

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

Muhammad Taqdirul Aziez^{1,a}, Aris Widyo Nugroho^{1,b}, Cahyo Budiyanoro^{1,c}

¹ Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, 55183

^a muhammad.taqdirul.2013@ft.umy.ac.id, ^b ariswidyo.nugroho@umy.ac.id, ^c cahyo_budi@umy.ac.id

ABSTRAK

Teknologi *additive manufacturing* telah berkembang pesat dan banyak digunakan sebagai teknologi *rapid prototyping* yang berbasis *fused deposition modeling*. Teknologi ini mencetak produk dengan cara memanaskan bahan pada *nozzle* kemudian dicetak dengan teknik *layer by layer*. Filamen *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam teknologi 3D *printing* dan memiliki suhu leleh yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter yang optimum dan kombinasi level optimum parameter pada produk 3D *printing* dengan bahan ABS menggunakan metode Taguchi.

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen *orthogonal arrays* L9 (3³) dimana terdapat sembilan percobaan dengan tiga parameter proses yang digunakan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width*, dan *infill density* serta dengan tiga level pada setiap parameter (230°C, 235°C, 240°C, 0.3mm 0.35mm, 0.4mm, 25%, 50%, 75%). Respon yang digunakan pada penelitian ini adalah akurasi dimensi (LO, WO, w dan T) dan kekuatan tarik, selanjutnya data hasil respon dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

Berdasarkan SNR dan ANOVA hasil yang diperoleh menunjukkan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh *nozzle temperature* sedangkan pada respon kekuatan tarik dipengaruhi oleh parameter proses *infill density* dan diikuti oleh *nozzle temperature*. Berdasarkan eksperimen konfirmasi terhadap respon kekuatan tarik menggunakan kombinasi level parameter proses optimum yang dihasilkan dari metode Taguchi menunjukkan hasil yang secara signifikan dapat memperbaiki kekuatan tarik produk ABS dengan nilai tegangan tarik sebesar 21,76 MPa pada interval kepercayaan (CI) 95%.

Kata kunci : 3D *Printing*, ABS, *Nozzle temperature*, *extrusion width*, *infill density*, Taguchi, Kekuatan Tarik, Akurasi dimensi

Pendahuluan

Perkembangan teknologi pada saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya adalah teknologi 3D *printing* atau juga dikenal sebagai *additive manufacturing*. Teknologi 3D *printing* adalah proses pembuatan benda padat dari sebuah *file* digital. Proses pencetakan objek tiga dimensi ini dikenal sebagai *additive process* (Mahamood dkk, 2016). Teknologi 3D *printing* yang menggunakan *additive manufacturing process* dimana produk dibuat atau dicetak berdasarkan lapis demi lapis (*layer by layer*) dengan serangkaian *cross sectional slices* (Barry, 2012).

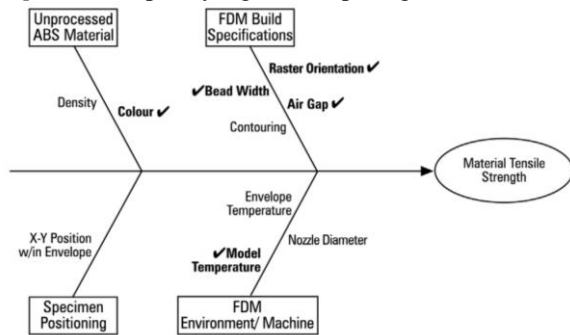
Bahan ABS mempunyai karakteristik nilai leleh yang tinggi diantara 220°C sampai 260°C dengan besar penyusutan yang tinggi, selain itu dalam dunia industri manufaktur, dan kehidupan sehari – hari, bahan ABS sudah banyak digunakan sehingga segala informasi tentang bahan tersebut sangat dibutuhkan. Dari segi harga, material ABS cukup murah sehingga memungkinkan untuk pembuatan prototype dan material ABS juga tersedia dalam beberapa warna yang akan menjadikan objek 3D *printing* terkesan lebih menarik. Dalam penelitian ini penulis memfokuskan pada pengaruh variasi parameter proses dengan bahan yang tahan suhu tinggi yaitu ABS. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *temperature nozzle*, *extrusion width*, *infill density*. Metode yang digunakan dengan pendekatan metode Taguchi untuk mengetahui pengaruh setiap parameter yang dimasukkan. Kemudian akan diolah dengan *software* Minitab untuk mengetahui jumlah percobaan dan variasi yang disesuaikan dengan jumlah level yang

digunakan pada penelitian. Selanjutnya bahan uji yang telah dicetak dengan mesin 3D *printer* akan dilakukan pengukuran akurasi dimensi dan uji kekuatan tarik untuk mengetahui sifat mekanik dari produk 3D *printing*. Penelitian ini juga menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) untuk mengidentifikasi pentingnya masing – masing variasi parameter terhadap kualitas produk.

Penelitian tentang akibat dari *infill parameter* yang tepat pada teknologi FDM dilakukan oleh Abbas, dkk (2017). Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar parameter *infill density* yang digunakan, maka akan memperbesar kekuatan tekan pada 90° dan waktu *printing* akan semakin lama. Pada penelitian ini parameter *infill density* yang terbaik adalah 80% dengan kekuatan tekan sebesar 30 Mpa dengan mengikuti spesifikasi ASTM D695.

Lee, dkk (2005) telah melakukan percobaan untuk mengetahui parameter proses yang optimal menggunakan mesin FDM dengan berbasis RP agar bisa memaksimalkan fleksibilitas dari *prototype*. Pada percobaan ini, mereka menggunakan metode Taguchi untuk membuat *design of experiments* (DOE). Mereka juga menggunakan *signal to noise* (S/N) *ratio* dan *analysis of varians* (ANOVA) untuk mengetahui dan menganalisis parameter proses yang sesuai agar mendapatkan nilai elastis yang optimal untuk ABS *prototype*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa parameter proses *layer thickness*, *raster angle*, dan *air gap* secara signifikan dapat mempengaruhi nilai elastisitas ABS *prototype*.

Perbuatan *prototype* yang dibuat dengan cara fabrikasi dapat terdiri dari berbagai macam model dan material. Stratasys FDM merupakan salah satu tipe RP yang dapat membuat *prototype* dengan bahan plastik ABS. Dalam penelitian yang dilakukan Ahn, dkk (2002), *dog bone* yang mereka buat sesuai standar ASTM D638 dengan fabrikasi FDM 1650 dengan pengaturan parameter tertentu untuk mendapatkan sifat material. Parameter yang digunakan adalah *raster orientation*, *air gap*, *bead width*, *color*, dan *model temperature* seperti yang terlihat pada gambar 2.1



Gambar 1. *Fish bone diagram* yang berpengaruh pada *tensile strength*.

(Sumber : Soon-Hoon Ahn 2002)

Penelitian ini menggunakan *DOE Approach* dengan membandingkan hasil *tensile strengths* dan *compressive strengths* dari ASTM D638 dengan *injection molding* FDM ABS P400 material. Hasil yang didapatkan adalah *tensile strength* dengan *ranged* diantara 65 sampai 72 persen dari *injection molding* ABS P400 dan *compressive strength* diantara 80 sampai 90 persen dari *injection molding* ABS P400. Beberapa nilai atau parameter yang digunakan merupakan hasil dari percobaan (trial).

Sukindar (2017) melakukan penelitian pada proses *impact* dengan menganalisis hasil kekuatan tarik menggunakan mesin 3D printer dan software Repetier-Host. *Replicating Rapid Prototyper* (RepRap) adalah suatu *open source* yang telah berevolusi dari mesin 3D printer yang berbasis RP. Pada penelitian ini menggunakan tiga parameter yaitu *layer thickness*, *shell thickness*, dan *printing speed*. Penelitian ini menggunakan analisis SNR dan ANOVA. Hasil yang didapatkan dari analisis ANOVA adalah parameter *shell thickness* berpengaruh terhadap hasil kekuatan tarik.

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, nilai *tensile strength* dalam uji tarik dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya *nozzle temperature*, *extrusion width* dan *infill density*. Kombinasi nilai parameter masih perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan parameter yang optimal terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Pada penelitian hasil pengujian tarik akan dilakukan analisis dengan metode *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Analysis of Varians* (ANOVA).

Dasar Teori Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dan dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber-sumber

seminimal mungkin. Metode Taguchi mempunyai beberapa keunggulan yaitu desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah. Desain eksperimen Taguchi memiliki suatu proses yang menghasilkan produk konsisten dan kokoh terhadap faktor yang sulit dikontrol. Metode Taguchi juga menghasilkan faktor yang mengenai respon yang optimal.

Metode Taguchi juga mempunyai kekurangan dari metode yang lain diantaranya yaitu metode ini mempunyai struktur yang kompleks. Untuk mengatasi kekurangan itu diperlukan rancangan percobaan yang lebih hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

SNR

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep SNR (*Signal to Noise Ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. SNR diformulasi untuk memilih nilai level faktor untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Oleh karenanya metode perhitungan SNR tergantung pada karakteristik kualitas, apakah responnya semakin kecil, semakin baik, semakin besar semakin baik, atau tertuju pada nilai tertentu (Soejanto, 2009: 141). Berikut adalah perhitungan SNR menurut tipe karakteristik yang dituju pada penelitian.

a. *Smaller is better* (STB)

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

keterangan:

n : jumlah pengulangan dari suatu percobaan
y_i : data pengamatan ke-i

b. *Larger is better* (LTB)

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

keterangan:

n : jumlah pengulangan eksperimen
y_i : data pengamatan ke-i

c. *Nominal is best* (NTB)

$$SN_{NTB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots \dots \dots (3)$$

keterangan:

μ : mean
σ : deviasi

ANOVA

Menurut Soejanto, (2009) ANOVA atau analisis varians adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika. Analisis varian pada *orthogonal arrays* dilakukan dengan perhitungan yang didasarkan pada jumlah kuadrat (*sum of square*) pada masing-masing kolom. Rumus perhitungan jumlah kuadrat pada analisis varians adalah sebagai berikut:

a. Jumlah Kuadrat Total (S_{qT})

$$S_{qT} = \sum_{i=1}^N y^2 \dots \dots \dots (4)$$

keterangan:

N: jumlah percobaan
y : data percobaan.

b. Jumlah Kuadrat Faktor (S_{qA})

$$S_{qA} = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (5)$$

keterangan:

A_i : level ke i pada faktor A

n_{Ai} : jumlah percobaan untuk level ke i pada faktor ke A

c. Jumlah Kuadrat Error (Sq_e)

$$Sq_e = Sq_T - Sq_A \dots \dots \dots (6)$$

keterangan:

Sq_T : *Sum of Squares* total

Sq_A : *Sum of Squares* faktor ke A

d. Jumlah Kuadrat Rata-Rata (Sq_m)

$$Sq_m = n \times \hat{y}^2 \dots \dots \dots (7)$$

keterangan:

n : jumlah percobaan

\hat{y}^2 : rata-rata data hasil percobaan

e. Jumlah Kuadrat Total Faktor (S_t)

$$S_t = Sq_A + Sq_e \dots \dots \dots (8)$$

keterangan:

Sq_m : jumlah kuadrat karena rata-rata

Sq_A : jumlah kuadrat karena faktor ke A

f. Persen Kontribusi (ρ)

$$Sq'_A = SS_A - (Mqe \times DfA) \dots \dots \dots (9)$$

$$\rho = \frac{Sq'_A}{S_t} \times 100\% \dots \dots \dots (10)$$

keterangan:

Sq'_A : jumlah kuadrat murni untuk faktor A

Sq_A : *sum of squares* faktor A

Mqe : *mean squares error*

DfA : derajat kebebasan faktor A

S_t : *sum of squares* total faktor

ρ : persen kontribusi

Acrylonitrile Butadiene Styrene

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Acrylonitril butadiene styrene* (ABS) polimer yang berbasis minyak bumi, memiliki rumus kimia $(C_8H_8)_x (C_4H_6)_y (C_3H_3N)_z$. Material ABS memiliki sifat *higroskopis* dan menyerap kelembapan dalam proporsi kelembapan lingkungan. Temperatur leleh filamen ABS ini antara $220^\circ C - 260^\circ C$, temperatur leleh ini harus sering diperiksa dan dikontrol agar tidak melebihi suhu yang telah direkomendasikan. Untuk menghindari *bending* dan *warping* penggunaan bahan ABS pada *bed* dapat diatur pada suhu $80^\circ C - 115^\circ C$ agar hasil pencetakan dapat mengkilap dan halus.

Uji Tarik

Pengujian tarik banyak dilakukan bertujuan yaitu melengkapi suatu informasi kekuatan dasar bahan dan digunakan untuk data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada pengujian tarik benda di uji dengan diberi beban gaya tarik sumbu yang secara terus bertambah, di waktu yang sama dilakukan pengamatan perpanjangan benda yang sedang di uji. Dalam pengujian menggunakan standar ASTM D638 tipe 1, untuk tegangan tarik dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.11)$$

keterangan:

σ : Tegangan Tarik (MPa)

F : Beban Tarik Maksimum (N)

A : Luas Penampang (mm^2)

Sesuai dengan standar ASTM D638 tipe 1, bahwa perlu diperhatikannya kecepatan saat pengujian tarik karena terpengaruhnya terhadap waktu dan besaran regangan

yang terjadi. Adapun kecepatan uji tarik ini adalah 5 mm/min karena tingkat ketelitiannya akurat dan sesuai dengan standar ASTM D638 tipe I. Kecepatan yang berbeda berpengaruh pada saat pengujian terutama pada regangan yang ditunjukkan.



Gambar 2 Universal Testing Machine (UTM)

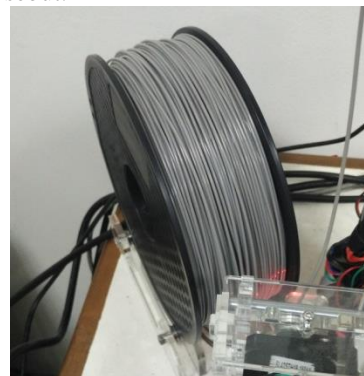
Metode Penelitian

Prosedur penelitian

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui parameter yang berpengaruh pada produk 3D printer dengan bahan ABS. Langkah awal adalah membuat gambar tiga dimensi (CAD) menggunakan *software* Inventor Profesional dengan format *.OBJ file*. Selanjutnya mengolah data pengaturan parameter dengan metode DOE pada *software* Minitab, kemudian memasukan pengaturan parameter pada *software* Slic3r. Kemudian melakukan proses *slicing* dengan *software* Repitier-Host selanjutnya melakukan proses cetak benda kerja. Spesimen yang telah jadi selanjutnya dilakukan pengukuran akurasi dimensi, pengukuran massa dan pengambilan data pengujian kekuatan tarik. Dari data-data yang didapat diolah dan dilakukan analisis perbandingan menggunakan metode *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Analysis Varians* (ANOVA).

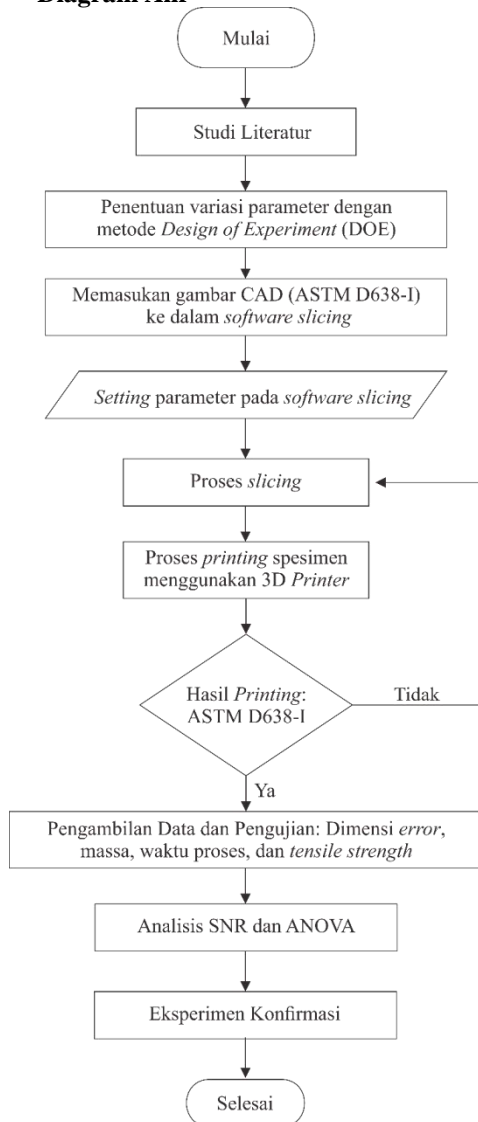
Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material plastik berbentuk filamen dengan diameter filamen 1,75 mm. Dalam penelitian ini filamen yang digunakan adalah berbahan *acrylonitril butadiene styrene* (ABS) berwarna abu – abu. Berikut ini gambar 3 filamen tersebut.



Gambar 3 Filamen ABS

Diagram Alir



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Setting Parameter Proses

Untuk menentukan variasi parameter proses yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode DOE didapatkan tiga variasi dan tiga level perubahan. Berikut ini adalah parameter yang digunakan yaitu *nozzle temperature* (°C), *extrusion width* (mm), dan *infill density* (%). Besarnya nilai pada setiap level parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *data sheet* material ABS, pra-eksperimen dan dari studi literatur penelitian sebelumnya. Parameter proses dan level ditunjukkan pada tabel 1.

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzle temperature</i> (°C)	230	235	240
B	<i>Extrusion width</i> (mm)	0.3	0.35	0.4
C	<i>Infill density</i> (%)	25	50	75

Pada penelitian ini tidak semua parameter proses dapat dilakukan kontrol. Selain parameter proses yang meliputi *nozzle temperature* (°C), *extrusion width* (mm), dan *fill density* (%) besarnya nilai parameter lain

ditentukan oleh pengaturan *default* yang sudah tersedia dari program Slic3r dan berdasarkan hasil pra-eksperimen. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam proses analisis. Parameter proses yang diatur secara *default* ditunjukkan pada tabel 2, sedangkan tabel parameter proses *default* untuk kecepatan ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2. Parameter proses *default*

Parameter Proses	Unit	Values
<i>Layer Height</i>	Mm	0.2
<i>Perimeters</i>	-	3
<i>Solid Layer (top and bottom)</i>	-	3
<i>Top/bottom fill pattern</i>	-	<i>Rectilinear</i>
<i>Fill pattern</i>		<i>Honeycombs</i>
<i>Raster angle</i>	-	45°
<i>Print angle</i>	-	0°
<i>Feed rate</i>	mm/s	100
<i>Flow rate</i>	%	125

Tabel 3. Parameter proses untuk kecepatan

Kecepatan	Values
<i>Perimeters</i>	50 mm/s
<i>Small Perimeters</i>	15 mm/s
<i>External Perimeters</i>	50 %
<i>Infill</i>	40 mm/s
<i>Solid Infill</i>	20 mm/s
<i>Top Solid Infill</i>	15 mm/s
<i>Bridges</i>	40 mm/s

Dalam penelitian ini desain faktorial dibuat menggunakan *software* Minitab 17. Dalam metode Taguchi pada penelitian ini digunakan *array orthogonal* (AO) L9 (3³) yang berarti sembilan percobaan dimana ada empat parameter proses atau faktor dengan tiga perubahan variabel dalam setiap faktor parameter. Selanjutnya setiap faktor dilakukan replikasi sebanyak tiga kali. Berikut ini tabel desain faktorial penelitian ini.

Tabel 4 Desain Faktorial

NO	Parameter Proses		
	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Extrusion Width</i> (mm)	<i>Infill Density</i> (%)
1	230	0,3	25
2	230	0,35	50
3	230	0,4	75
4	235	0,3	50
5	235	0,35	75
6	235	0,4	25
7	240	0,3	75
8	240	0,35	25
9	240	0,4	50

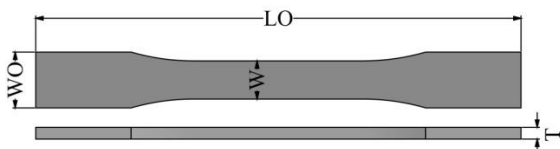
Desain spesimen digambar menggunakan *software* CAD yaitu Autodesk Inventor Profesional 2017. Desain yang dibuat menggunakan format .OBJ, hal ini dikarenakan format .OBJ dapat dibaca oleh *software slicing* Slic3r dan Repitier-Host. Standarisasi spesimen uji tarik untuk bahan plastik yang digunakan adalah ASTM D-638 tipe I dengan tebal 4 mm. Dimensi dari spesimen uji ASTM D-638 tipe I ditunjukkan pada tabel 3.8.



Gambar 5 Desain CAD

Tabel 5 Ukuran ASTM D-638 tipe I

Bagian	Ukuran (mm)
LO (<i>length overall</i>)	165
WO (<i>width overall</i>)	19
W (<i>width of narrow</i>)	13
R (<i>radius of fit</i>)	76
T (<i>thickness</i>)	4

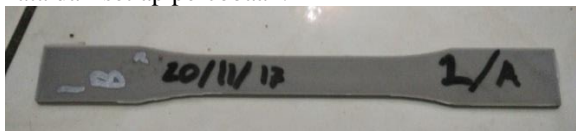


Gambar 6. Bagian spesimen yang diukur

Setelah desain sudah jadi, dilakukan proses *slicing* dan *setting* parameter pada *configuration*. Selanjutnya dilakukan proses pencetakan spesimen sebanyak 27 spesimen. Kemudian diuji tarik dan data hasil uji tarik dianalisis.

Hasil dan Analisis

Setelah 27 spesimen dicetak menggunakan alat 3D Printer maka perlu dilakukan penimbangan massa dan pencatatan waktu (lama pencetakan). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter proses terhadap hasil penimbangan massa dan lama pencetakan. Nilai yang didapatkan merupakan hasil rata – rata dari setiap percobaan.



Gambar 7 contoh hasil pencetakan spesimen

Tabel 6 hasil pengukuran massa dan waktu

Percobaan	Rata – Rata Massa(gr)	Waktu (menit)	Standar Deviasi
1	5,59	94	0,455
2	7,26	95	0,046
3	8,63	89	0,074
4	7,51	107	0,053
5	8,74	102	0,050
6	5,97	71	0,071
7	8,22	121	0,008
8	5,82	79	0,088
9	7,45	82	0,029

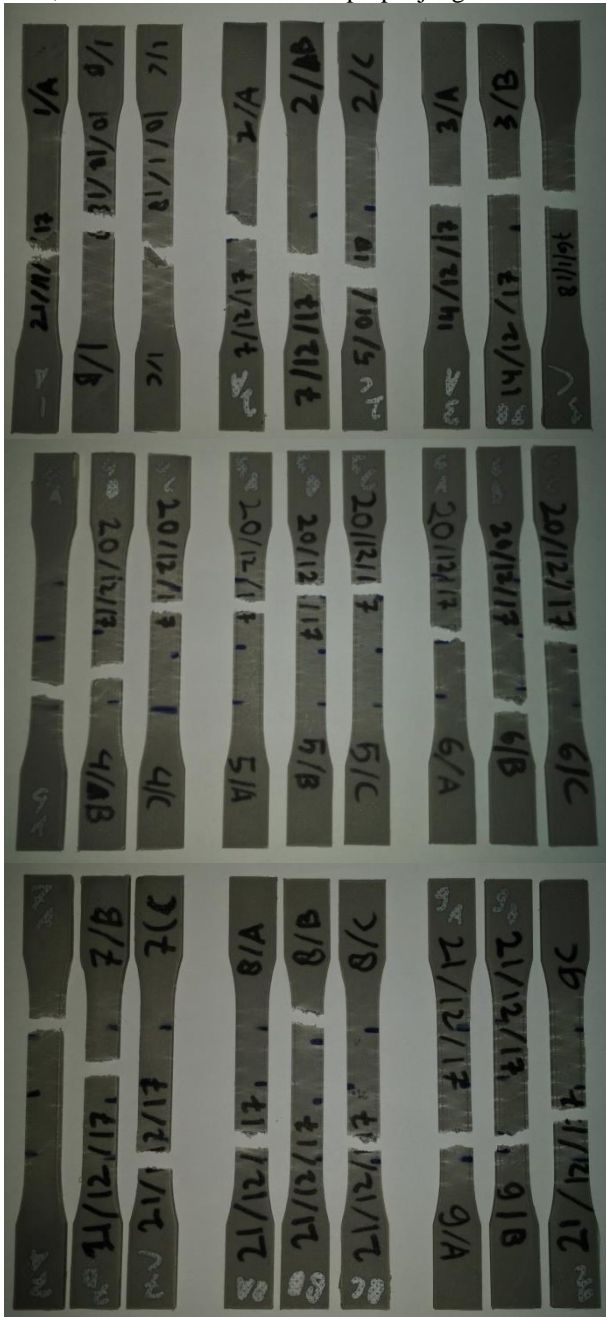
Untuk menganalisis hasil tabel SNR dan ANOVA, dibutuhkan data hasil pengukuran dimensi LO, WO, W, dan T. Hasil pengukuran dimensi merupakan hasil rata – rata dengan satuan millimeter. Berikut ini gambar panduan pengukuran dimensi, serta tabel hasil pengukuran dimensi.

Tabel hasil pengukuran dimensi

Percobaan	Length Overall (LO)		
	R1	R2	R3
1	165,60	165,40	165,50
2	165,70	165,60	165,40
3	165,30	165,40	164,90
4	165,15	165,30	165,10
5	165,30	165,60	165,20
6	165,00	164,90	165,15
7	164,70	165,15	164,75
8	165,20	165,30	165,30
9	165,12	165,10	165,00
Percobaan	Width Overall (WO)		
	R1	R2	R3
1	18,90	18,85	19,00
2	18,90	18,78	18,93
3	18,88	18,78	18,78
4	19,05	18,90	18,65
5	19,00	19,03	18,80
6	18,80	19,10	18,88
7	18,93	18,83	19,00
8	19,00	18,88	18,93
9	18,45	18,98	18,98
Percobaan	Width (w)		
	R1	R2	R3
1	13,00	13,18	13,07
2	13,04	13,03	13,03
3	12,80	12,87	12,87
4	13,33	13,08	13,07
5	13,19	13,25	13,04
6	13,10	13,18	12,86
7	12,98	12,86	12,85
8	13,02	13,13	12,99
9	12,95	12,83	12,79
Percobaan	Thickness (T)		
	R1	R2	R3
1	4,08	4,01	3,94
2	4,13	4,14	4,03
3	4,22	4,26	4,27
4	4,15	3,99	4,01
5	4,11	4,14	4,18
6	4,13	4,08	4,13
7	4,11	4,09	4,06
8	4,05	4,15	4,16
9	4,27	4,19	4,20

Hasil pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan di Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik (BBKPP) Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *tensile strength* dari spesimen. Metode pengujian yang dilakukan adalah sesuai standar ASTM, dengan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/menit. Berikut ini gambar hasil pengujian tarik, serta tabel nilai F_{max} dan perpanjangan.

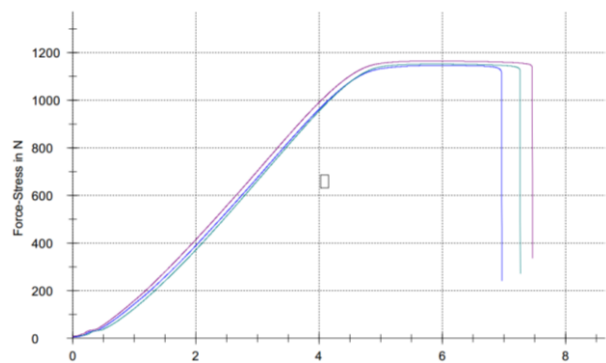


Gambar 8 spesimen hasil uji tarik

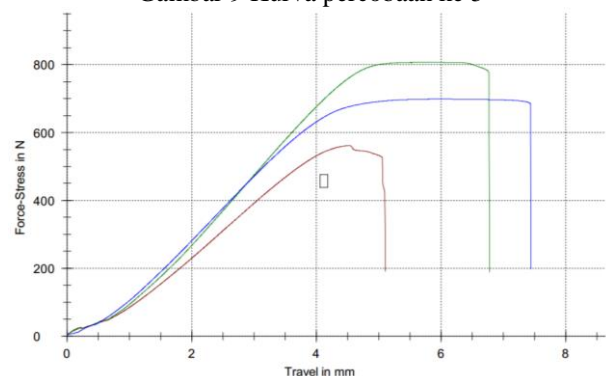
Tabel 8 Hasil Uji Tarik

No	F_{max} (Kgf)		
	R1	R2	R3
1	57,251	82,296	71,251
2	93,299	84,707	100,113
3	114,35	113,778	111,019
4	104,068	101,639	92,519
5	116,829	117,463	118,734
6	81,897	84,495	82,151
7	88,403	112,961	111,761
8	78,882	76,625	77,366
9	97,27	95,772	97,233
No	Δx (mm)		
	R1	R1	R1
1	5,1	5,1	5,1
2	5,89	5,89	5,89
3	5,37	5,37	5,37
4	5,83	5,83	5,83
5	6,97	6,97	6,97
6	6,15	6,15	6,15
7	7,28	7,28	7,28
8	5,82	5,82	5,82
9	7,13	7,13	7,13

Berdasarkan data tabel hasil pengujian tarik, nilai F_{max} terbesar terdapat pada percobaan ke 5 (R3) dengan nilai 118,734 Kgf dan nilai F_{max} terkecil terdapat pada percobaan ke 1 (R1) dengan nilai 57,251 Kgf. Sedangkan nilai perpanjangan spesimen terbesar terdapat pada percobaan ke 4 (R3) dengan nilai 8,12 mm dan nilai perpanjangan terkecil terdapat pada percobaan ke 1 (R1). Berikut ini kurva hasil pengujian tarik pada spesimen dengan nilai F_{max} terkecil dan F_{max} terbesar.



Gambar 9 Kurva percobaan ke 5



Gambar 10 Kurva percobaan ke 1

Selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan tarik terhadap semua percobaan. Data hasil perhitungan TS ditunjukkan tabel berikut.

Tabel 9 Hasil Perhitungan *tensile strength*

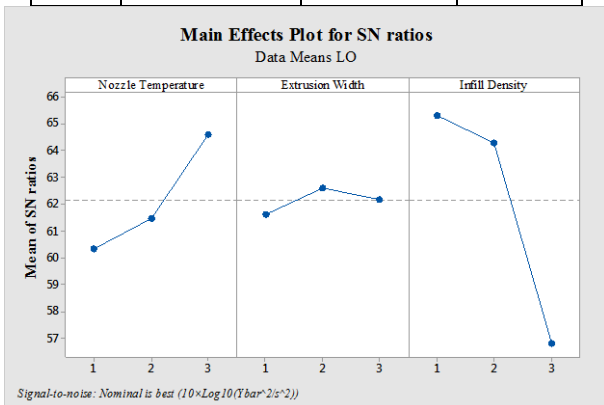
Perco baan	<i>Tensile Strength</i> (MPa)			Rata – rata (MPa)	Standar Deviasi
	R1	R2	R3		
1	10,58	15,26	13,57	13,14	1,94
2	17,00	15,41	18,69	17,03	1,34
3	20,78	20,35	19,82	20,32	0,40
4	18,43	19,11	17,30	18,28	0,75
5	21,15	21,02	21,35	21,17	0,14
6	14,86	15,41	15,18	15,15	0,22
7	16,25	21,08	21,03	19,45	2,26
8	14,69	13,80	14,05	14,18	0,38
9	17,24	17,46	17,76	17,49	0,21

Analisis SNR

Untuk mendapatkan nilai dan grafik SNR (*signal to noise ratio*) yaitu menggunakan aplikasi minitab dimana data yang dimasukkan merupakan nilai rata – rata (*mean*) dari tiga *replikasi* (pengulangan) yaitu R1, R2, dan R3. Dalam hal ini penggunaan SNR perlu dilakukan karena untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil respon. Sesuai dengan tujuan penelitian ini, untuk mengetahui parameter yang berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik, maka analisis SNR menggunakan aplikasi Minitab 2017. Hasil dari aplikasi minitab berupa tabel respon dan grafik *main effect*.

Tabel 10 Respon dimensi LO

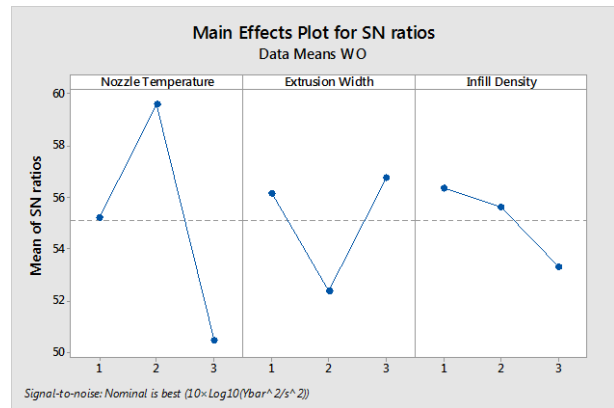
Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Infill Density
1	60,39	61,82	65,54
2	61,57	62,71	64,61
3	64,89	62,17	56,96
Delta	4,50	0,89	8,58
Rank	2	3	1



Gambar 11 Grafik *main effect plot* dimensi LO

Tabel 11 respon dimensi WO

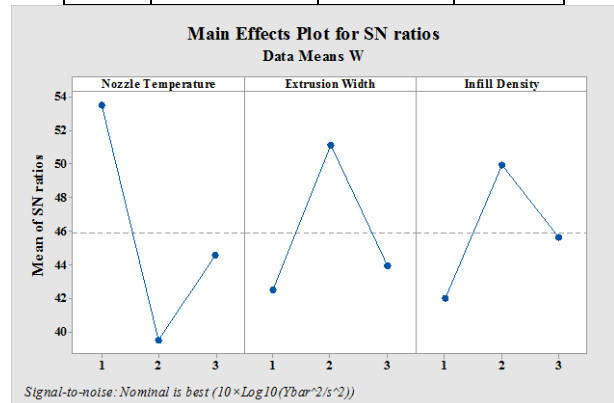
Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Infill Density
1	55,22	56,17	56,37
2	59,61	52,39	55,61
3	50,47	56,77	53,33
Delta	9,13	4,42	3,04
Rank	1	2	3



Gambar 12 Grafik *main effect plot* dimensi LO

Tabel 12 Respon dimensi W

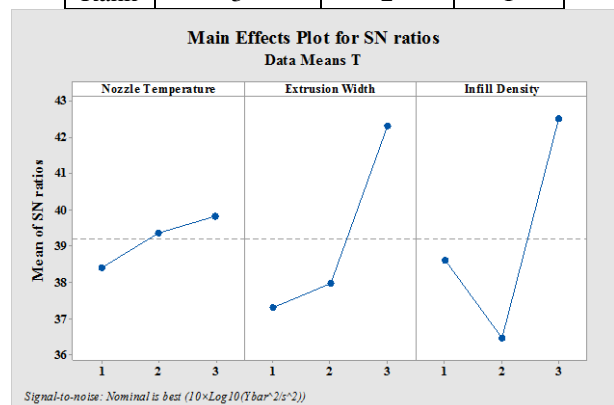
Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Infill Density
1	53,59	42,89	42,31
2	39,94	51,23	49,96
3	44,61	44,11	45,94
Delta	13,65	8,34	7,65
Rank	1	2	3



Gambar 13 Grafik *main effect plot* dimensi W

Tabel 13 Respon dimensi T

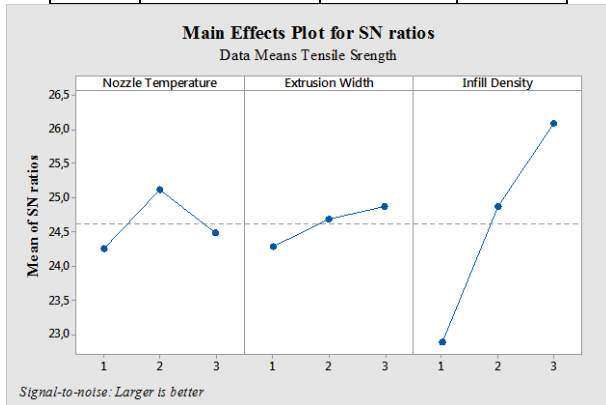
Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Infill Density
1	38,24	37,46	38,37
2	39,42	37,97	36,44
3	39,89	42,34	42,47
Delta	1,65	4,88	6,03
Rank	3	2	1



Gambar 14 Grafik *main effect plot* dimensi T

Tabel 14 Respon Kekuatan Tarik

Level	Nozzle Temperature	Extrusion Width	Infill Density
1	24,25	24,29	22,90
2	25,11	24,70	24,87
3	24,49	24,86	26,08
Delta	0,86	0,58	3,19
Rank	2	3	1



Gambar 15 Grafik main effect plot dimensi TS

Berdasarkan tabel 10 – 14 dapat diketahui urutan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon dimensi dan kekuatan tarik. Berikut ini tabel parameter proses yang optimum berdasarkan SNR dan tabel nilai parameter optimum dari respon dimensi dan kekuatan tarik (TS)

Tabel 15 Nilai optimum dari respon dimensi dan TS

Dimensi	Nozzle Temperature (°C)	Extrusion Width (mm)	Infill Density (%)
LO	240	0,35	25
W	230	0,35	50
WO	235	0,4	25
T	240	0,4	75
TS	235	0,4	75

Tabel 16 Parameter proses optimum berdasarkan SNR

Rank	Dimensi LO	Dimensi WO	Dimensi W	Dimensi T	Tensile strength
1	Infill density	Nozzle temperature	Nozzle temperature	Infill density	Infill density
2	Nozzle temperature	Extrusion width	Extrusion width	Extrusion width	Nozzle temperature
3	Extrusion width	Infill density	Infill density	Nozzle temperature	Extrusion width

Analisis ANOVA

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians. Ada beberapa klasifikasi yang dihitung pada

analisis ANOVA meliputi ST, Mq, Sq_A (setiap faktor), S_e, F-ratio, Df, Sq', P-value, dan ρ%. Pada penelitian ini ditentukan nilai critical significant atau alpha-error sebesar α: 0.05 (5%). Berikut ini tabel hasil perhitungan ANOVA.

Tabel 17 Hasil perhitungan ANOVA dimensi LO

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Nozzle Temperature	0,581	2	0,291	9,61	0,521	0,001	30,32
Extrusion width	0,439	2	0,220	7,27	0,379	0,003	22,07
Infill Density	0,092	2	0,046	1,52	0,032	0,237	1,84
e	0,605	20	0,030	1,00	0,786	-	45,78
St	1,717	26	0,066	-	1,717	-	100
Mean	737095,99	2	-	-	-	-	-
ST	737097,70	27	-	-	-	-	-

Tabel 18 Hasil Perhitungan ANOVA dimensi WO

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Nozzle Temperature	0,149	2	0,074	45,87	0,145	0,000	45,52
Extrusion width	0,117	2	0,058	36,10	0,114	0,000	35,60
Infill Density	0,021	2	0,011	6,61	0,018	0,006	5,69
e	0,032	20	0,002	1,00	0,042	-	13,19
St	0,319	26	0,012	-	0,319	-	100
Mean	9766,01	2	-	-	-	-	-
ST	9766,33	27	-	-	-	-	-

Tabel 19 Hasil perhitungan ANOVA dimensi W

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Nozzle Temperature	0,170	2	0,085	9,26	0,152	0,001	28,82
Extrusion width	0,134	2	0,067	7,28	0,115	0,004	21,93
Infill Density	0,039	2	0,019	2,11	0,020	0,148	3,87
e	0,184	20	0,009	1,00	0,239	-	45,38
St	0,527	26	0,020	-	0,527	-	100
Mean	4573,32	2	-	-	-	-	-
ST	4573,85	27	-	-	-	-	-

Tabel 20 Hasil Perhitungan ANOVA dimensi T

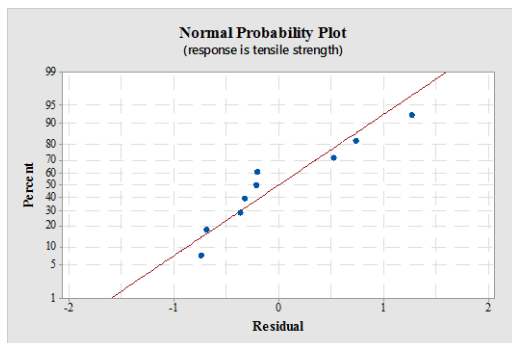
Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Nozzle Temperature	0,007	2	0,004	1,17	0,001	0,331	0,54
Extrusion width	0,094	2	0,047	15,58	0,088	0,000	46,44
Infill Density	0,028	2	0,014	4,65	0,022	0,022	11,63
e	0,060	20	0,003	1,00	0,078	-	41,39
St	0,189	26	0,007	-	0,189	-	100
Mean	458,39	2	-	-	-	-	-
ST	458,58	27	-	-	-	-	-

Tabel 21 Hasil perhitungan ANOVA tensile strength

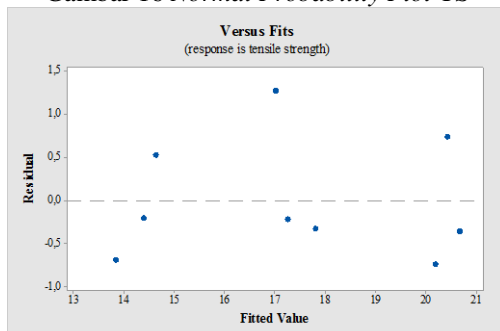
Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Nozzle Temperature	9,836	2	4,918	2,76	6,274	0,087	2,86
Extrusion width	2,321	2	1,160	0,65	-1,241	0,532	-0,57
Infill Density	171,541	2	85,771	48,17	167,980	0,000	76,59
e	35,615	20	1,781	1,00	46,300	-	21,11
St	219,313	26	8,435	-	219,313	-	100
Mean	8133,64	2	-	-	-	-	-
ST	8352,95	27	-	-	-	-	-

Tabel 22 Parameter optimum berdasarkan ANOVA

Rank	Dimensi LO	Dimensi WO	Dimensi W	Dimensi T	Tensile strength
1	Nozzle temperature	Nozzle temperature	Nozzle temperature	Extrusion width	Infill density
2	Extrusion Width	Extrusion Width	Extrusion width	Infill density	Nozzle temperature
3	Infill density	Infill density	Infill density	Nozzle temperature	Extrusion width



Gambar 16 Normal Probability Plot TS



Gambar 17 Versus Fits TS

Berdasarkan gambar 16 hasil dari kurva yang didapat adalah normal, karena data yang terdistribusi mendekati garis atau membentuk pola segaris. Selanjutnya pada gambar 17 data yang didapatkan tidak membentuk *pattern* tertentu dan terlihat acak sehingga data yang didapatkan pada penelitian ini terbukti normal dan memiliki variasi yang konstan.

Eksperimen Konfirmasi

Tabel 23 Level optimum untuk respon kekuatan tarik

Parameter Proses	Level Optimum
Nozzle Temperature	235 °C
Extrusion Width	0.4 mm
Infill Density	75 %

Berdasarkan tabel 23 dapat diketahui level yang optimum untuk respon kekuatan tarik, namun level parameter tersebut tidak ada pada DOE yang sudah dilakukan percobaan sehingga hal ini harus dilakukan eksperimen konfirmasi dengan membuat produk sesuai level optimum pada tabel 23.

Tabel 24 Hasil ANOVA perhitungan akhir

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Nozzle Temperature	9,836	2	4,918	2,85	6,388	0,079	2,91
Infill Density	171,541	2	85,771	49,74	168,093	0,000	76,65
e	37,936	22	1,781	1,00	44,830	-	20,44
St	219,310	26	8,435	-	219,310	-	100
Mean	8133,64	2	-	-	-	-	-
ST	8352,95	27	-	-	-	-	-

Interval kepercayaan adalah nilai batas minimum dan maksimum dimana penelitian ini mengharapkan hasil sebenarnya akan berada di dalam interval kepercayaan tersebut. *Confidence interval* (CI) atau tingkat kepercayaan ditentukan sebesar 95% atau α : 0.05 yang berarti 95% dari rata-rata hasil akan berada di antara interval yang ditentukan. Nilai α : 0.05 digunakan untuk mencari nilai F-tabel pada tabel distribusi F yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan CI. Berikut hasil perhitungan nilai μ dan CI.

$$\mu_{\text{prediksi}} - CI \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI$$

$$21.45 - 1.386 \leq 21.45 \leq 21.45 + 1.386$$

$$20.0598 \text{ MPa} \leq 21.45 \text{ MPa} \leq 22.83248 \text{ MPa}$$

Hasil dan Analisis Eksperimen Konfirmasi

Pada tahap eksperimen konfirmasi diperlukan data analisis prediksi untuk memperkirakan nilai tegangan tarik yang akan didapatkan. Selanjutnya pada analisis eksperimen konfirmasi dilakukan pembuatan spesimen yaitu satu kali percobaan dengan tiga kali pengulangan, berikut ini hasil dari eksperimen konfirmasi.



Gambar 18 Spesimen eksperimen konfirmasi.

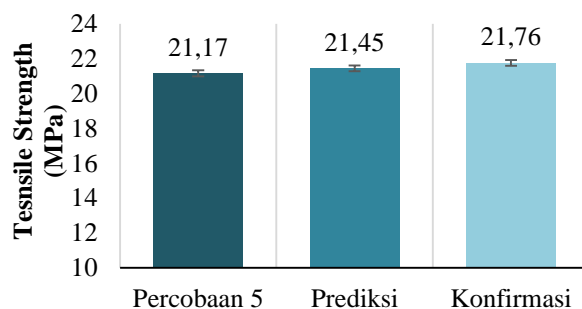
Pada gambar 18 diatas terlihat potongan atau patahan setelah pengujian tarik masih didalam *gage length* dengan jarak 5 cm. Sehingga hal tersebut masih dianggap aman dan sesuai dengan harapan. Berikut ini nilai *tensile strength* pada spesimen eksperimen konfirmasi setelah dilakukan uji tarik dan perhitungan.

Tabel 25 Hasil eksperimen konfirmasi

Spesimen	Fmax (Kgf)	Δx mm	Luas mm ²	Tensile strength MPa	Rata rata MPa	Standar deviasi
A	115,627	7,36	52,66	21,53	21,76	0,45
B	116,376	7,96	53,46	21,34		
C	120,793	7,32	52,82	22,42		

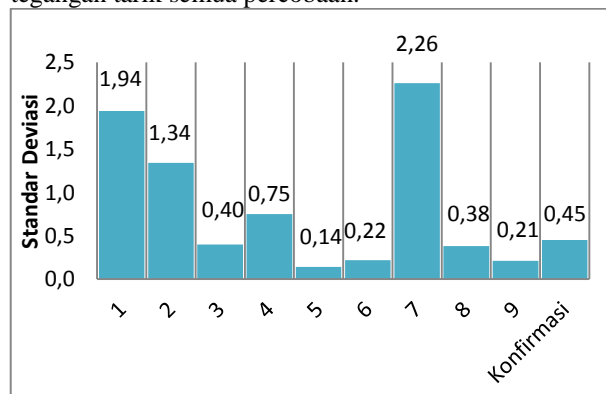
Berdasarkan tabel 4.29 dapat diketahui nilai *tensile strength* yang didapatkan sebesar 21,76 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik dari eksperimen konfirmasi melebihi nilai prediksi dimana hasil berada pada interval kepercayaan dan prediksi sehingga nilai tegangan tarik tersebut memenuhi syarat tingkat kepercayaan sebesar 95%.

Berikut ini diagram batang perbandingan nilai tegangan tarik terbesar, prediksi dan hasil eksperimen konfirmasi.



Gambar 19 Diagram batang perbandingan nilai tegangan tarik.

Berdasarkan diagram diatas, menunjukkan hasil perbandingan nilai tegangan tarik dimana percobaan ke 5 sebagai nilai terkecil dengan nilai 21,17 MPa. Pada diagram tersebut juga menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi melebihi nilai prediksi dan juga nilai percobaan ke 5 sehingga hal tersebut membuktikan bahwa level parameter eksperimen konfirmasi merupakan level parameter yang optimum. Berikut ini perbandingan nilai standar deviasi dari nilai tegangan tarik semua percobaan.



Gambar 20 Diagram batang perbandingan nilai standar deviasi

Berdasarkan diagram batang diatas menunjukkan bahwa nilai standar deviasi dari semua percobaan atau eksperimen memiliki tingkat variasi data yang berbeda – beda dengan nilai standar deviasi terkecil pada percobaan kelima. Nilai standar deviasi pada eksperimen konfirmasi lebih besar dibandingkan dengan percobaan kelima hal ini dikarenakan pada eksperimen konfirmasi memiliki nilai tegangan tarik, dimensi dan hasil patahan yang bervariasi. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan tarik, hasil dari eksperimen konfirmasi lebih besar dibandingkan dengan percobaan kelima sehingga optimasi parameter yang

dihasilkan menggunakan metode taguchi terbukti dapat meningkatkan kualitas produk pada kekuatan tarik. Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan produk juga dapat dipercepat sehingga biaya yang dikeluarkan akan semakin sedikit. Kemudian hasil dari kombinasi level parameter juga dapat digunakan untuk mendesain sebuah produk yang ringan dan hemat material, karena hasil cetakan tidak sepenuhnya terisi oleh material.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi produk 3D *printing* dengan bahan ABS adalah *nozzle temperature* dan *extrusion width* dengan rata – rata kontribusi sebesar 27% dan 32% berdasarkan analisis ANOVA
2. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D *printing* dengan bahan ABS adalah *infill density* dengan kontribusi paling besar yaitu 77% berdasarkan analisis ANOVA
3. Kombinasi level parameter proses yang paling optimum pada respon akurasi dimensi LO adalah *nozzle temperature* (240°C) *extrusion width* (0,35 mm) *infill density* (25%), WO *nozzle temperature* (235°C) *extrusion width* (0,4 mm) *infill density* (25%), w *nozzle temperature* (230°C) *extrusion width* (0,35 mm) *infill density* (50%), dan T *nozzle temperature* (240°C) *extrusion width* (0,4 mm) *infill density* (75%).
4. Kombinasi level parameter proses yang paling optimum pada respon kekuatan tarik adalah *nozzle temperature* (235°C) *extrusion width* (0,4 mm) dan *infill density* (75%).
5. Kombinasi level parameter proses pada eksperimen konfirmasi terbukti dapat meningkatkan kualitas produk 3D *printing* dengan memperbaiki nilai kekuatan tarik atau tegangan tarik sebesar 21,76 MPa yang berada pada interval kepercayaan dengan memenuhi 95% tingkat kepercayaan.

Daftar Pustaka

- Ahn, Sung H., M. Montero., D. Odell., S. Roundy., P. K. Wright. (2002). *Anisotropic Material Properties of Fused Deposition Modelling ABS*. *Rapid Prototyping Journal*, Vol.8 Iss: 4 pp. 248-257.
- Ariffin, M. K. A., N. A Sukindar., B. T. H T Baharudin., C N A Jaafar., dan M I S Ismail.(2017). *Slicer Method Comparison Using Open-source 3D Printer*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 114 (2018) 012018.
- B. Barry and F. G. Zarb, "3-D printing: The new industrial revolution," Elsevier, pp. 155-162, 2012.
- Lee, B. H., J. Abdullah., dan Z. A. Khan. (2005). *Optimization of Rapid Prototyping Parameters for Production of Flexible ABS Project*. *Jornal*

of Materials Processing Technology 169 (2005) 54-61.

- Mahamood, S., M. A. Khader dan H. Ali. (2016) *Applications of 3-D printing in orthodontics: A Review*. *International Journal of Scientific Study*, vol. 3, no. 11, p. 267.
- Mahardika, Adimas H. (2017). Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D-Printing PLA Material Terhadap Respon Akurasi Simensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta : Yogyakarta.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- 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*. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12, 3341-3346.
- Sukindar, N. A., M. K. A. Ariffin, B. T. Hang Tuah Baharudin, Che Nor Aiza Jaafar, dan Mohd Idris Shah Ismail. (2015). *Analyzing the Effect of Nozzle Diameter in Fused Deposition Modeling for Extruding Polylactic Acid Using Open Source 3D Printing*. eISSN 2180-3722.