JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur - Vol.XXX, No.XXX, XXX
http://journal.umy.ac.id/index.php/jmpm

ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES 3D-*PRINTING* MATERIAL PETG TERHADAP RESPON AKURASI DIMENSI DAN KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Ryan Fachzuri Hidayat[a], Aris Widyo Nugroho[b], Cahyo Budiyantoro[c]
[a] UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
+6282140004014
e-mail: ryan.fachzuri.2014@ft.umy.ac.id

[b] UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
+62274 387656
e-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Intisari

Teknologi *Rapid Prototyping* berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM) banyak digunakan sebagai teknologi *Additive Manufacturing* atau 3D *printing*. Teknologi ini bekerja dengan cara memanaskan bahan berbentuk filamen lalu menghasilkan ekstrusi yang kemudian membentuk lapisan demi lapisan. Filamen *Polyethlene Terephtalate-Glycol* (PETG) adalah salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam teknologi 3D *printing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter proses optimal dan kombinasi level optimal parameter proses pada produk 3D *printing* bahan PETG menggunakan metode Taguchi.

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen *orthogonal arrays* L9 (3^3) dimana terdapat sembilan percobaan 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, 0.3mm 0.35mm, 0.4mm, 80%, 90%, 100%). Respon yang digunakan pada penelitian ini adalah akurasi dimensi (w dan T) dan kekuatan tarik, selanjutnya data hasil respon dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

Berdasarkan hasil analisis SNR dan ANOVA menunjukkan parameter proses paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh *nozzle temperature*, sedangkan untuk respon kekuatan tarik dipengaruhi oleh parameter proses *feed rate* lalu diikuti oleh *extrusion width*. Berdasarkan eksperimen konfirmasi terhadap respon kekuatan tarik dengan menggunakan kombinasi level parameter proses optimal yang dihasilkan dari Metode Taguchi yaitu *nozzle temperature* 250 ^{o}C*, extrusion width* 0.3 mm*,* dan *feed rate* 90% menunjukkan hasil yang secara signifikan dapat memperbaiki kekuatan tarik produk PETG dengan nilai tegangan tarik sebesar 20.79 MPa pada interval kepercayaan (CI) 95%.

Kata Kunci: 3D *Printing*, FDM, PETG, *Nozzle temperature, Extrusion width, Feed rate*, Taguchi, Kekuatan Tarik, Akurasi Dimensi

1. PENDAHULUAN

3D *Printing* atau *Additive Manufacturing* (AM) merupakan teknologi manufaktur yang digunakan untuk membuat benda padat tiga dimensi dari file digital. Dengan teknik *layer-by-layer* teknologi ini mampu membuat benda berbentuk rumit dengan biaya yang relatif rendah dan dalam rentang waktu yang singkat. Aplikasi teknologi 3D *printing* banyak digunakan untuk membuat *prototype* dibidang medis, dental, penerbangan, otomotif dan arsitektur (Al Maliki, 2015). Berkembangnya teknologi *rapid prototyping* membuat proses desain atau pengembangan produk menjadi lebih cepat. Beberapa teknologi *rapid prototyping* yang berkembang saat ini adalah *Selective Laser Sintering* (SLS), *Continous*

Liquid Interface Production (CLIP), *Fused Deposition Modeling* (FDM), dan *Stereolithography* (SLA) (Budiman, 2016).

FDM merupakan teknologi *rapid prototyping* yang paling umum digunakan saat ini karena biayanya yang rendah. Teknologi FDM bekerja menggunakan bahan berbentuk filamen yang dipanaskan didalam *print head* untuk menghasilkan ekstrusi leleh yang membentuk lapisan demi lapisan (Maliki, 2015). Filamen polimer yang digunakan dalam pencetakan 3D berasal dari *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polyethlene Terephtalate Glycol* (PETG), *Polyamide*, *Polyvinyl Alcohol* (PVA), dan *Poly Carbonate* (PC). PETG merupakan jenis polimer yang umum digunakan dalam pencetakan 3D saat ini. PETG memiliki densitas 1,38 g/cm^3 dengan suhu pencetakan antara 230°C-265°C dan suhu *bed* diatas 60˚C. keunggulan PETG diantaranya, memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi cuaca, tidak rusak atau kehilangan warnanya saat terkena sinar UV, tidak menimbulkan bau saat proses pencetakan, memiliki sifat adhesi yang unik sehingga mampu menempel di meja pemanas dengan baik dan memiliki faktor penyusutan termal yang rendah (Grabowik, 2017).

Proses manufaktur FDM dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, namun biaya *prototype* umumnya tinggi sehingga diperlukan optimalisasi parameter proses. Metode Taguchi merupakan salah satu metode untuk mengoptimalkan parameter proses 3D *printing*. Pendekatan metode taguchi digunakan untuk mendapatkan kombinasi level yang optimal untuk memperbaiki kualitas produk.

Mahardika, (2017) melakukan optimasi parameter proses 3D *printing* bahan PLA menggunakan metode taguchi. Parameter proses yang diujikan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width*, *infill density,* dan *infill pattern* dengan dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan parameter *infill density* dan *nozzle temperature* menjadi parameter proses paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik dengan nilai kontribusi sebesar 40.78% dan 14.17%.

Johansson, (2016) melakukan penelitian pada produk 3D *printing* bahan ABS, PET dan PLA. Parameter yang diujikan meliputi *nozel temperature, flow rate, layer thickness, dan printing speed*. Hasil penelitian menunjukkan PLA menghasilkan kuat tarik tertinggi sebesar 51 MPa disusul PET dengan kuat tarik sebesar 40 MPa dan ABS menunjukkan kuat tarik terendah yaitu sebesar 34 MPa.

Basavaraj dkk, (2016) melakukan optimalisasi parameter proses 3D *printing* berbasis FDM pada bahan nylon menggunakan metode taguchi. Parameter yang diujikan meliputi *layer thickness*, *orientation angle*, dan *shell thickness* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *layer thickness* merupakan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik.

Menderes dkk, (2017) 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*.

Jiang dkk, (2016) melakukan optimalisasi parameter orientasi cetak 3D *printing* pada bahan PLA, ABS, dan PETG tanpa tambahan dan dengan tambahan serat karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat karbon mampu meningkatkan modulus tarik pada semua orientasi cetak yang dilakukan namun secara bersamaan akan menurunkan sifat duktilitasnya.

Sukindar dkk, (2017) melakukan penelitian 3D *printing* berbasis RepRap *(Replicating Rapid Prototyper)* bahan PLA. Parameter yang diujikan yaitu *layer thickness*, *shell thickness*, dan *printing speed* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter *shell thickness* memberikan hasil signifikan (p = 0,037) dalam mempengaruhi hasil kekuatan tarik.

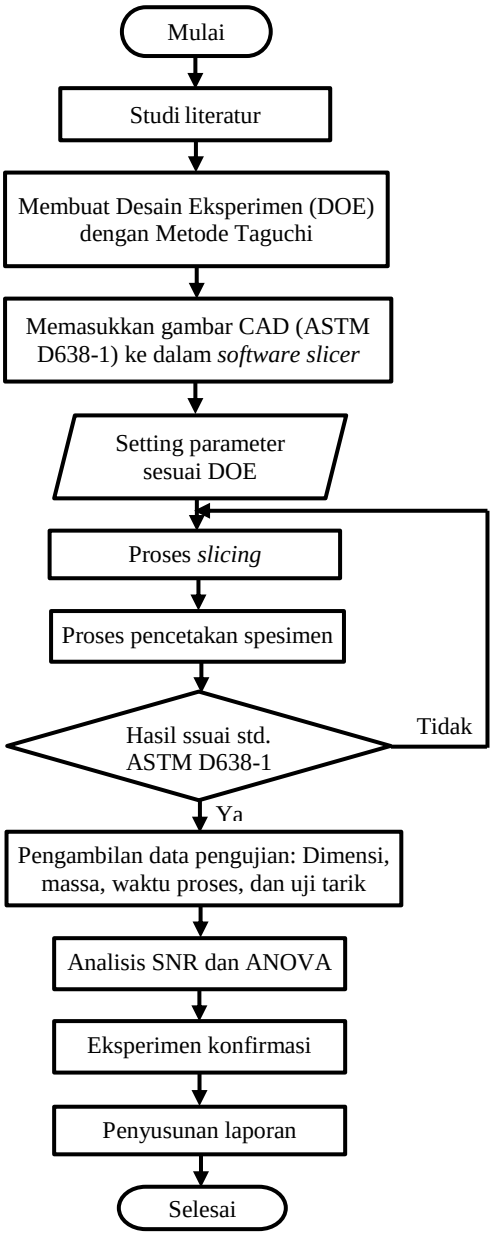
Christiyan dkk, (2016) melakukan optimalisasi parameter proses 3D *printing* pada bahan komposit ABS. Parameter yang diujikan yaitu ketebalan lapisan dan kecepatan cetak dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi parameter ketebalan lapisan 0,2 mm dan kecepatan cetak 30 mm/s menghasilkan kekuatan tarik maksimal sebesar 28,5 MPa dan beban lentur maksimal sebesar 43 N.

Szykiedans dkk, (2016) melakukan penelitian mengenai produk 3D *printing* bahan PETG dengan tambahan serat kaca. Empat seri spesimen dicetak menggunakan filamen Z-PETG dengan arah pencetakan yang berbeda. Spesimen seri P1, P2, P3 dicetak arah mendatar sementara P4 dicetak arah tegak. Hasilnya menunjukkan bahwa posisi pencetakan mempengaruhi nilai modulus tarik dan bentuk retakannya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini memfokuskan optimalisasi parameter proses 3D *printing* bahan PETG dengan menggunakan desain eksperimen Metode Taguchi. Parameter proses yang diujikan meliputi *nozzle temperature, extrusion width* dan *feed rate.* Selanjutnya dilakukan pengambilan data akurasi dimensi dan pengujian tarik untuk mengetahui sifat mekanik produk. Hasil respon dianalisis menggunakan ANOVA dan SNR untuk mengetahui pengaruh parameter yang paling optimal serta kombinasi level optimal untuk memperbaiki kualitas produk 3D *printing*.

2. METODE PENELITIAN

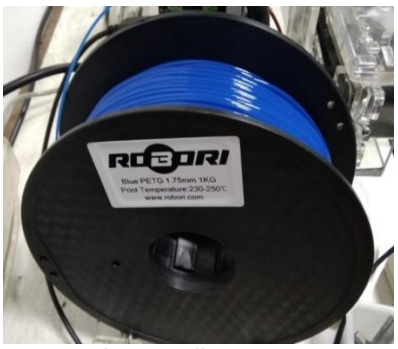
2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Bahan

Bahan filamen dalam penelitian ini menggunakan jenis PETG berwarna biru dengan diameter 1,75 mm.



Gambar 2. Filamen PETG

2.3 *Design of Experiment* (DOE)

Pembuatan desain eksperimen meliputi penentuan faktor dan level yang akan dimasukan 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	*Nozzle temperature* (^{o}C)	240	245	250
B	*Extrusion width* (mm)	0.3	0.35	0.4
C	*Feed rate* (%)	80	90	100

Pada penelitian ini tidak semua parameter dilakukan pengontrolan, tujuannya untuk memfokuskan pengamatan parameter proses yang akan diamati. Parameter lain dibuat sesuai pengaturan *default* yang sudah tersedia didalam program Slic3r, berdasarkan hasil pra-eksperimen dan merujuk hasil penelitian sebelumnya. Parameter proses *default* ditunjukkan pada tabel 2

Tabel 2. Parameter proses *default*

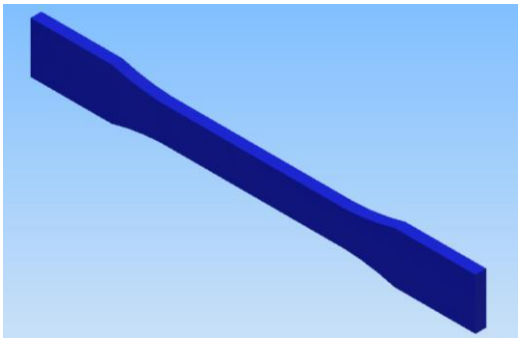
Parameter Proses	*Unit*	*Values*
Heat bed	˚C	70
Perimeters	-	3
Solid Layer (top and bottom)	-	3
Top/bottom fill pattern	-	*Rectilinear*
Raster angle	-	45°
Flow rate	%	100
Layer Thickness	Mm	0,25
Infill patern	-	*Rectilinier*

Desain faktorial menggunakan matriks ortogonal L_9 (3^3) yang artinya percobaan dilakukan sebanyak sembilan kali dimana ada tiga faktor kontrol dengan tiga level perubahan dalam setiap faktornya. Pemilihan matriks ortogonal disesuaikan berdasarkan jumlah percobaan, faktor, dan level yang akan dimati. Selanjutnya replikasi dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap percobaannya untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi.

Tabel 3. Desain Faktorial

No	Parameter Proses		
	Nozzle Temperature (^{o}C)	*Extrusion Width* (mm)	*Feed Rate* (%)
1	240	0,3	80
2	240	0,35	90
3	240	0,4	100
4	245	0,3	90
5	245	0,35	100
6	245	0,4	80
7	250	0,3	100
8	250	0,35	80
9	250	0,4	90

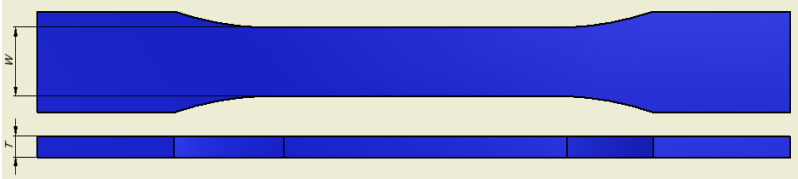
Desain objek digambar menggunakan *software* Inventor Profesional 2015. Dimensi objek dibuat sesuai standar spesimen uji tarik untuk bahan plastik yaitu ASTM D638 tipe 1. Dimensi spesimen ASTM D638 tipe 1 ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 3. Desain CAD

Tabel 4. Dimensi ASTM D-638 tipe 1

Bagian	Ukuran (mm)
W (*width of narrow*)	13
R (*radius of fit*)	76
T (*thickness*)	4



Gambar 4. Dimensi standar ASTM D-638

Setelah desain telah selesai dibuat, kemudian melakukan proses *slicing* dan *setting* parameter sesuai DOE. Selanjutnya proses pencetakan spesimen sebanyak 27 spesimen. Kemudian dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen meliputi massa produk, dimensi produk, dan pengujian tarik. Data yang telah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis mengunakan SNR dan ANOVA.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menghasilkan 27 spesimen standar ASTM D638-1 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 tarik.

Tabel 5. Data pengukuran massa dan waktu cetak

Percobaan	Massa rata-rata (gr)	Waktu cetak (menit)	Standar Deviasi
1	9,35097	119	0,12231
2	9,761	92	0,15645
3	9,82153	71	0,22618
4	9,76227	104	0,03133
5	9,82893	84	0,16257
6	10,0936	93	0,01087
7	9,84627	99	0,04257
8	9,8918	93	0,17118
9	10,1008	81	0,06966

Berdasarkan data pada Tabel 5. menunjukkan bahwa parameter *extrusion width* dan *feed rate* mempengaruhi nilai masa produk dan waktu pencetakan. Nilai *extrusion width* yang semakin besar dengan kombinasi *nilai feed rate* yang semakin kecil akan meningkatkan massa produk seperti yang ditunjukkan pada percobaan 9, sedangkan nilai *extrusion width* yang semakin kecil akan membutuhkan waktu pencetakan yang semakin lama seperti yang ditunjukkan pada percobaan 1 dimana pencetakkan menggunakan parameter proses *extrusion width* terkecil yaitu dengan nilai 0.3 mm.

Tabel 6. hasil pengukuran dimensi

No	*Width* (w)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	*Thickness* (T)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi
	R1	R2	R3			R1	R2	R3		
1	13,206	13,40	13,413	13,3397	0,11594	4,126	4,036	3,953	4,03833	0,08652
2	13,30	13,46	13,11	13,29	0,17521	4,16	4,03	4,29	4,16	0,13
3	13,026	13,45	13,13	13,202	0,22098	4,25	3,926	4,34	4,172	0,21774
4	13,276	13,206	13,256	13,246	0,03606	4,136	4,183	4,243	4,18733	0,05363
5	13,333	13,166	13,166	13,2217	0,09642	4,173	4,233	4,29	4,232	0,05851
6	13,23	13,116	13,193	13,1797	0,05816	4,18	4,176	4,263	4,20633	0,04912
7	13,296	13,323	13,313	13,3107	0,01365	4,26	4,22	4,226	4,23533	0,02157
8	13,413	13,266	13,326	13,335	0,07391	4,083	4,103	4,19	4,12533	0,05689
9	13,343	13,276	13,116	13,245	0,11663	4,07	4,113	4,183	4,122	0,05704

Berdasarkan data hasil pengukuran dimensi produk untuk setiap replikasi (R) dari percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 6. hasil pengukuran dimensi w dan T diperoleh data dimensi yang mayoritas positif karena dimensi produk hasil pencetakan 3D memiliki dimensi spesimen yang lebih besar daripada standar dimensi ASTM D638 tipe 1 namun masih masuk dalam batas toleransi yang diijinkan.

3.1 Hasil Pengujian Tarik

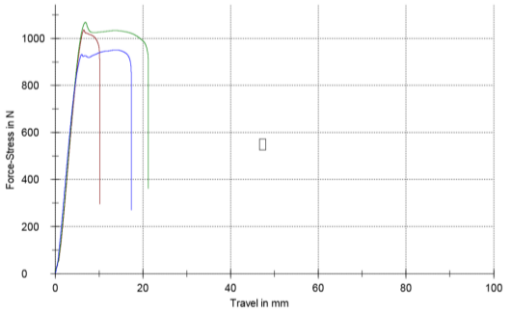
Pengujian tarik dilakukan di Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik (BBKKP) Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai F*max* yang kemudian digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan tarik. Metode pengujian menggunakan standar pengujian ASTM D-638 untuk tipe 1 yaitu dengan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/menit. Berikut adalah gambar spesimen hasil pengujian tarik dan grafik F*max*.

Gambar 5. Spesimen hasil uji tarik

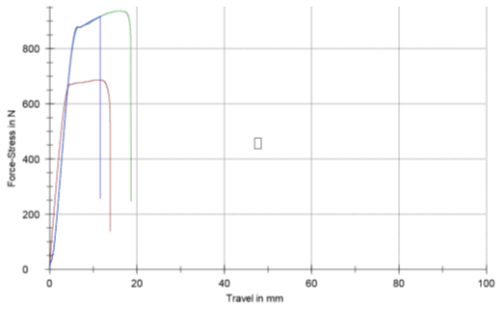
Tabel 7. Hasil uji tarik

No	F*max*(kgf)		
	R1	R2	R3
1	97,372	92,409	108,099
2	96,984	98,418	92,906
3	91,145	101,857	84,787
4	98,762	101,062	97,265
5	69,948	95,496	93,513
6	99,298	97,172	92,644
7	96,251	103,1	105,687
8	94,906	99,216	96,58
9	105,657	108,969	96,978

Berdasarkan data tabel hasil pengujian tarik, Dari pengujian tersebut spesimen percobaan 9 replikasi ke 2 menghasilkan nilai F*max* tertinggi sedangkan nilai F*max* terendah dihasilkan oleh spesimen percobaan 5 replikasi ke 1. Berikut ini kurva hasil pengujian tarik pada spesimen dengan nilai F*max* terkecil dan F*max* terbesar.



Gambar 6. Kurva percobaan ke 9

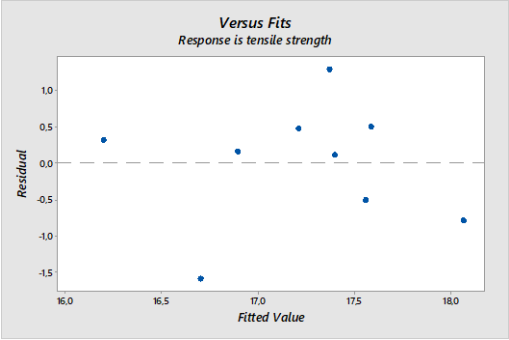


Gambar 7. Kurva percobaan ke 5

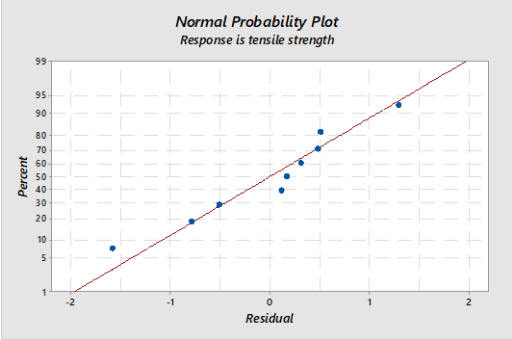
Kemudian dilakukan perhitungan tegangan tarik untuk semua spesimen percobaan. Data hasil perhitungan *tensile strength* ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan *tensile strength*

No	*Tensile strength* (MPa)			Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
	R1	R2	R3		
1	17,524	16,756	19,993	18,091	1,69135
2	17,189	17,792	16,199	17,06	0,8043
3	16,145	18,916	14,491	16,5173	2,23587
4	17,638	17,941	16,958	17,5123	0,5034
5	12,328	16,803	16,236	15,1223	2,43651
6	17,608	17,398	16,153	17,053	0,78646
7	16,664	17,983	18,422	17,6897	0,91497
8	16,994	17,875	16,962	17,277	0,51813
9	19,079	19,57	17,334	18,661	1,17515



Gambar 8. Grafik *Versus fit*

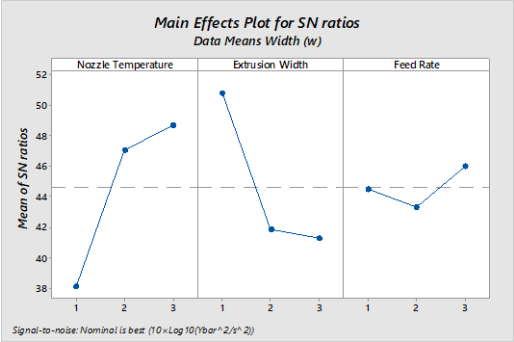


Gambar 9. Grafik *Normal probability*

Berdasarkan dari grafik *versus fit* dan grafik *normal probability* diatas menunjukkan tingkat penyebaran data yang baik dan memiliki tingkat normalitas data yang baik sehingga data dapat dianalisis lanjutan menggunakan SNR dan ANOVA.

3.2 Analisis SNR

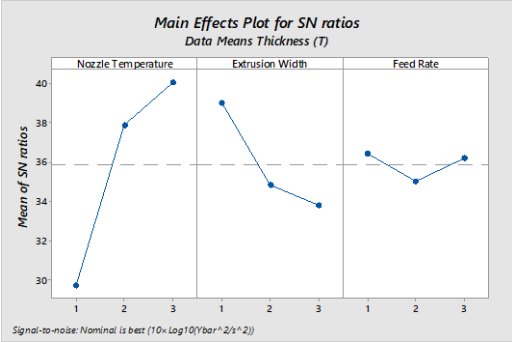
Analisis SNR bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap respon. Metode SNR respon dimensi produk dilakukan menggunakan metode SNR *Nominal Is Best* (NTB) atau tertuju pada nilai tertentu karena target yang dituju adalah untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai penyimpangan akurasi dimensi terkecil dengan cara memilih level parameter dengan nilai SNR tertinggi. *Software* Minitab 17 menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk tabel respon dan grafik SNR.



Gambar 10. Grafik SNR dimensi *width*

Tabel 9. Respon SNR dimensi *width*

Level	*Nozzle Temperature*	*Extrusion Width*	*Feed Rate*
1	38,11	50,77	44,48
2	47,05	41,82	43,34
3	48,67	41,25	46,02
Delta	10,56	9,52	2,68
Rank	1	2	3

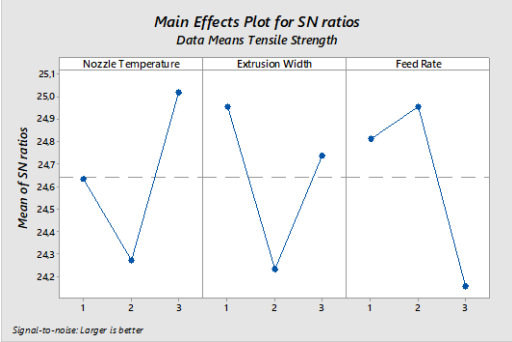


Gambar 11. Grafik SNR dimensi *Thickness*

Tabel 10. Respon SNR dimensi *Thickness*

Level	*Nozzle Temperature*	*Extrusion Width*	*Feed Rate*
1	29,71	39,03	36,41
2	37,9	34,83	35,04
3	40,08	33,83	36,23
Delta	10,37	5,2	1,37
Rank	1	2	3

Metode SNR respon *tensile strength* dilakukan menggunakan metode SNR *Larger The Better* (LTB) atau semakin besar semakin baik karena target yang dituju adalah untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai *tensile strength* tertinggi.



Gambar 12. Grafik SNR Tegangan Tarik

Tabel 11. Respon SNR Tegangan tarik

Level	*Nozzle Temperature*	*Extrusion Width*	*Feed Rate*
1	24,63	24,96	24,81
2	24,27	24,23	24,95
3	25,02	24,73	24,16
Delta	0,75	0,72	0,8
Rank	2	3	1

Berdasarkan analisis menggunakan nilai SNR dapat diketahui level yang optimal dan tingkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Berikut ini tabel parameter proses yang optimal dan tabel nilai level parameter proses optimal berdasarkan SNR ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Level optimal berdasarkan hasil SNR

Respon	*Nozzle Temperature* (˚)	*Extrusion Width* (mm)	*Feed Rate* (%)
Dimensi w	250	0,3	100
Dimensi T	250	0,3	80
TS	250	0,3	90

Tabel 13. Parameter optimal berdasarkan hasil SNR

Rank	Dimensi w	Dimensi T	*Tensile Strength*
1	*Nozzle Temperature*	*Nozzle Temperature*	*Feed Rate*
2	*Extrusion Width*	*Extrusion Width*	*Nozzle Temperature*
3	*Feed Rate*	*Feed Rate*	*Extrusion Width*

3.3 Analisis ANOVA

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui persen kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians. Klasifikasi yang dihitung meliputi ST, Sm, Df, Sq (setiap faktor), St, Mq (setiap faktor), F-ratio, Sq', ρ%, dan P-*value*. Pada penelitian ini ditentukan nilai *alpha-error* sebesar α: 0.05 (5%). Nilai α berarti bahwa penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklasifikasi. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ANOVA.

Tabel 14. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *width*

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Nozzle Temperature	0,0107	2	0,0053	48,822	0,0104	0,0274	38,6088
Extrusion Width	0,0137	2	0,0068	54,771	0,0134	0,0289	49,6392
FeedRate	0,0024	2	0,0012	9,730	0,0021	0,1036	8,0593
E	0,0002	2	0,0001	-	0,0001	-	3,6927
St	0,0272	8	0,0033	-	-	-	100
Mean	1583,18	2	-	-	-	-	-
ST	1583,21	9	-	-	-	-	-

Tabel 15. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *thickness*

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Nozzle Temperature	0,0109	2	0,0055	1,4813	0,0036	0,402	11,3655
Extrusion Width	0,0005	2	0,0003	0,0755	-0,007	0,929	-21,829
FeedRate	0,0124	2	0,0062	1,6781	0,0049	0,372	16,0118
E	0,0074	2	0,0037	-	0,0249	-	94,4519
St	0,0312	8	0,0039	-	-	-	100
Mean	156,072	2	-	-	-	-	-
ST	156,103	9	-	-	-	-	-

Tabel 16. Persen kontribusi parameter terhadap tegangan tarik

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Nozzle Temperature	2,5874	2	1,2937	40,603	2,5236	0,0254	31,1874
Extrusion Width	2,6120	2	1,3060	40,989	2,5483	0,0255	31,4917
Feed Rate	2,8288	2	1,4144	44,391	2,7651	0,0264	34,1709
E	0,0637	2	0,0318	-	0,2549	-	3,1500
St	8,0920	8	1,0115	-	-	-	100
Mean	2668,88	2	-	-	-	-	-
ST	2676,97	9	-	-	-	-	-

Tabel 17. Parameter proses optimal berdasarkan hasil ANOVA

Rank	Dimensi w	Dimensi T	*Tensile Strength*
1	*Extrusion Width*	*Feed Rate*	*Feed Rate*
2	*Nozzle Temperature*	*Nozzle Temperature*	*Extrusion Width*
3	*Feed Rate*	*Extrusion Width*	*Nozzle Temperature*

3.4 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk menguji kombinasi level optimal yang telah didapat dari hasil analisis SNR dan ANOVA. Eksperimen konfirmasi dilakukan pada parameter optimal berdasarkan hasil SNR untuk respon nilai *tensile strength*.

3.4.1 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.

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \geq \mu_{prediksi} + CI$$
$$18{,}9438 - 1{,}9935 \leq 18{,}9438 \geq 18{,}9438 + 1{,}9935$$
$$16{,}9503 \text{ MPa} \leq 18{,}9438 \text{ MPa} \geq 20{,}9373 \text{ MPa}$$

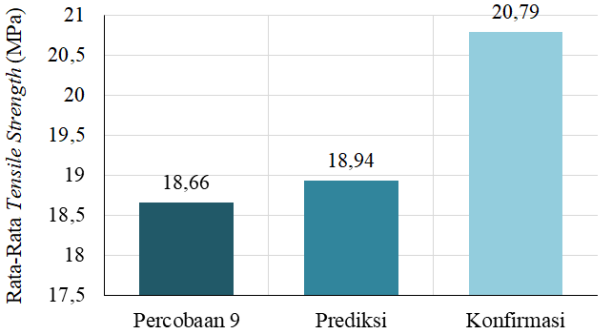
3.4.2 Hasil dan Analisis Eksperimen Konfirmasi

Tabel 19. Hasil eksperimen konfirmasi

R	Massa (gram)	F*max* (N)	*Tensile Strength* (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
1	9,2663	1068	19,823	20,79	0,84495
2	9,1978	1100,81	21,175		
3	9,0413	1107,42	21,377		

Berdasarkan hasil pengujian tarik eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 20,79 MPa. Hasil ini melebihi nilai prediksi dan berada di dalam kisaran interval kepercayaan (16,9503 MPa ≤ 18,9438 MPa ≥ 20,9373 MPa). Dapat disimpulkan bahwa optimasi parameter yang dihasilkan menggunakan metode taguchi terbukti dapat meningkatkan kualitas produk pada nilai kekuatan tarik dan memenuhi syarat tingkat kepercayaan sebesar 95%.

Berikut ini merupakan perbandingan rata-rata nilai tegangan tarik tertinggi berdasarkan DOE yaitu percobaan ke 9, prediksi rata-rata nilai tegangan tarik (μ) dan tegangan tarik eksperimen konfirmasi yang disajikan pada diagram batang.



Gambar 13. Perbandingan nilai tegangan tarik.

Berdasarkan diagram batang di atas menunjukkan nilai rata-rata tegangan tarik eksperimen konfirmasi melebihi nilai percobaan 9 dan nilai prediksi rata rata. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa kombinasi level parameter eksperimen konfirmasi merupakan level parameter yang paling optimal untuk respon kekuatan tarik tertinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Parameter proses yang berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil ANOVA parameter *extrusion width* menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap respon dimensi w dengan nilai kontribusi sebesar 49,64% sedangkan untuk dimensi T dihasilkan oleh parameter *feed rate* dengan nilai kontribusi sebesar 16,01%.
2. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D *printing* bahan PETG berdasarkan analisis ANOVA dihasilkan oleh parameter *feed rate* dengan nilai kontribusi tertinggi yaitu sebesar 34,17%.
3. Kombinasi parameter optimal respon akurasi dimensi yaitu *nozzle temperature* level 3 (250°C), *extrusion width* level 1 (0,3 mm), dan *feed rate* level 1 (80%).
4. Kombinasi parameter optimal respon kekuatan tarik yaitu *nozzle temperature* level 3 (250°C), *extrusion width* level 1 (0,3 mm), dan *feed rate* level 2 (90%).
5. Kombinasi level optimal eksperimen konfirmasi terbukti mampu meningkatkan kualitas produk dengan memperbaiki nilai kekuatan tarik menjadi 20,79 MPa dimana hasilnya melebihi nilai prediksi dan berada didalam interval kepercayaan.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Maliki, J. Q. (2015). *The Processes and Technologies of 3D Printing. International Journal of Advances in Computer Science and Technology* Vol. 4, 161–165.

Basavaraj, C. K., dan Vishwas, M. (2016). *Studies on Effect of Fused Deposition Modelling Process Parameters on Ultimate Tensile Strength and Dimensional Accuracy of Nylon. Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–12.

Budiman, W., Anggono, J., dan Tanoto, Y. (2016). Pengaruh Orientasi Obyek Hasil *Fused Depisition Modeling* Pada Waktu Proses. Jurnal Teknik Mesin Vol. 16, 41–46.

Christiyan, K. G., Chandrasekhar, U., dan Venkateswarlu, K. (2016). *A Study On The Influence of Process Parameters on The Mechanical Properties of 3D Printed ABS Composite. Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–9.

Grabowik, C., Kalinowski, K., Cwikla, G., Paprocka, I., dan Kogut, P. (2017). *Tensile Tests of Specimens Made of Selected Group of The Filament Materials Manufactured with FDM Method*. *MATEC Web of Conferences* Vol. 2017, 1–6.

Horvath, Joan. (2014). *Mastering 3D Printing*. California: Heinz Weinheimer.

Jiang, D., dan Smith, D. E. (2016). *Mechanical Behavior of Carbon Fiber Composites Produced With Fused Filament Fabrication.*Waco: *Baylor University*

Johansson, F. (2016). *Optimizing Fused Filament Fabrication 3D Printing for Durability Tensile Properties and Layer Bonding.* Karlskrona: *Blekinge Institute of Technology.*

Mahardika, A. H. (2017). Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Material Polyactid Acid Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Menderes, K., Ipecki, A., dan Saruhan, H. (2017). *Investigation of 3D Printing Filling Structures Effect on Mechanical Properties and Surface Roughness of PET-G Material Products*. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research* Vol. 6, 114–121.

Sukindar, N. A., Ariffin, M. A., Baharudin, B. B., Jaafar, C. A., dan Ismail, M. B. (2017). *Analysis on The Impact Process Parameters on Tensile Strength Using 3D Printer Repetier-Host Software. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12, 3341–3346.

Szykiedans, K., Credo, W., dan Osiński, D. (2016). *Selected Mechanical Properties of PETG 3-D Prints.* Warszawa: *Warsaw University of Technology*