0,01	46	47,51±5,02
7	80,14±0,04	10,09±0,06	3,96±0,10	3,19±0,01	33	46,24±4,24
8	80,15±0,04	10,05±0,02	3,96±0,03	3,32±0,01	52	51,97±1,01
9	80,11±0,04	10,08±0,02	3,93±0,02	3,36±0,01	32	52,02±1,25

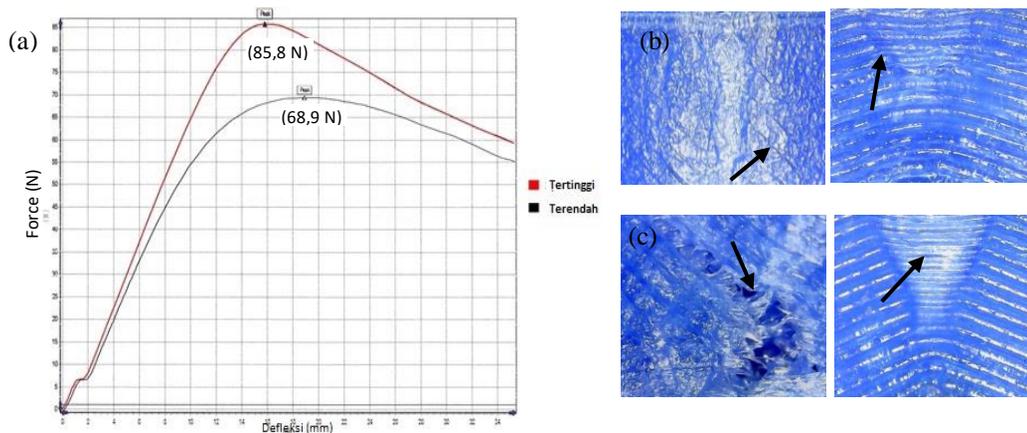
Parameter *feed rate* dan *extrusion width* mempengaruhi nilai massa produk dan waktu pencetakan. Nilai *feed rate* yang semakin kecil dengan kombinasi *extrusion width* yang semakin besar akan meningkatkan massa produk, sedangkan nilai *feed rate* yang semakin kecil dengan kombinasi *extrusion width* yang semakin kecil akan membutuhkan waktu pencetakan yang semakin lama dimana pencetakan menggunakan parameter proses *feed rate* terbesar yaitu dengan nilai 100% dan nilai *extrusion width* terbesar yaitu 0.4 mm. Data hasil pengukuran dimensi produk dan uji lentur untuk setiap replikasi dari percobaan ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil pengukuran dimensi: *length*, *width*, dan *thickness* diperoleh data dimensi dengan nilai masih dalam batas toleransi yang diizinkan sesuai standar ISO 178:2010.

Pengujian lentur dilakukan menggunakan universal testing machine (UTM). Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai F_{max} yang kemudian digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai kekuatan lentur (*flexural strength*). Metode pengujian menggunakan standar pengujian ISO 178 dengan metode *three point bending* (Gambar 3) dengan kecepatan pengujian sebesar 20 mm/menit.



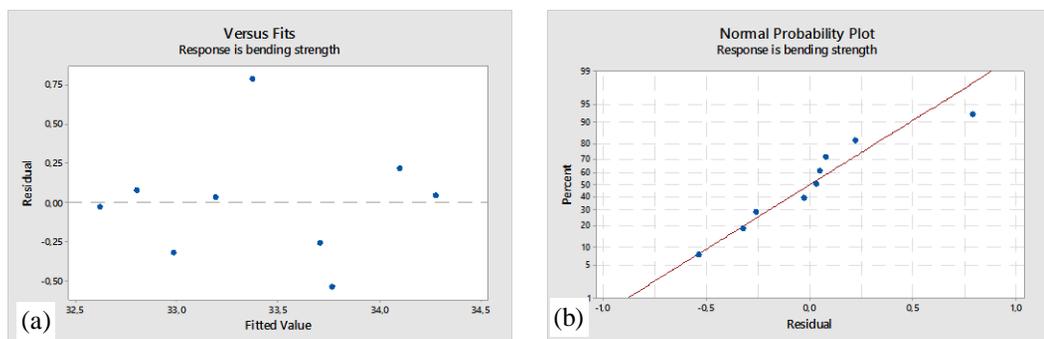
Gambar 3. (a) Skema Pengujian Three Point Bending, (b) Spesimen Hasil Uji Lentur

Berdasarkan pengujian three oint bending, percobaan 9 menghasilkan nilai F_{max} tertinggi (85,8 N) sedangkan nilai F_{max} terendah (68,9 N) dihasilkan oleh spesimen percobaan 3. Gambar 4 (a) menunjukkan kurva hasil pengujian bending pada spesimen dengan nilai F_{max} terendah dan F_{max} tertinggi. Permukaan sisi tarik dari specimen dengan nilai F_{max} terendah, (Gambar 4(c) tanda panah) menampilkan terdelaminasinya *layer*, deformasi plastis, dan rusaknya spesimen. Sedangkan pada spesimen F_{max} tertinggi hanya terjadi sedikit *layer* yang terdelaminasi dan terdeformasi plastis (Gambar 4(b)-tanda panah). Nilai rata-rata *flexural strength* tertinggi (52,02 MPa) diperoleh dari percobaan 9 (Tabel 3) dengan parameter proses dan levelnya adalah *nozzle temperature* (250°C), *extrusion width* (0,4 mm) dan *feed rate* (75%).



Gambar 4. (a) Hasil Pengujian Flexure Tertinggi dan Terendah, (a) Kurva Beban-Defleksi, Kegagalan Spesimen dengan beban (b) Tertinggi dan (c) Terendah

Selanjutnya dilakukan analisis data, dengan terlebih dahulu melakukan pengujian residual. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi terdistribusi normal dan identik. Oleh karena itu dilakukan pengujian residual yang terdiri dari uji identik dan uji distribusi normal. Pada Gambar 5(a) dapat dilihat bahwa *plot residual versus fitted values* untuk residualnya tersebar secara acak/random di sekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu, sehingga asumsi bersifat identik terpenuhi. Sedangkan melalui grafik *probability plot of residual* (Gambar 5(b)) untuk asumsi distribusi normal dapat diidentifikasi dari sebaran titik-titik pada plot tersebut membentuk pola linier atau garis lurus, sehingga residual data memenuhi asumsi distribusi normal. Setelah pengujian residual dilakukan analisis menggunakan *SN Ratio* dan ANOVA.



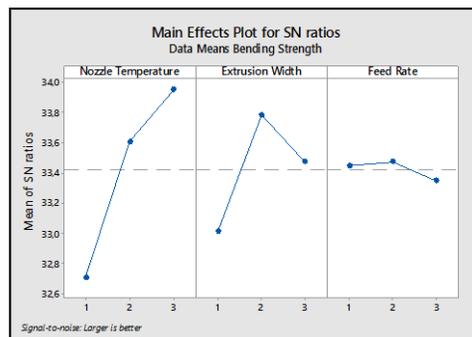
Gambar 5. Grafik : (a) Versus Fit, dan (b) Probability plot of residual, untuk Flexural Strength

3.1 Analisis SN Ratio

Metode yang digunakan pada perhitungan respon *flexural strength* dilakukan menggunakan metode *SN Ratio Larger Is Better* (LTB) atau semakin besar semakin baik karena target yang dituju menentukan nilai *flexural strength* tertinggi dengan pemilihan level parameter dengan nilai *SN Ratio*. Hasil perhitungan nilai *SN Ratio* ditampilkan dalam bentuk tabel respon (Tabel 4) dan grafik *main effect plot* dengan urutan yang paling berpengaruh terhadap *flexural strength* (Gambar 6).

Tabel 4. Respon SN Ratio pada Flexural Strength

Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Feed Rate
1	32,71	33,01	33,45
2	33,61	33,78	33,47
3	33,95	33,47	33,35
Delta	1,24	0,77	0,13
Rank	1	2	3



Gambar 6. Main effect plot SN Ratio Flexural Strength

Berdasarkan analisis *SN Ratio* dapat diketahui level yang optimal dan tingkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap kekuatan lentur. Gambar 6 dan Tabel 4 menunjukkan parameter proses optimal dan levelnya berdasarkan *SN Ratio* secara berurutan adalah *nozzle temperature* (250°C), *extrusion width* (0,35 mm) dan *feed rate* (75%). Pada percobaan 1-9 kombinasi parameter optimal tersebut belum dilakukan.

3.2 Analisis ANOVA

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui peranan setiap parameter proses terhadap spesimen dengan melakukan pengelompokkan hasil percobaan secara statistik sesuai sumber variasi. Faktor-faktor yang termasuk dalam pengelompokkan analisis ANOVA adalah M_q , Sq_A (setiap faktor), St , F -ratio, Df , Sq' , p -value, dan $\rho\%$. Pada penelitian ini akan menentukan nilai critical significant atau *alpha-error* α : 0.05 (5%). Nilai α : 0.05 menunjukkan penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklarifikasi sebagian faktor-faktor penting seperti (F -ratio) dan (P -value). Hasil analisis ditampilkan oleh Tabel 5. Tabel tersebut menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh significant dalam proses 3D printing dengan bahan PETG secara berurutan adalah *nozzle temperature* ($p=0,123$), *extrusion width* ($p=0,266$) dan *feed rate* ($p=0,961$).

Tabel 5. Persen Kontribusi Parameter Terhadap *Flexural Strength*

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	ρ%
Nozzle Temperature	69,688	2	34,8439	7,10	59,8736	0,123	55,9622
Extrusion Width	27,091	2	13,5453	2,76	17,2773	0,266	16,1486
Feed Rate	0,398	2	0,1992	0,04	-9,4150	0,961	-8,8000
e	9,813	2	4,9066	-	39,2534	-	36,6890
St	106,990	8	106,989348	-	-	-	100
Mean	20082,7350	2	-	-	-	-	-
ST	20189,7243	9	-	-	-	-	-

3.3 Eksperimen Konfirmasi

Dilakukan eksperimen konfirmasi untuk menguji kombinasi level optimal yang telah didapat dari hasil analisis *SN Ratio*. Eksperimen konfirmasi dilakukan pada parameter optimal berdasarkan hasil *SN Ratio* untuk respon nilai *flexural strength*.

3.3.1 Rata-rata Prediksi dan Interval Kepercayaan

Perhitungan rata-rata prediksi (μ) bertujuan untuk memperkirakan nilai tegangan tarik berdasarkan hasil kombinasi level optimal. *Confidence interval* (CI) ditentukan dengan nilai sebesar 95% atau α : 0.05 yang artinya 95% dari rata-rata hasil akan berada di antara interval yang ditentukan. Berikut hasil perhitungan nilai μ dan CI.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} - CI &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI \dots\dots\dots (2) \\ 53,0274 - 5,5334 &\leq 53,0274 \leq 53,0274 + 5,5334 \\ 47,494 \text{ MPa} &\leq 53,0274 \text{ MPa} \leq 58,5608 \text{ MPa} \end{aligned}$$

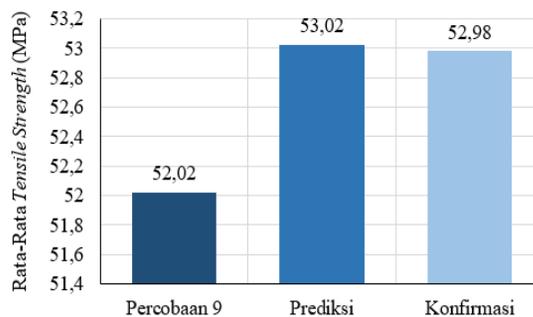
3.3.2 Hasil dan Analisa Eksperimen Konfirmasi

Tabel 6. Hasil Eksperimen Konfirmasi

Replikasi	<i>l</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	<i>h</i> (mm)	Massa (gram)	F_{max} (N)	<i>Flexural Strength</i> (MPa)
1	80,10	10,1	4,02	3,31	90,75	53,2287
2	80,60	10,3	4,00	3,30	89,69	52,2466
3	80,10	10,4	3,95	3,32	86,91	53,4745
Rerata	80,27	100,27	3,99	3,31	89,12	52,98
±SD	±0,2887	±0,1527	±0,0361	±0,0062	±1,9832	±0,6497

Hasil eksperimen konfirmasi ditampilkan oleh Tabel 6. Nilai rata-rata kekuatan lentur meningkat (52,98 MPa) dengan nilai deviasi lebih kecil ($\pm 0,65$). Hasil ini melebihi nilai eksperimen percobaan 9 dan masuk pada jangkauan interval kepercayaan ($47,49 \text{ MPa} \leq 53,02 \text{ MPa} \leq 58,56 \text{ MPa}$). Optimasi parameter proses yang dilakukan menggunakan Metode Taguchi terbukti dapat meningkatkan kualitas suatu produk pada nilai kekuatan lentur dan memenuhi syarat tingkat kepercayaan 95%.

Perbandingan nilai rata-rata kekuatan lentur dari percobaan ke 9 (Tabel 3), prediksi, dan eksperimen konfirmasi disajikan pada Gambar 7. Eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai kekuatan lentur yang lebih tinggi dari dari percobaan 9. Hasil tersebut membuktikan bahwa kombinasi eksperimen konfirmasi merupakan level parameter yang optimum untuk respon *flexural strength*.



Gambar 7. Nilai *flexural strength* dari percobaan 9, prediksi dan pengujian konfirmasi

4. KESIMPULAN

Optimasi parameter proses 3D printing untuk bahan PETG dengan metode Taguchi telah berhasil dilakukan. Semua produk yang dihasilkan dengan berbagai parameter proses dan level, memiliki dimensi sesuai dengan standar. Hasil analisis *SN Ratio* dan Anova menunjukkan bahwa parameter proses yang berpengaruh terhadap respon *flexural strength* pada produk 3D printing dengan bahan PETG secara berturut-turut adalah *nozzle temperature level*, *extrusion width* dan *feed rate*. Eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa kombinasi level optimum, yaitu *nozzle temperature level* 3 (250°), *extrusion width level* 2 (0,35mm), dan *feed rate level* 2 (75%) terbukti mampu meningkatkan kualitas produk dengan memperbaiki rata-rata nilai kekuatan lentur menjadi $52,98 \pm 0,65$ MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohamad, O. A, Masood, S.H and Bhowmik, J. L., 2015, *Optimization of Fused Deposition Modeling Process Parameters: A Review of Current Research And Future Prospects*. Advances in manufacturing, vol. 3, no. 1, pp. 42-53, doi: 10.1007/s40436-014-0097-7
- [2] Thomas, D. J. and Claypole, T. C. , 2016, *3-D Printing*. United Kingdom: Elsevier. pp. 293-306.
- [3] Grabowik, C., Kalinowski, K., Ćwikła, G., Paprocka, I., & Kogut, P., 2017, *Tensile tests of specimens made of selected group of the filament materials manufactured with FDM method*. MATEC Web Conf. 112, 1-6.
- [4] Nugroho, A.W., Mahardika,A.H., and Budiantoro, C., 2019 *Improving the tensile properties of 3D printed PLA by optimizing the processing parameter*. JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering),4(1): p. 29-36.
- [5] Sukindar, N. A. B., Ariffin, M., Baharudin, B., Jaafar, C., & Ismail, M., 2017, *Analysis on the Impact Process Parameters on Tensile Strength Using 3d Printer Repetier-Host Software*. ARPN Journal of Engineering and Applied Science, pp. 12, 3341-3346
- [6] Lužanin, O., Movrin, D. and Plančak, M., 2014, *Effect Of Layer Thickness, Deposition Angle, and Infill On Maximum Flexural Force in Fdm-Built Specimens*. Serbia: University of Novi Sad, Faculty of Technical Science, 39. pp. 51-58.
- [7] Szczepanik, S., and Bednarczyk, P. , 2017, *Bending and Compression Properties of ABS and PET Structural Materials Printed Using FDM Technology*. Poland: AGH University of

Science and Technology Press, 1. pp. 39-42.

- [8] Christiyana, K. J., Chandrasekhar, U., & Venkateswarlu, K., 2016, *A study on the influence of process parameters on the Mechanical Properties of 3D printed ABS composite*. IOP Conference Series. 114, 1.
- [9] Szykiedans, K., Credo, W., & Osiński, D. , 2017, *Selected Mechanical Properties of PETG 3-D Prints*. Poland: Elsevier, 177. pp. 455-461.
- [10] Menderes, K., İpekçi, A., & Saruhan, H., 2017, *Investigation of 3D Printing Filling Structures Effect on Mechanical Properties and Surface Roughness of PET-G Material Products*. Turkey: Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research, 6. pp. 114-121.