

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

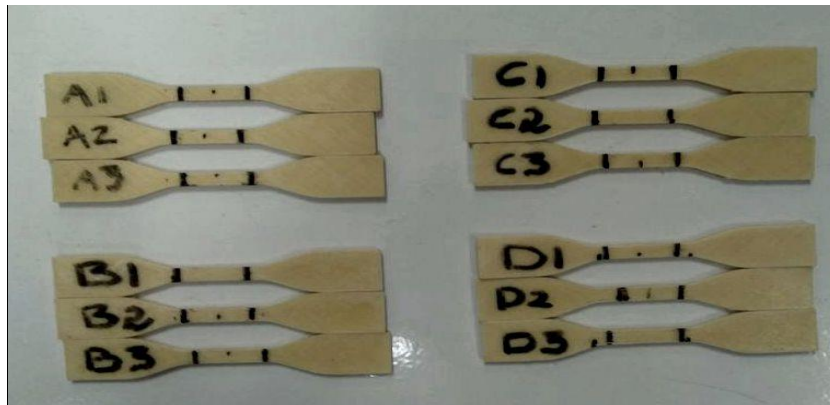
#### 4.1. Hasil Penelitian

Pada penelitian ini level parameter yang digunakan didapat dari hasil *Pra-Eksperimen* yang telah dilakukan. Parameter *nozzle temperature* didapat dengan hasil pencetakan terbaik pada temperatur 180 °C sehingga dijadikan sebagai level 1, sedangkan pada temperatur 200 °C menghasilkan lapisan yang kurang begitu baik Hal ini dapat disebabkan karena material PVA memiliki sifat yang rentan terhadap perlakuan panas sehingga proses *printing* kurang maksimal, dan ketika dilakukan *printing* pada temperature 170 °C hasil ekstrusi kurang begitu baik, dikarenakan filament tidak terekstrusi secara sempurna. Pada parameter *extrusion width* dari hasil *Pra-Eksperimen* yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa penggunaan nilai *extrusion width* sebesar 0.2 pada material PVA tidak menghasilkan ikatan yang baik pada saat proses *printing* dilakukan. Hal tersebut terjadi karena *line* hasil dari ekstrusi terlalu kecil, sehingga pada saat proses *printing* dengan menggunakan *extrusion width* 0.2 pembentukan ekstrusinya tidak sempurna dan terdapat beberapa ekstrusi yang tidak keluar karena diameternya terlalu kecil, sehingga merusak tumpukan filament yang terbentuk sebelumnya pada saat *printing*, namun dengan menggunakan *extrusion width* 0.3 dan 0.4 akan menghasilkan kualitas spesimen yang lebih baik.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan 12 spesimen ASTM D638 tipe IV dari 4 percobaan dengan 3 replikasi pada setiap percobaan yang dicetak menggunakan mesin 3D *printing*. Selanjutnya dilakukan pengambilan data yang meliputi massa, dimensi, waktu proses, dan pengujian Tarik. Tabel desain eksperimen (DOE) ditunjukkan pada tabel 4.1 dan hasil pencetakan ditunjukkan pada gambar 4.1.

Tabel 4.1. Desain eksperimen

Percobaan	Parameter proses	
	<i>Nozzle temperature</i> (°C)	<i>Extrusion width</i> (mm)
1	180	0.3
2	180	0.4
3	190	0.3
4	190	0.4



Gambar 4.1. Spesimen hasil 3D *printing*.

#### 4.1.1. Massa dan Waktu Proses

Berdasarkan hasil penimbangan dari specimen dan waktu proses yang telah dilakukan didapat nilai rata-rata massa dan waktu proses dari 12 specimen yang telah dicetak. Pada tabel rata-rata massa, urutan nilai tertinggi adalah pada percobaan 2 sedangkan 1 dan 4 memiliki massa yang sama dan terendah pada percobaan 3. Pada waktu proses pencetakan pembuatan specimen waktu terlalu lama pada percobaan 1 dan 3 dan waktu tercepat pada percobaan 2 dan 4. Tabel rata-rata massa dan waktu proses ditunjukkan pada tabel 4.2.

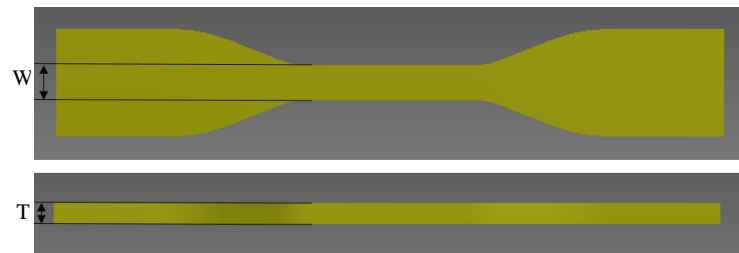
Tabel 4.2. Rata-rata Massa dan Waktu Proses

Percobaan	R1	R2	R3	Rata-Rata Massa (gr)	Waktu (menit)
1	5.60	5.58	5.59	5.59	67
2	5.68	5.66	5.65	5.66	48
3	5.55	5.51	5.53	5.53	67
4	5.62	5.63	5.64	5.63	48

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter proses *nozzle temperatur* dan *extrusion width* mempengaruhi nilai masa dan waktu proses pencetakan. *Extrusion width* yang semakin besar akan mempercepat waktu proses pencetakan. Hal ini terjadi karena *extrusion width* berpengaruh pada jumlah line dari *infill* sehingga semakin kecil *extrusion width* yang digunakan akan meningkatkan waktu dari proses pencetakan. Pada hasil percobaan 2 dan 4 menunjukkan hasil pencetakan tercepat dengan menggunakan parameter *extrusion width* 0.4 dan waktu pencetakan terlama ditunjukkan pada percobaan 1 dan 3 menggunakan *extrusion width* 0.3. *Extrusion width* juga berpengaruh terhadap nilai massa karena semakin besar nilai *extrusion width* yang digunakan maka semakin tinggi nilai massa yang didapat. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai *extrusion width* maka semakin besar line ekstrusi yang dikeluarkan pada saat proses pencetakan. Pada *nozzle temperature* akan berpengaruh pada nilai massa, semakin besar nilai *nozzle temperature* yang digunakan maka massa yang didapat akan semakin ringan. Hal tersebut terjadi diakibatkan terjadinya penguapan pada filament saat proses ekstrusi sehingga filament yang diekstrusi tidak sempurna.

#### 4.1.2. Hasil Pengukuran Dimensi Produk

Pengukuran dimensi produk dilakukan menggunakan acuan ukuran ASTM D638 tipe IV meliputi *length overall* (LO), *width overall* (WO), *width* (w), dan *thickness* (T). Pengukuran dilakukan dengan mengukur tiga bagian kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai rata-ratanya. Pengukuran dimensi spesimen ditunjukkan pada gambar 4.2. Data hasil dari pengukuran dimensi produk untuk setiap replikasi dari percobaan ditunjukkan pada tabel 4.3.



Gambar 4.2. Panduan pengukuran spesimen

keterangan:

- w : 6 mm ( $\pm 0.5$ )
- T : 4 mm ( $\pm 0.4$ )
- L : 33 mm ( $\pm 0.5$ )

Tabel 4. 3 Data hasil pengukuran dimensi produk

Width (W)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Thickness (T)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi
R1	R2	R3			R1	R2	R3		
6.24	6.23	6.13	6.2	0.06083	4	3.91	3.94	3.95	0.04583
6.23	6.21	6.25	6.23	0.02	3.97	4	4.06	4.01	0.04583
6.33	6.2	6.17	6.23333	0.08505	3.82	3.93	4	3.91667	0.09074
6.3	6.2	6.24	6.24667	0.05033	4.01	3.99	4.02	4.00667	0.01528

Tabel 4.4 Data hasil pengukuran dimensi produk L

No	Spesimen	Length (L)			Rata-rata	Standar deviasi
		R1	R2	R3		
1	A	33.23	33.22	33.19	33.21333	0.020817
2	B	33.22	33.21	33.28	33.23667	0.037859
3	C	33.32	33.21	33.20	33.24333	0.066583
4	D	33.36	33.35	33.39	33.36667	0.020817

## 4.2 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian Tarik pada penelitian ini menggunakan metode ASTM dengan kecepatan 5 mm/menit. Spesimen yang telah dilakukan pengujian ditunjukkan pada gambar 4.3 untuk A1, B1, C1 dan D1 gambar 4.4 untuk A2, B2 C2 dan D2 gambar 4.5 untuk A3, B3, C3 dan D 3.



Gambar 4.3. Spesimen A1-D1



Gambar 4.4. Spesimen A2-D2

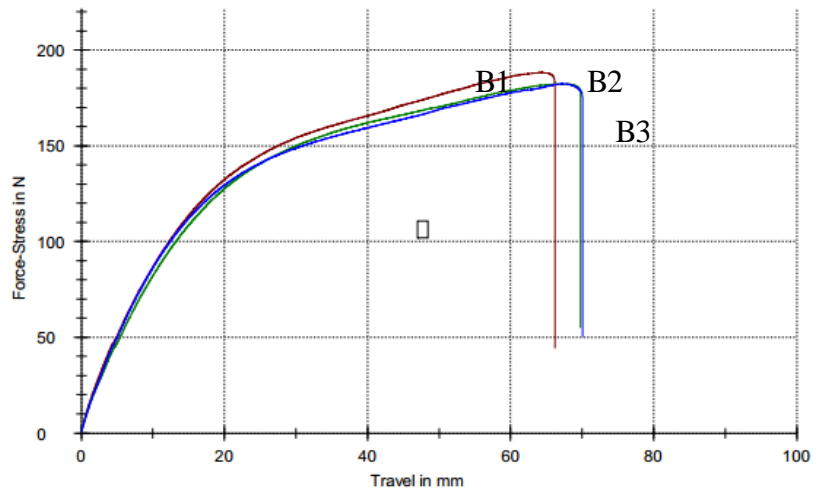


Gambar 4.5. Spesimen A3-D3

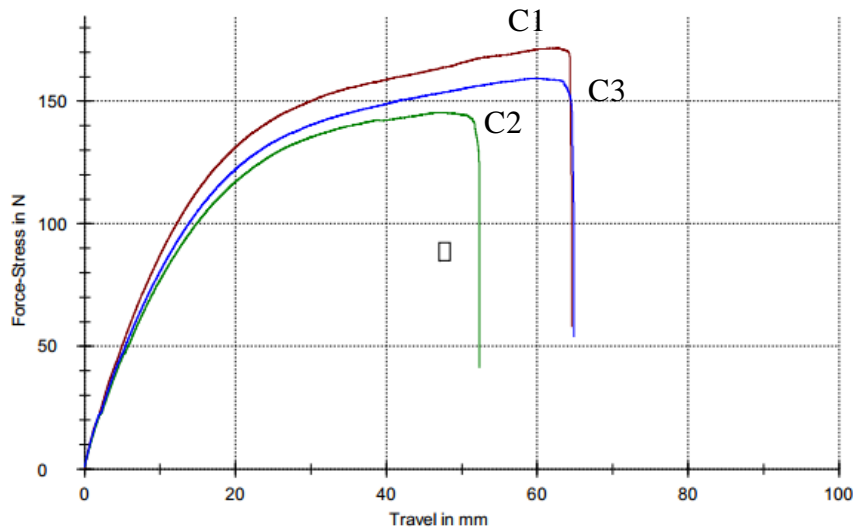
Hasil pengujian yang telah dilakukan menghasilkan nilai beban atau  $F_{max}$  pada setiap specimen yang diuji. Pada pengujian tersebut mendapatkan  $F_{max}$  terbesar pada percobaan 2 replikasi B1 yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dan  $F_{max}$  terkecil terdapat pada percobaan 3 replikasi C2 ditunjukkan pada gambar 4.7. Tabel nilai  $F_{max}$  ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Nilai  $F_{max}$  pengujian tarik

No	Fmax (kgf)			
	A	B	C	D
1	18.068	19.197	17.492	18.260
2	17.052	18.599	14.825	17.996
3	15.559	18.605	16.248	17.986



Gambar 4.6. Grafik  $F_{max}$  percobaan 2



Gambar 4.7. Grafik  $F_{max}$  percobaan 3

Berdasarkan dari grafik hasil pengujian diatas, nilai  $F_{max}$  pada awalnya rendah kemudian terjadi kenaikan  $F_{max}$  yang diikuti dengan nilai perpanjangan hingga specimen putus. Hal tersebut terjadi karena pada pembebanan awal, beban yang diberikan belum mencapai titik maksimal sehingga yang terbentuk grafik pada  $F_{max}$  yang rendah sampai akhirnya beban naik sampai menemukan titik maksimal. Setelah nilai  $F_{max}$  didapatkan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai

tegangan tarik (*tensile strength*). Perhitungan tegangan tarik untuk hasil percobaan 1 dan 4 adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$F_{1A1} = 19.197 \text{ kgf} = 188.258 \text{ N}$$

$$F_{4D2} = 11.925 \text{ kgf} = 145.383 \text{ N}$$

$$W_{2B1} = 6.21 \text{ mm}$$

$$W_{2C2} = 6.20 \text{ mm}$$

$$T_{2B1} = 4 \text{ mm}$$

$$T_{2C2} = 3.93 \text{ mm}$$

Ditanya:

$$\sigma = \dots\dots\dots?$$

Penyelesaian:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{w \times T}$$

$$\sigma_{5a1} = \frac{188.258 \text{ N}}{6.21 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}} = 7.611 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3d2} = \frac{145.383 \text{ N}}{6.20 \text{ mm} \times 3.93 \text{ mm}} = 5.966 \text{ MPa}$$

Kemudian dilakukan perhitungan tegangan tarik pada semua percobaan. Data hasil perhitungan untuk *tensile strength* ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil perhitungan *tensile strength*

Percobaan	Tensile Strength (MPa)			
	A	B	C	D
1	7.098	7.611	7.093	7.076
2	6.864	7.342	5.966	7.02
3	6.317	7.19	6.456	6.942
Rata-rata (MPa)	6.759667	7.381	6.505	7.012667
Standar deviasi	0.400817	0.213192	0.565096	0.0673



Hasil dari perhitungan tegangan tarik dari masing-masing spesimen didapatkan nilai tegangan tarik terbesar pada percobaan B replikasi ke 1 dengan memiliki nilai tegangan tarik sebesar 7.611 MPa. Sedangkan nilai tegangan tarik terbesar terdapat pada percobaan C replikasi ke 2 dengan nilai tegangan tarik sebesar 5.996 MPa seperti yang terlihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan *Modulus Elastisitas*

No	Spesimen	MPa			Rata-rata	Sandar deviasi
		1	2	3		
1	A	9.6	9.9	10.1	9.8	0.25
2	B	11.4	11.3	11.1	11.2	0.15
3	C	8.9	8.9	8.8	8.8	0.05
4	D	8.4	8.6	8.5	8.5	0.1

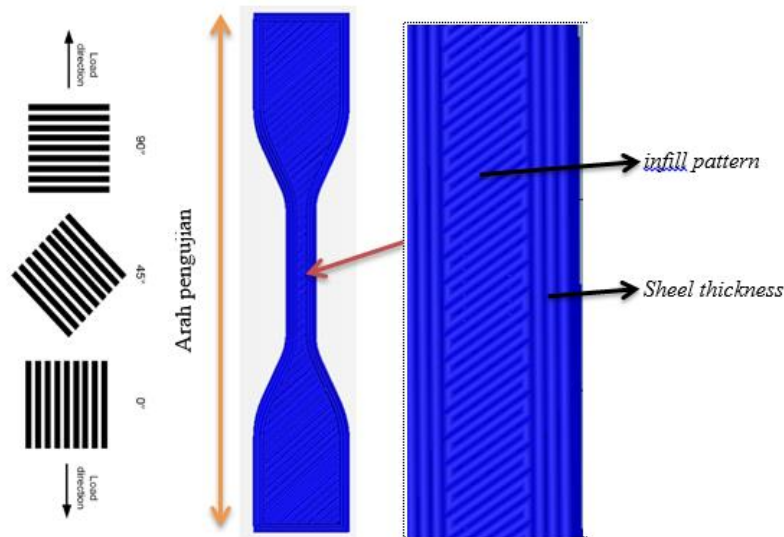
Setelah dilakukan perhitungan nilai *modulus elastisitas* dari masing-masing spesimen. Didapatkan hasil bahwa spesimen percobaan 2 replikasi B1 memiliki nilai *modulus elastisitas* tertinggi sebesar 11.4 MPa, sedangkan nilai terendah dihasilkan pada spesimen percobaan ke 4 replikasi D3 dengan nilai *modulus elastisitas* sebesar 8.5 MPa, berdasarkan hasil dari perhitungan nilai *modulus elastisitas* seperti yang terlihat pada tabel 4.7 dapat di simpulkan bahwa nilai *modulus elastisitas* di pengaruhi oleh parameter *nozzle temperature*. Semakin besar nilai temperatur yang digunakan maka akan menurunkan nilai *modulus elastisitas*.

Pada penelitian yang telah dilakukan menggunakan filament PVA yang diproduksi oleh *e-sun*, langkah selanjutnya yang akan dilakukan adalah membandingkan nilai tegangan tarik hasil dari penelitian dengan data pada *sheet of sun*. perbandingan dengan data *sheet of sun* dilakukan karena penelitian dengan material PVA pada 3D printing masih sedikit dilakukan dibandingkan dengan material filament yang lainya. Selain itu penulis belum menemukan perbandingan jurnal yang meneliti tentang kekuatan tarik dengan menggunakan filament PVA pada 3D printing. Data *sheet of esun* ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data *Sheet of esun*

No	Karakteristik	Unit	Nilai
1	<i>Tensile Strength</i>	MPa	22
2	<i>Elongation break</i>	%	362
3	Titik didih	°c	180-240
4	Titik leleh	°c	228
5	Suhu penguraian	°c	180
6	Kerapatan volume	Kg/m <sup>3</sup>	642

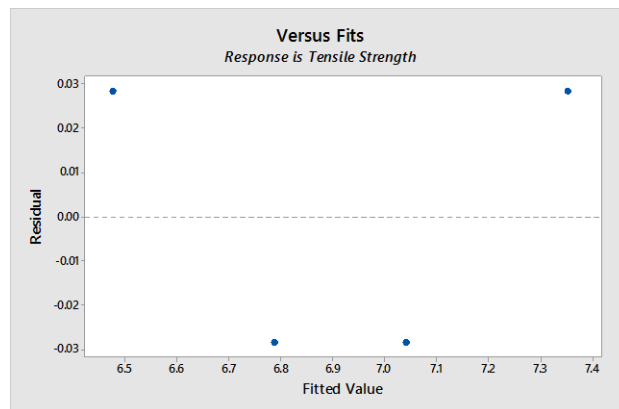
Dari data pada tabel data *Sheet of esun* dapat diketahui bahwa nilai tegangan tarik yang didapat pada penelitian lebih rendah dibandingkan nilai tegangan tarik pada data *Sheet of esun*. Nilai tegangan tarik pada data *Sheet of esun* sebesar 22 MPa sedangkan pada penelitian ini nilai tegangan tarik yang didapat 7.611 MPa. Penyebab dari perbedaan tersebut disebabkan oleh pengaruh *angle of infill*. *Angle of infill* adalah kemiringan dari *line* pada *infill pattern* yang dapat berpengaruh pada hasil pengujian tarik dari material PVA.



Gambar 4.8 Pola *infill*

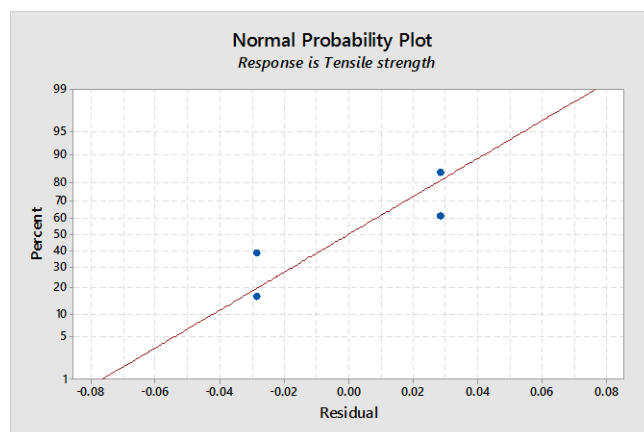
Pada penelitian ini menggunakan *infill* berbentuk *rectelinier* dengan *angle default* 45°. Pada bentuk *line* diatas area yang mendapatkan kekuatan tarik terbesar adalah *shell thickness*, karena *shell thickness* memiliki *line* yang searah dengan arah

pengujian tarik, sedangkan pada *infill pattern* memiliki *line* dengan kemiringan  $45^{\circ}$  sehingga terjadi pergeseran pada saat pengujian sebelum spesimen terputus. Faktor inilah yang menyebabkan kurang optimal pada hasil dari pengujian kuat tarik karena tumpuan pengujian kuat tarik didominasi pada daerah *shell thickness*.



Gambar 4.9. Grafik *Versus fit* nilai tegangan tarik

Berdasarkan dari grafik *versus fit* diatas menunjukkan tingkat penyebaran data yang baik. Titik-titik tersebut menyebar dan tidak membentuk pola-pola tertentu, dengan demikian pengacakan level yang dilakukan dalam penelitian ini berhasil sehingga data dapat dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.



Gambar 4.10. Grafik *normal probability* nilai tegangan tarik

Berdasarkan dari grafik *normal probability* diatas menunjukkan tingkat normalitas data yang baik. Titik-titik tersebut terlihat dekat dengan garis lurus, dengan demikian data dalam penelitian ini terdistribusi dengan normal sehingga data dapat dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

## 4.2. Analisis SNR dan ANOVA

Data yang telah didapat adalah nilai dari dimensi produk dan *tensile strength* dan dilanjutkan dengan menganalisa menggunakan *signal to noise ratio* (SNR) dan analisis varians (ANOVA).

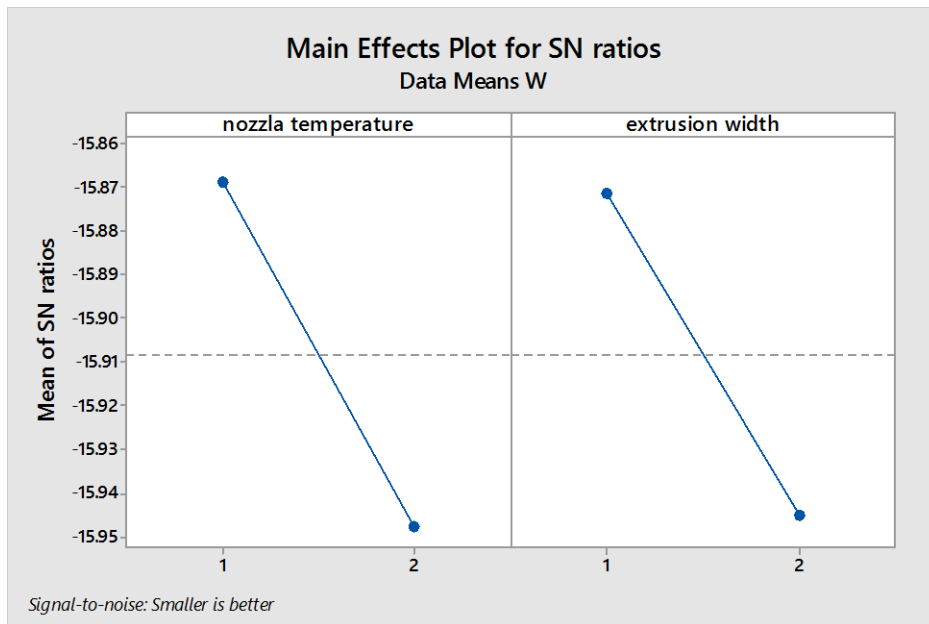
### 4.2.1. *Signal to Noise Ratio*

Tiga replikasi spesimen dari setiap percobaan digunakan untuk menghitung *signal to noise ratio* atau SNR. Penelitian menggunakan *software* Minitab untuk menghitung nilai SNR. Tujuan penggunaan SNR ntuk mengetahui parameter atau level faktor proses yang berpengaruh pada hasil respon (Soejanto, 2009:). Analisis pada penelitian ini menggunakan *software* Minitab. Selanjutnya level parameter proses yang diurutkan dari yang paling berpengaruh dan ditulis dalam tabel respon dan grafik *main effect*.

Parameter respon dimensi produk dianalisis menggunakan metode SNR *nominal is the best* (NTB) atau tertuju pada nilai tertentu. Nilai target dari SNR NTB adalah tidak nol dan nilainya terbatas. Dalam tahap ini dilakukan pemilihan level yang meminimalkan gangguan dengan memilih level yang memilii nilai SNR tertinggi.

Tabel 4.9. Respon dimensi w

Level	<i>Nozzle temperature</i>	<i>Extrusion width</i>
1	-15.87	-15.87
2	-15.95	-15.95
Delta	0.08	0.07
Rank	1	2

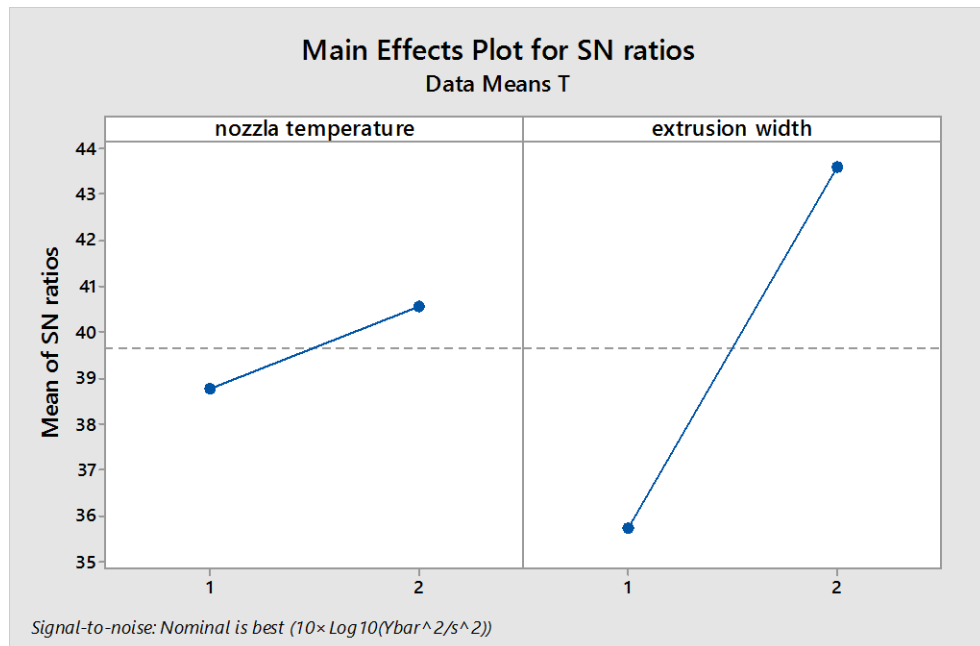


Gambar 4.11. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi W

Berdasarkan gambar grafik 4.11 didapat respon SNR dimensi W dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon SNR untuk dimensi W level optimum adalah *nozzle temperatur* level 1 (180<sup>0</sup>c) dan *extrusion width* level 1 (0.3 mm) dengan memiliki nilai SNR tertinggi sebesar -15.87.

Tabel 4.10. Respon SNR dimensi T

Level	<i>Nozzle temperstur</i>	<i>Extrusion width</i>
1	38.78	35.71
2	40.54	43.61
Delta	1.76	7.90
Rank	2	1

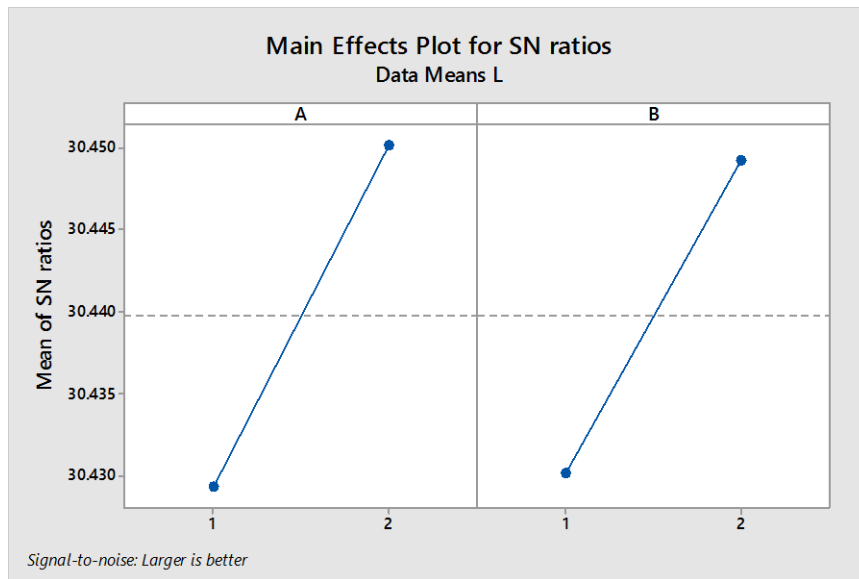


Gambar 4.12. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi T

Berdasarkan gambar grafik 4.12 telah didapat respon dimensi T dari pengacakan level masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon SNR untuk dimensi T level optimum adalah *nozzle temperature* level 2 (190<sup>0</sup>c) dan *extrusion width* level 2 (0.4 mm). Parameter proses *extrusion width* pada level 2 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 43.61.

Tabel 4.11. Respon SNR dimensi L

Level	<i>Nozzle temperstur</i>	<i>Extrusion width</i>
1	33.23	33.23
2	33.31	33.30
Delta	0.08	0.07
Rank	1	2



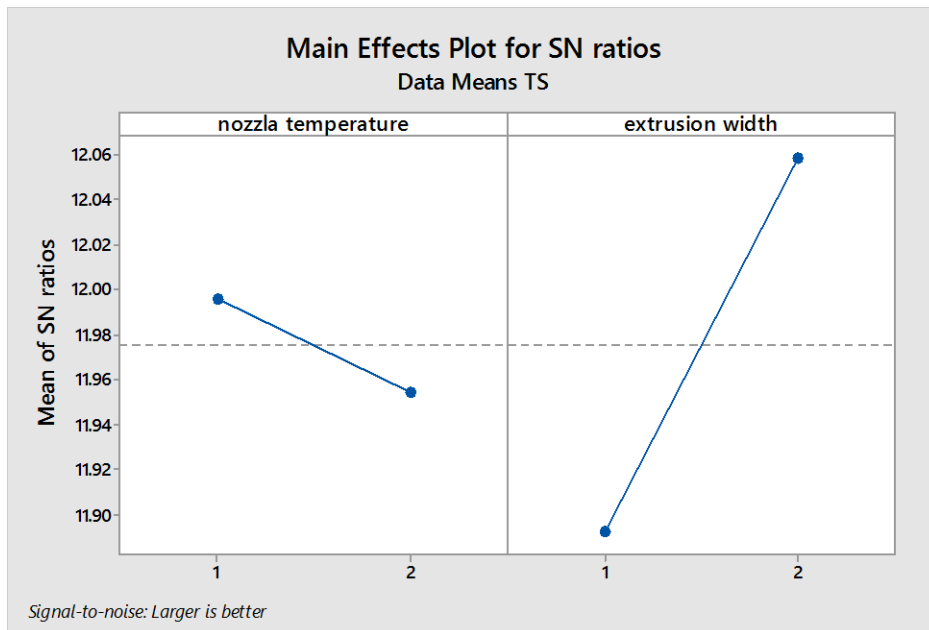
Gambar 4.13. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi L

Berdasarkan gambar grafik 4.13 telah didapat respon dimensi L dari pengacakan level masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon SNR untuk dimensi L level optimum adalah *nozzle temperature* level 2 (190°C) dan *extrusion width* level 2 (0.4 mm). Parameter proses *extrusion width* pada level 2 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 33.31.

Pada hasil nilai *tensile strength* (TS) atau tegangan tarik dianalisis menggunakan metode SNR *larger the better* (LTB) atau semakin besar semakin baik. Karakteristik kualitas SNR LTB adalah kontinyu, non-negatif dan mengambil nilai dari nol sampai tak terhingga. Nilai targetnya tidak nol dan idealnya adalah sebesar mungkin.

Tabel 4.12. Respon SNR dimensi TS

Level	<i>Nozzle Temperatur</i>	<i>Extrusion Width</i>
1	12.00	11.89
2	11.95	12.06
Delta	0.04	0.17
Rank	2	1



Gambar 4.13. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi TS

Berdasarkan tabel 4.9 telah didapat respon tegangan tarik (TS) dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon SNR untuk nilai TS level paling optimum adalah *nozzle temperature* level 1 (190<sup>0</sup>c), dan *extrusion width* level 1 (80%) Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon yang merata pada tingkat parameter proses lainnya untuk nilai TS yang ditunjukkan pada gambar 4.13. Parameter proses *extrusion width* level 2 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 12.06

Tabel respon menjelaskan level optimum dan tingkat pengaruh pada parameter proses terhadap variabel respon. Tabel respon berdasarkan nilai SNR menunjukkan hasil berbeda terhadap respon variabel yang berbeda. Tabel respon menunjukkan tingkat pengaruh dengan melihat nilai selisih terbesar atau *delta* antara level satu dan dua. Seperti pada grafik respon dimensi T (gambar 4.8) menunjukkan parameter *nozzle temperature* pada level 2 memiliki nilai SNR lebih tinggi dari pada level 1 dengan nilai 40.54, namun pada tabel respon TS (tabel 4.9) parameter *nozzle temperature* level 1 lebih besar dari level dengan nilai sebesar 11.95. Hal ini terjadi karena pengaruh pengacakan level dilihat dari nilai *delta* atau selisih terbesar dari level satu dan dua



Dengan analisis SNR ini telah diketahui level dari parameter proses mana yang paling berpengaruh pada hasil eksperimen. Sehingga untuk menganalisis dan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti perlu dilakukan pengklasifikasian terhadap hasil percobaan sesuai sumber variasi menggunakan analisis varians.

#### 4.2.2. *Analysis of Variance*

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi pada tiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil percobaan secara statistik sesuai dengan sumber varians. Ada beberapa klasifikasi yang dihitung pada analisis ANOVA meliputi ST, Mq, Sq<sub>A</sub> (setiap faktor), S<sub>e</sub>, F-ratio, Df, Sq', P-value, dan ρ%. Pada penelitian ini ditentukan nilai *critical significant* atau *alpha-error* sebesar α: 0.05 (5%). Nilai α: 0.05 berarti bahwa penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklasifikasi sebagai faktor penting (F) dan faktor signifikan (P). Perhitungan ANOVA pada hasil dimensi LO adalah sebagai berikut:

Keterangan:

- A : *Nozzle Temperature*
- B : *Extrusion Width*
- C : *Infill Density*
- D : *Infill Pattern*
- e : *Error*
- T : Jumlah total
- N : Jumlah eksperimen
- n : Jumlah eksperimen pada faktor

1. Jumlah Kuadrat Total Data (ST)

$$ST = \sum y^2$$

$$= 6.20000^2 + 6.23000^2 + 6.23333^2 + 6.31000^2 = 155.9234029$$

2. Jumlah Kuadrat *Mean* (Sm)

$$Sm = n \times \bar{y}^2$$

$$= 4 \times 6.2433325^2 = 155.9168028$$

3. Jumlah Derajat Kebebasan (Df, Dfe,)

$$Df = level - 1$$

$$= 2 - 1 = 1$$

$$Dfe = VoA - \sum Df$$

$$= N - 1 - \sum Df$$

$$= 4 - 1 - 2 = 1$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor (SqA, SqB, , Sqe)

$$SqA = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{12,43^2}{2} + \frac{12,54333^2}{2} - \frac{24,97333^2}{4} = 0.003210922225$$

$$SqB = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} - \frac{T^2}{N}$$

$$= \frac{12,43333^2}{2} + \frac{12,54^2}{2} - \frac{24,97333^2}{4} = 0.00284462222$$

$$Sqe = ST - Sm - SqA - SqB$$

$$= 155,9234029 - 155,9168228 - 0.003210922225 - 0.00284462222$$

$$= 0.00052455556$$

5. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (St)

$$St = SqA + SqB + Sqe$$

$$= 0.003210922225 + 0.00284462222 + 0.00052455556$$

$$= 0.00658010001$$

6. Rata-Rata Jumlah Kuadrat (MqA, MqB, MqC, MqD, Mqe)

$$MqA = \frac{SqA}{DfA}$$

$$= \frac{0.003210922225}{1} = 0.003210922225$$

$$MqB = \frac{SqB}{DfB}$$

$$= \frac{0.00284462222}{1} = 0.00284462222$$

$$Mqe = \frac{Sqe}{Dfe}$$

$$= \frac{0.00052455556}{1} = 0.00052455556$$

$$Mqt = \frac{St}{Dft}$$

$$= \frac{0.00658010001}{3} = 0.0021933667$$

7. Faktor Rasio (F-ratio)

$$F - ratio A = \frac{MqA}{Mqe}$$

$$= \frac{0.003210922225}{0.00052455556} = 6.12122427031$$

$$F - ratio B = \frac{MqB}{Mqe}$$

$$= \frac{0.00284462222}{0.00052455556} = 5.42291882294$$

8. Jumlah Kuadrat Sesungguhnya ( $Sq_A'$ ,  $Sq_B'$ ,  $Sq_e'$ ,  $Sq_t'$ )

$$SqA' = SqA - Df \times Mqe$$

$$= 0.003210922225 - 1 \times 0.00052455556 = 0.00268636666$$

$$SqB' = SqB - Df \times Mqe$$

$$= 0.00052455556 - 1 \times 0.00052455556 = 0.00232006666$$

$$Sqe' = St - SqA' - SqB'$$

$$= 0.00658010001 - 0.00268636666 - 0.00232006666 =$$

$$0.00157366669$$

9. Persen Kontribusi ( $\rho\%$ )

$$\rho A = \frac{SqA'}{St} \times 100\%$$

$$= \frac{0.00268636666}{0.00658010001} \times 100\% = 40,82562052\%$$

$$\begin{aligned}\rho B &= \frac{SqB'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{0.00232006666}{0.00658010001} \times 100\% = 35.25883583\% \\ \rho e &= \frac{Sqe'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{0.00157366669}{0.00658010001} \times 100\% = 28.47474487\%\end{aligned}$$

#### 10. Probability values (P)

Nilai P dicari menggunakan software minitab berdasarkan nilai *F-ratio*,  $Df_1$  ( $Df$  pada faktor),  $Df_2$  ( $Df$  error). Pada penelitian ini berdasarkan data 225.05, 1, 1) menggunakan tabel distribusi F didapat nilai  $\alpha = P = 0.126$

Selanjutnya hasil perhitungan yang telah didapat diklasifikasikan dalam tabel ANOVA Pada tabel ANOVA hal yang harus diperhatikan dalam menentukan tingkat pengaruh pada parameter proses adalah nilai F, P dan  $\rho$ . Dengan nilai F yang tercantum dalam tabel ANOVA maka dapat dilakukan uji hipotesis atau uji F. Pada tabel ANOVA nilai F yang tercantum adalah nilai F -hitung. Untuk itu supaya dapat melakukan uji F maka diperlukan nilai F-tabel yang dicari menggunakan tabel distribusi F. Nilai F-tabel dicari berdasarkan nilai  $\alpha$  yang pada penelitian ini menggunakan  $\alpha$ : 0.05 (5%), nilai derajat kebebasan faktor ( $Df$ ) dan derajat kebebasan error. Karena pada penelitian ini semua faktor memiliki  $Df$  sebesar 2 maka nilai F tabel untuk semua faktor sama. Nilai F tabel dengan F (0.5, 2, 18) adalah 3.55. Selanjutnya dilakukan uji F, apabila F-hitung memiliki nilai lebih kecil dari F-tabel ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ), maka hipotesis ( $H_0$ ) diterima yang berarti tidak ada pengaruh perlakuan pada faktor. Namun jika nilai F hitung lebih besar dari F tabel ( $F_{hitung} > F_{tabel}$ ), maka hipotesis ( $H_0$ ) ditolak atau ada pengaruh pada perbedaan perlakuan (Soejanto, 2009:27).

Besarnya nilai P digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi pada parameter proses atau faktor. Sesuai dengan nilai *critical significant* atau  $\alpha$  (*alpha error*), jika nilai P lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0.05) maka faktor tersebut signifikan dan sebaliknya jika P lebih besar maka faktor menjadi tidak signifikan. Selanjutnya nilai

$\rho$  menunjukkan tingkat kontribusi suatu faktor dalam persen. Semakin besar nilai  $\rho$  maka semakin besar kontribusi faktor tersebut terhadap suatu respon. Tabel ANOVA untuk w ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13. Persen kontribusi parameter untuk dimensi w dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
<i>Nozzle Temperatur</i>	0,003211	1	0,003211	5,9	0,002686	0,249	40,82
<i>Extrusion Widht</i>	0,002844	1	0,002844	5,22	0,002320	0,263	35,25
E	0,000544	1	0,000544		0,001573		28,25
St	0,0066	3	0,006581		0,006580		100
Mean	155,9168	1					
ST	155,9234	4					

Berdasarkan tabel 4.13 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi lebar tengah atau w. Pada tabel tersebut nilai faktor *nozzle temperature* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 40.82%. Untuk nilai F hanya  $H_0$  dari faktor *extrusion width* yang diterima artinya pada faktor tersebut tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. pada nilai P pada faktor *extrusion width* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.249 sehingga nilainya lebih besar dari nilai  $\alpha$ : 0.05.

Tabel 4.14. Persen kontribusi parameter untuk dimensi T dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
<i>Nozzle Temperatur</i>	0,000336	1	0,000336	1,49	0,000085	0,437	1,38
<i>Extrusion Widht</i>	0,005625	1	0,005625	25,00	0,005374	0,126	86,53
E	0,000225	1	0,000225		0,000750		12,07
St	0,006186	3	0,006210		0,006210		100
Mean	63,07012	1					
ST	63,07630	4					

Berdasarkan tabel 4.14 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi tebal atau T. Pada tabel tersebut nilai faktor *extrusion width* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 86.53 %. Untuk nilai F hanya  $H_0$  dari faktor *extrusion width* diterima yang artinya pada faktor tersebut tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. pada nilai P pada faktor *extrusion width* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.437 sehingga nilainya lebih besar dari nilai  $\alpha$ : 0.05.

Tabel 4.15. Persen kontribusi parameter untuk dimensi L dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Nozzle Temperatur	0,006400	1	0,006400	2,56	0,0039	0,356	27,31
Extrusion Widht	0,005378	1	0,005378	2,15	0,002878	0,381	20,15
E	0,002500	1	0,002500		0,00755		52,87
St	0,014278	3	0,014278		0,014278		100
Mean	4426,2409	1					
ST	4426,25518	4					

Berdasarkan tabel 4.15 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi panjang atau L. Pada tabel tersebut nilai faktor *nozzle temperature* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 27.31 %. Untuk nilai F hanya  $H_0$  dari faktor *nozzle temperature* diterima yang artinya pada faktor tersebut tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. pada nilai P pada faktor *nozzle temperature* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.356 sehingga nilainya lebih besar dari nilai  $\alpha$ : 0.05.

Tabel 4.16. Persen kontribusi parameter untuk nilai TS dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	p%
<i>Nozzle Temperatur</i>	0,097032	1	0,097032	30,04	0,093802	0,115	22,39
<i>Extrusion Widht</i>	0,318660	1	0,318660	96,66	0,315430	0,064	75,29
E	0,00323	1	0,00323		0,00969		2,31
St	0,418923	3	0,418922		0,418922		100
Mean	191,2459	1					
ST	191,6648	4					

Berdasarkan tabel 4.16 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon nilai tegangan tarik atau TS. Pada tabel tersebut nilai faktor *extrusion width* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 75,29 %. pada nilai P pada faktor *extrusion width* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.115 sehingga nilainya lebih besar dari nilai  $\alpha$ : 0.05.

#### 4.3. Analisis Parameter Optimum

Berdasarkan analisis menggunakan nilai SNR dan identifikasi menggunakan ANOVA pada masing-masing hasil variabel respon dapat diketahui level dan parameter proses optimum. Level parameter optimum proses berdasarkan SNR ditunjukkan pada tabel 4.17.

Tabel 4.17. Level parameter proses optimum berdasarkan SNR

Respon	<i>nozzle temperature</i> (°c)	<i>extrusion width</i> (mm)
Dimensi w	180	0.3
Dimensi T	190	0.4
Dimensi L	190	0.4
<i>Tensile strength</i>	180	0.4

Berdasarkan tabel 4.17 dapat dilihat adanya perbedaan pada nilai optimasi respon akurasi dimensi w dan T. sedangkan pada akurasi dimensi kekuatan tarik lebih sulit dilakukan karena satu respon terdiri dari 2 dimensi hasil optimasi yang

berbeda, sehingga pada hasil optimasi dapat dipertimbangkan kembali pengaruh dari masing-masing parameter proses untuk memilih level terbaik yang digunakan. Untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing parameter proses dapat dilakukan dengan melihat peringkat parameter proses optimum berdasarkan SNR. Parameter proses optimum SNR ditunjukkan pada tabel 4.18 dan parameter optimum ANOVA ditunjukkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.18. Parameter proses optimum berdasarkan SNR

Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	<i>tensile strength</i>
1	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>
2	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>

Tabel 4.19. Parameter proses optimum berdasarkan ANOVA

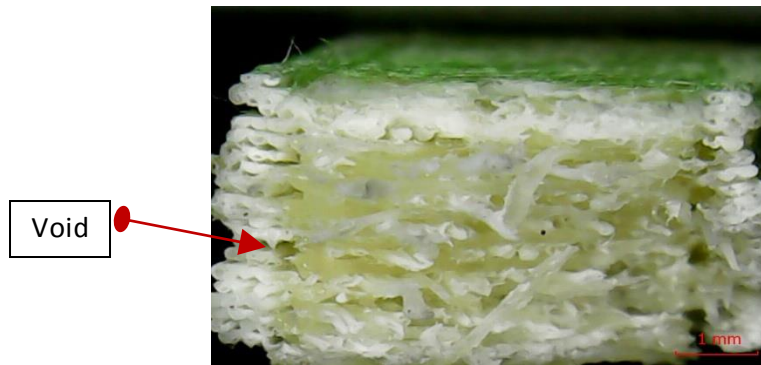
Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	<i>tensile strength</i>
1	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>
2	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>	<i>extrusion width</i>	<i>nozzle temperature</i>

Berdasarkan tabel di atas untuk analisis SNR dan ANOVA memiliki hasil yang sama untuk urutan peringkat parameter proses yang paling berpengaruh. Dari analisis yang telah dilakukan parameter proses *extrusion width* menunjukkan hasil yang dominan pada respon dimensi produk dan *tensile strength*. Hal ini ditunjukkan pada *extrusion width* yang berada pada peringkat pertama untuk dimensi W ( $\rho$ : 35.25%), L ( $\rho$ : 20.15%), dan berada di peringkat kedua pada dimensi T ( $\rho$ : 86.53%) dan *tensile strength* ( $\rho$ : 75.29%). Sehingga *extrusion width* menjadi parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pada penelitian ini secara keseluruhan.

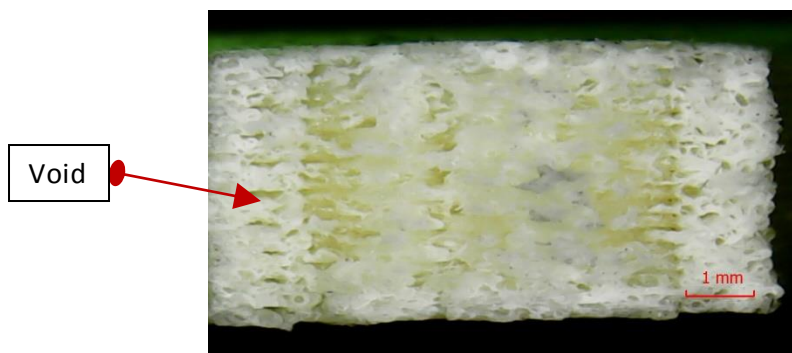
Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa *extrusion width* merupakan salah satu parameter proses yang penting pada 3D printing, karena parameter



*extrusion width* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tarik dan akurasi dimensi.

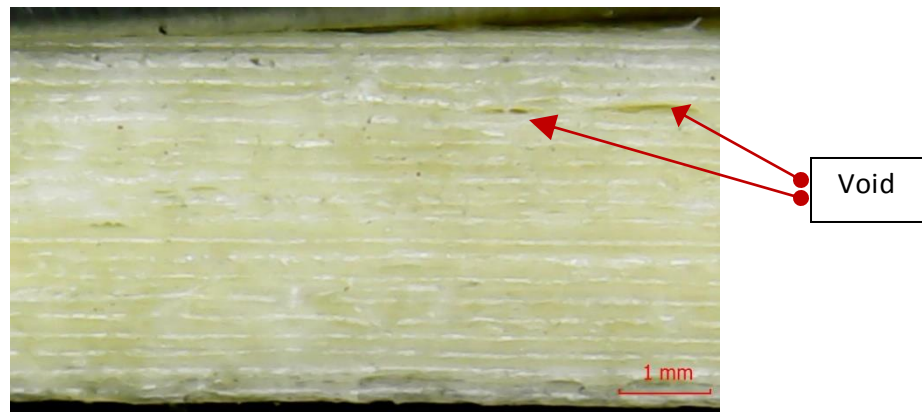


Gambar 4.14. Foto makro pada area patahan *extrusion width* 0.3

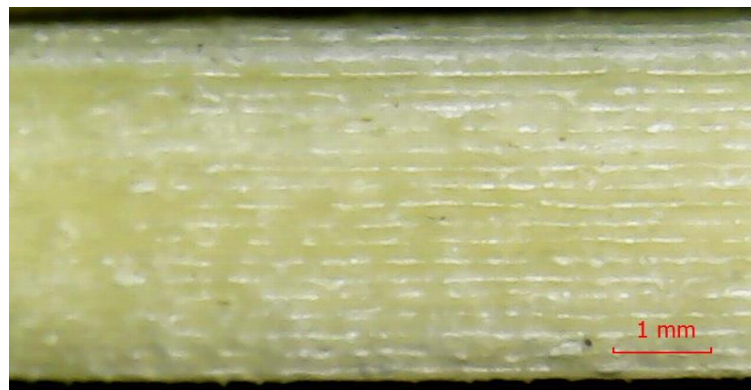


Gambar 4.15. Foto makro pada area patahan *extrusion width* 0.4

Gambar diatas menunjukkan foto pembesaran pada area patahan. Pada gambar tersebut terlihat adanya serabut yang tidak beraturan, serabut tersebut adalah hasil ekstrusi yang memulur akibat pembebanan pada saat pengujian kuat tarik. Terlihat pula adanya gap (ruang kosong) pada hasil patahan yang merupakan jarak antar layer yang terbentuk pada proses pencetakan.

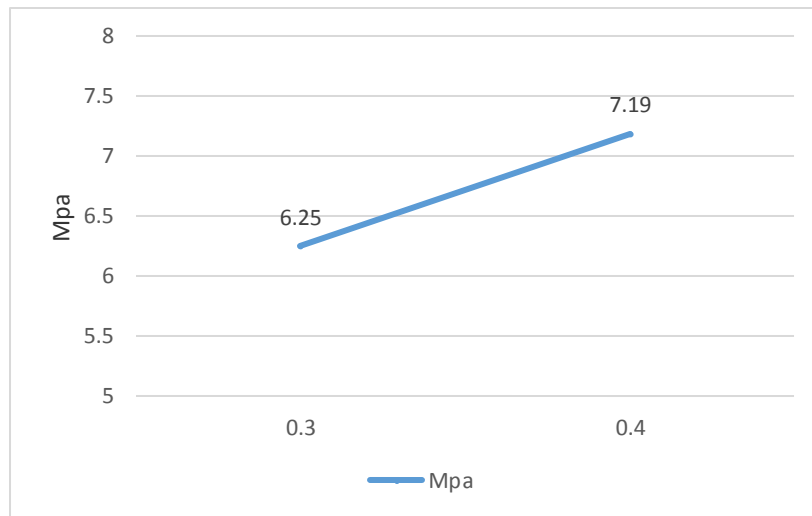


Gambar 4.16 Lapisan spesimen dengan *extrusion width* 0.3



Gambar 4.17 Lapisan spesimen dengan *extrusion width* 0.4

Pada gambar 4.16 terlihat adanya gap (ruang kosong) pada tumpukan *layer*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kurang mencairnya filament yang terbentuk pada saat ekstrusi, sehingga tumpukan filament yang terbentuk pada saat pembentukan *layer* tidak sempurna sehingga menghasilkan gap (ruang kosong). Selain itu faktor *extrusion width* yang kecil menghasilkan ukuran *line* yang kecil sehingga ekstrusi terjadi penumpukan dan tidak menempel antara *layer*. Untuk mengetahui pengaruh parameter *extrusion width* terhadap tegangan tarik, nilai tegangan tarik dikelompokkan sesuai level yang digunakan dan dihitung rata-rata nilai tegangan tariknya, hasil pengelompokan dan tegangan tarik ditunjukkan pada gambar 4.18 yang menjelaskan nilai tegangan tarik dari setiap level *extrusion width* yang digunakan.



Gambar 4.18 Grafik tegangan tarik pada level *extrusion width*

Pada grafik 4.18 dapat dilihat bahwa nilai tegangan tarik meningkat pada nilai parameter *extrusion width* yang besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa fenomena *bound strength* meningkat semakin kuat pada penggunaan *extrusion width* dengan nilai yang besar pada proses printing, pada fenomena tersebut terjadi karena dengan semakin besar nilai parameter *extrusion width* yang digunakan akan menghasilkan ukuran *line* yang besar sehingga dapat meningkatkan optimalisasi kekuatan dari spesimen produk.

Pada respon akurasi dimensi parameter proses yang paling berpengaruh adalah *extrusion width*. Untuk mengetahui tingkat akurasi dimensi produk dilakukan perhitungan dimensi *error*. Tujuan dilakukan perhitungan dimensi eror untuk mengetahui nilai penyimpangan dimensi yang terjadi pada setiap spesimen produk printer 3D akibat variasi nilai *extrusion width* yang digunakan. Perhitungan dimensi *error* dilakukan dengan cara menghitung selisih ukuran dimensi spesimen dengan ukuran ASTM D638 tipe IV. Perhitungan dimensi *error* adalah sebagai berikut:

$$\Delta D = D_1 - D_2 \dots \dots \dots (4.1.)$$

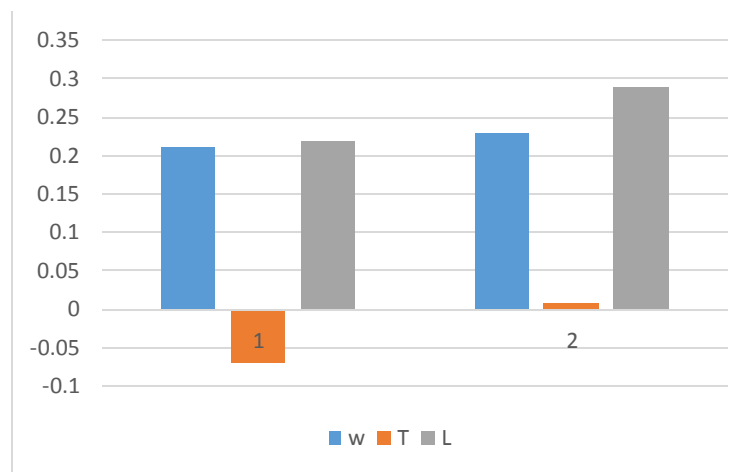
dimana,

- $\Delta D$  : dimensi *error*
- $D_1$  : dimensi produk
- $D_2$  : dimensi standar

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus diatas didapat data dimensi *error* pada penelitian ini yaitu dimensi W dan T. Data dimensi *error* ditunjukkan pada tabel 4.16. Selanjutnya data dari rata-rata dimensi *error* disajikan dalam bentuk diagram batang untuk melihat pengaruh variasi parameter *extrusion width* terhadap dimensi *error*. Grafik pengaruh *extrusion width* ditunjukkan pada gambar 4.19.

Tabel 4.20. Data dimensi *error*.

<i>Extrusion width</i>	w	T	L
0.3	0.2	-0.05	0.21
	0.23	-0.09	0.24
Rata-rata	0.215	-0.07	0.225
0.4	0.23	0.01	0.23
	0.24	0.006	0.36
Rata-rata	0.235	0.008	0.295



Gambar 4.19 Grafik efek *extrusion width* terhadap dimensi *error*

Berdasarkan gambar 4.19 menunjukkan diagram dimensi *error* dengan nilai variasi kenaikan dan penurunan pada penggunaan *extrusion width*. Pada kasus ini diduga Karena kurang maksimalnya proses pencetakan spesimen dengan menggunakan 3D printing seperti kondisi *bed* yang miring sehingga berpengaruh pada dimensi w dan T.

Pada dimensi  $w$  nilai dimensi error mengalami perbaikan mendekati 0 (standard) pada penggunaan *extrusion width* 0.4. pada dimensi  $w$  beberapa spesimen terjadi ketidak rataan pada *layer* pertama yang menempel langsung pada *bed*. Hal tersebut terjadi dikarenakan tidak ratanya permukaan *bed* sehingga berpengaruh pada nilai akurasi dimensi  $w$ .



Gambar 4.20 Lapisan pada spesimen

Pada dimensi  $T$  nilai penyimpangan dimensi mengalami perbaikan yang mendekati 0 (standard) pada *extrusion width* 0.3. hal tersebut disebabkan pada penggunaan *extrusion width* 0.3 memiliki *line* lebih kecil sehingga ekstrusi lebih rapat dan nilai *error* tidak terlalu besar.

Pada penelitian ini penggunaan *parameter nozzle temperature* tidak berpengaruh terlalu besar pada akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Hal tersebut dapat dibuktikan pada hasil perhitungan ANOVA bahwa persen kontribusi parameter *nozzle temperature* hanya mencapai 40%, sedangkan nilai kontribusi *extrusion width* memiliki pengaruh kontribusi yang besar terhadap akurasi dimensi dan kekuatan tarik yaitu mencapai 86% .

Jika membandingkan penggunaan *extrusion width* dengan nilai parameter 0.3 dan 0.4 pada kontribusi nilai kekuatan tarik dapat disimpulkan bahwa dengan menaikkan nilai parameter *extrusion width* dapat menaikkan nilai kekuatan tarik. . seperti yang terlihat pada penelitian ini nilai tegangan tarik dengan penggunaan *extrusion width* 0.3 menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik 6.25 MPa dan pada *extrusion width* 0.4 menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 7.19 MPa.