

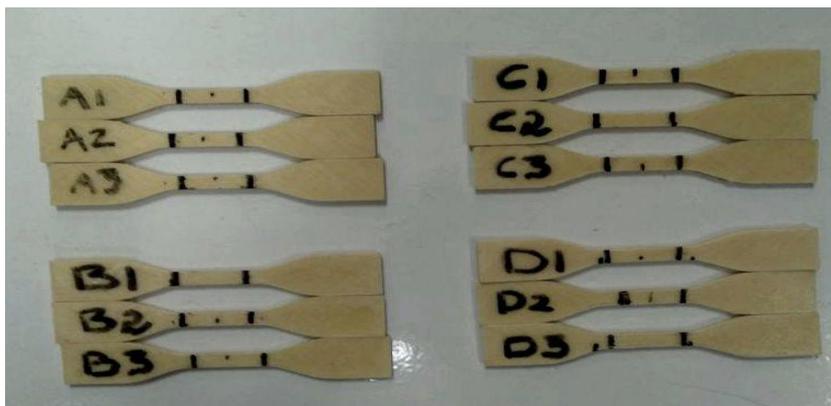
BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan menggunakan 12 spesimen ASTM D638 tipe IV dari 4 percobaan dengan 3 replikasi pada setiap percobaan yang dicetak menggunakan 3D *printing*. kemudian dilakukan pengambilan data pada spesimen yang meliputi massa, dimensi, waktu proses produk 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

No	Spesimen	Parameter proses	
		<i>Feed Rate (%)</i>	<i>Layer Height (mm)</i>
1	A	80	0.2
2	B	80	0.4
3	C	100	0.2
4	D	100	0.4



Gambar 4.1. Spesimen hasil 3D *printing*.

4.1.1. Massa dan Waktu Proses

Berdasarkan hasil penimbangan spesimen dan waktu proses didapat nilai rata-rata massa dan waktu proses dari 12 spesimen yang telah dicetak. Pada tabel rata-rata massa, urutan nilai tertinggi adalah pada percobaan 1, 3, 4 dan 2. Pada waktu proses nilai tertinggi didapat pada percobaan 4 dan waktu terlama didapat pada percobaan 1. Tabel rata-rata waktu proses ditunjukkan pada tabel 4.2.

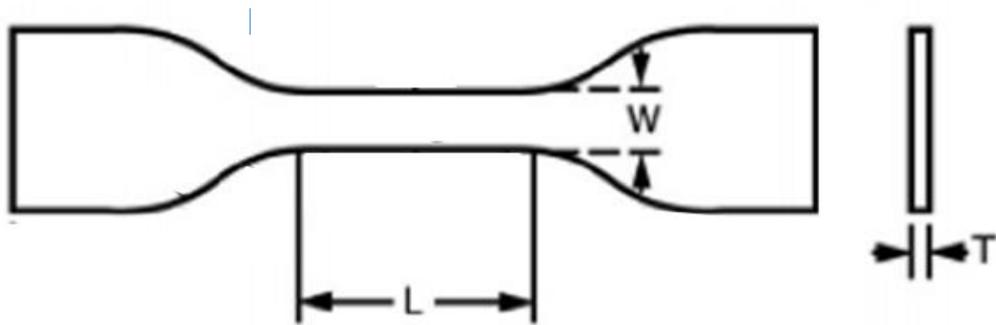
Tabel 4.2. Rata-rata Massa dan Waktu Proses

No	Spesimen	Waktu (menit)	Massa			Rata-Rata Massa (gr)
			1	2	3	
1	A	69.06	6.09	6.07	5.99	6.05
2	B	47.33	5.49	5.15	5.15	5.26
3	C	39.3	5.77	5.76	5.78	5.77
4	D	18.85	5.2	5.25	5.3	5.25

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter proses *feed rate* dan *Layer Height* mempengaruhi nilai masa dan waktu proses pencetakan. *Feed rate* yang semakin besar akan meningkatkan waktu proses pencetakan spesimen. Hal ini terjadi karena semakin tinggi nilai *feed rate* yang digunakan akan membuat pergerakan nosel yang semakin cepat pada saat proses pencetakan. Pada hasil percobaan 4 menunjukkan hasil pencetakan tercepat dengan menggunakan parameter *feed rate* 100 % dan waktu pencetakan terlama ditunjukkan pada percobaan 1 menggunakan *feed rate* 80 % . Pada *Layer Height* semakin meningkatnya ketebalan lapisan yang digunakan akan meningkatkan waktu pencetakan. (Abbas, 2018). Akan tetapi nilai yang semakin kecil akan meningkatkan massa pada spesimen yang dicetak. Hal ini terjadi karena semakin kecil nilai *feed rate* yang digunakan akan membutuhkan semakin banyak jumlah lapisan-lapisan layer pada proses pencetakan spesimen. Pada hasil percobaan 1 menunjukkan nilai tertinggi untuk massa dimana menggunakan parameter *Layer Height* 0.2 mm dan massa terendah ditunjukkan pada hasil percobaan 4 yang menggunakan *Layer Height* 0.4 mm.

4.1.2. Hasil Pengukuran Dimensi Produk

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



keterangan:

- w : 6 mm (± 0.25)
- T : 4 mm (± 0.4)
- L : 33 mm (± 1.30)

Gambar 4.2. Panduan Pengukuran Dimensi

Tabel 4.3 Data hasil pengukuran dimensi produk w dan T

No	Spesimen	<i>Width (W)</i>			Rata-rata	Standar deviasi	<i>Thickness (T)</i>			Rata-rata	Standar deviasi
		R1	R2	R3			R1	R2	R3		
1	A	5.89	5.88	5.8	5.856667	0.049328	4.39	4.38	4.37	4.38	0.01
2	B	6.03	6.02	6.01	6.02	0.01	3.87	3.85	3.84	3.853333	0.015275
3	C	5.78	5.76	5.79	5.776667	0.015275	4	3.99	4.1	4.03	0.095394
4	D	6.01	6	5.88	5.963333	0.072341	3.83	3.83	3.85	3.836667	0.011547

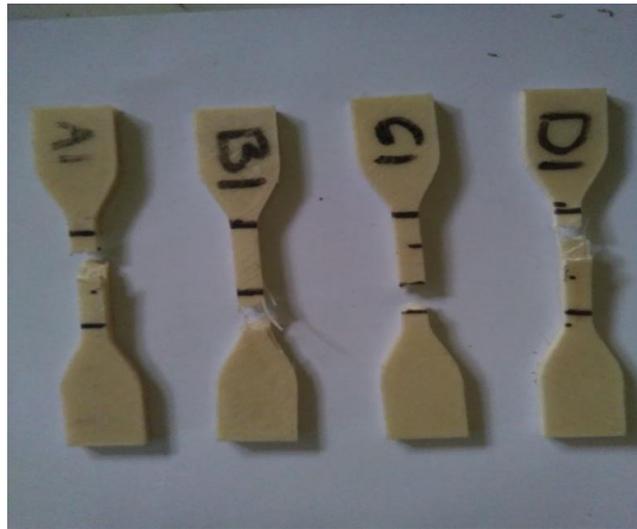
Tabel 4.4 Data hasil pengukuran dimensi produk L

No	Spesimen	<i>Length (L)</i>			Rata-rata	Standar deviasi
		R1	R2	R3		

1	A	33.22	33.22	33.21	33.21667	0.005774
2	B	33.32	33.35	33.3	33.32333	0.025166
3	C	33.24	33.26	33.28	33.26	0.02
4	D	33.39	33.4	33.36	33.38333	0.020817

Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik penelitian ini menggunakan metode ASTM dengan kecepatan 50 mm/menit. Spesimen yang telah dilakukan proses 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

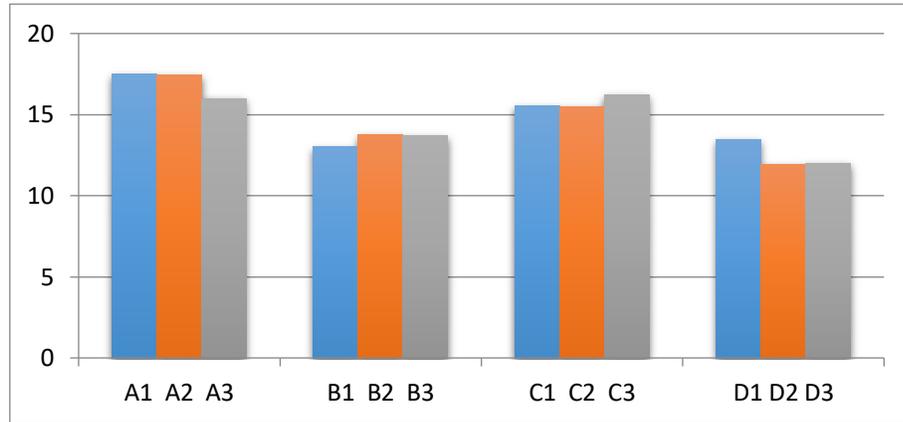


Gambar 4.5. Spesimen A3-D3

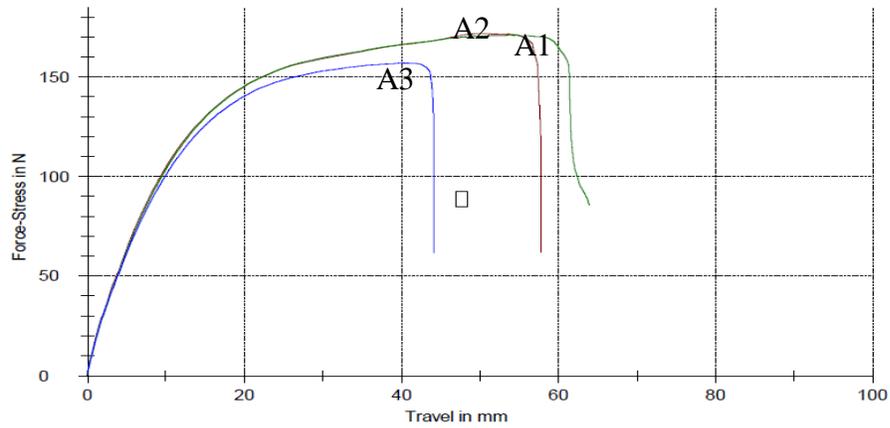
Pengujian tarik yang telah dilakukan didapat nilai beban maksimal atau F_{max} untuk setiap spesimen yang diujikan. Dari pengujian tersebut didapat nilai F_{max} terbesar terdapat pada percobaan 1- replikasi A1 ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan F_{max} terkecil terdapat pada percobaan 4- replikasi D2 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Tabel nilai F_{max} ditunjukkan pada tabel 4.5 (sel berwarna merah).

Tabel 4.5. Nilai F_{max} pengujian tarik

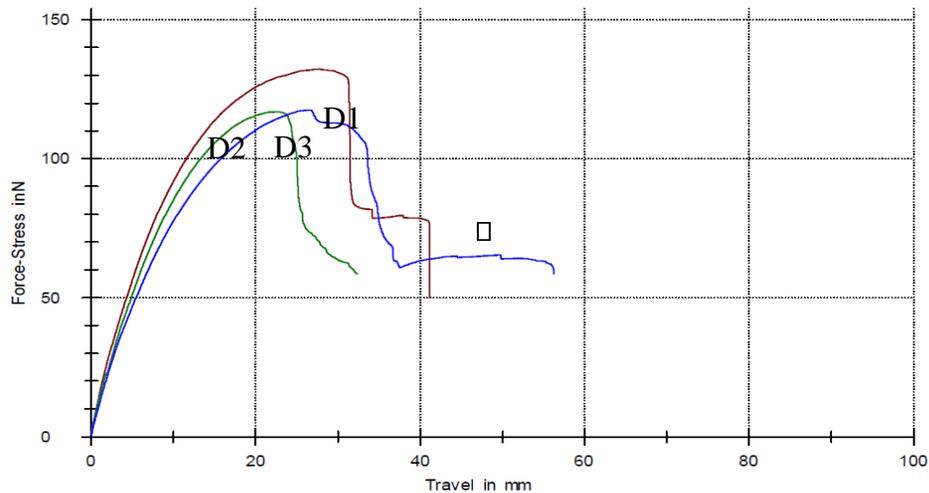
No	Spesimen	Fmax (kgf)			Rata-rata	Sandar deviasi
		1	2	3		
1	A	17.498	17.423	16.003	16.97467	0.842323
2	B	13.014	13.764	13.726	13.50133	0.422471
3	C	15.528	15.482	16.211	15.74033	0.408258
4	D	13.484	11.925	11.983	12.464	0.883822



Gambar 4.6 Diagram nilai F-max pengujian tarik



Gambar 4.7. Grafik Fmax percobaan 1



Gambar 4.8. Grafik F_{max} percobaan 4

Berdasarkan grafik hasil pengujian tarik diatas dapat dilihat bahwa F_{max} awalnya rendah kemudian terjadi kenaikan nilai F_{max} yang diikuti dengan nilai perpanjangannya saMPai pada akhirnya spesimen putus. Hal ini terjadi sebab pada proses 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:

$$F_{1A1} = 17.498 \text{ kgf} = 171.596 \text{ N}$$

$$F_{4D2} = 11.925 \text{ kgf} = 116.944 \text{ N}$$

$$W_{1A3} = 5.89 \text{ mm}$$

$$W_{4D2} = 6.00 \text{ mm}$$

$$T_{1A1} = 4.39 \text{ mm}$$

$$T_{4D2} = 3.83 \text{ mm}$$

Ditanya:

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

Penyelesaian:

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

$$\sigma_{1a1} = \frac{171.596 N}{5.89 mm \times 4,39 mm} = 6.636 MPa$$

$$\sigma_{4d2} = \frac{116.944 N}{6 mm \times 3.83 mm} = 5.088 MPa$$

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*

No	Spesimen	MPa			Rata-rata	Sandar Deviasi
		1	2	3		
1	A	6.636	6.634	6.191	6.487	0.256
2	B	5.468	5.823	5.832	5.707	0.207
3	C	6.586	6.606	6.600	6.597	0.010
4	D	5.744	5.088	5.19	5.340	0.353

Setelah dilakukan perhitungan nilai tegangan tarik dari masing-masing specimen. Didapatkan hasil bahwa specimen percobaan 1 replikasi A1 memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 6.636 MPa, sedangkan nilai terendah dihasilkan pada specimen percobaan ke 4 replikasi D2 dengan nilai tegangan tarik sebesar 5.088 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	12.5	12.5	12.7	12.56	0.11
2	B	16.3	16.4	16.4	16.36	0.05
3	C	16.4	16.5	16.0	16.3	0.26
4	D	12.7	12.6	12.0	12.43	0.37

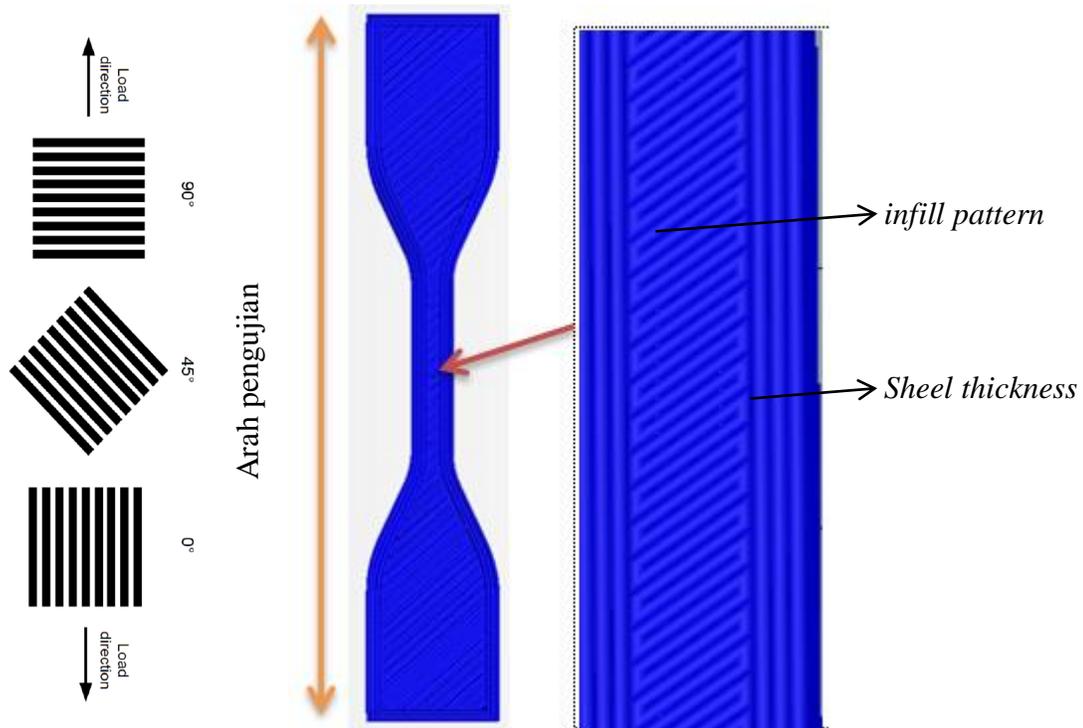
Setelah dilakukan perhitungan nilai *modulus elastisitas* dari masing-masing spesimen. Didapatkan hasil bahwa spesimen percobaan 3 replikasi C2 memiliki nilai *modulus elastisitas* tertinggi sebesar 16.5 MPa, sedangkan nilai terendah dihasilkan pada spesimen percobaan ke 4 replikasi D3 dengan nilai *modulus elastisitas* sebesar 12.0 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Layer Thickness* yang digunakan pada proses printing akan mempengaruhi *modulus elastisitasnya*, dimana semakin besar nilai *layer thickness* akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang semakin kecil begitu pula sebaliknya. seperti yang terlihat pada tabel 4.7.

Pada penelitian ini material filament PVA yang digunakan didapatkan dari pabrikan produksi *e-sun*, langkah selanjutnya yang dilakukan pada penelitian yaitu membandingkan nilai tegangan tarik pada data *sheet of esun* dan nilai tegangan tarik yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian, langkah perbandingan diambil berdasarkan *sheet of esun* sebab saat ini penelitian tentang material PVA dengan menggunakan 3D printing masih sedikit dilakukan bila dibandingkan dengan material lain seperti halnya material PETG atau PLA, dan juga belum ditemukan perbandingan untuk jurnal yang meneliti tentang kekuatan tarik pada material PVA dengan menggunakan 3D *printing*, oleh sebab itu perbandingan yang diambil berdasarkan data pabrikan *e-sun*. Data *sheet of esun* ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.8 Data (*sheet of esun*)

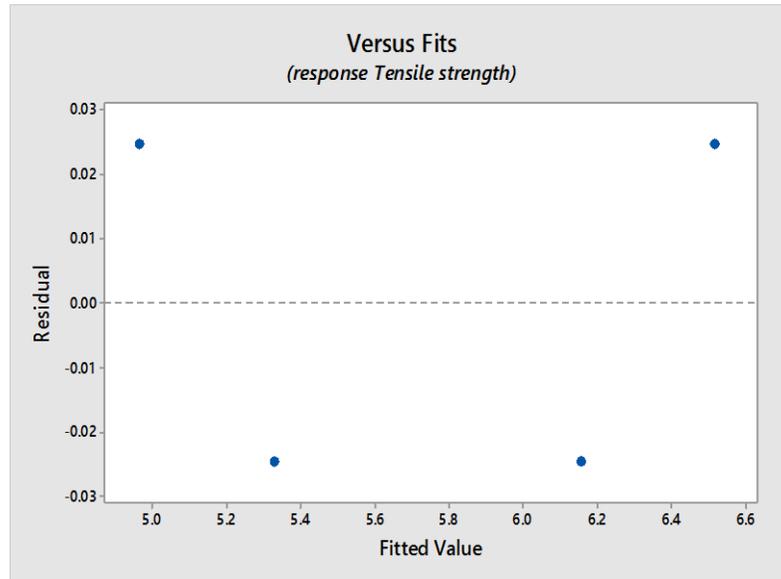
No	Karakteristik	Unit	Nilai
1	<i>Tensile Strength</i>	MPa	22
2	<i>Elongation break</i>	%	362
3	Titik leleh	°C	180-240
4	Titik didih	°C	228
5	Suhu penguraian	°C	180
6	Kerapatan volume	Kg/m ³	642

Dari data diatas dapat diketahui bahwa nilai tegangan tarik yang didapat dari penelitian lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik pada data *sheet of e-sun*. Pada data *sheet of esun* nilai tegangan tarik yang didapat yaitu 22 MPa sedangkan pada penelitian ini nilai tegangan tarik yang didapat sebesar 6.636 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh *angle of infill* yang digunakan pada penelitian mempengaruhi hasil dari sifat tarik material PVA.



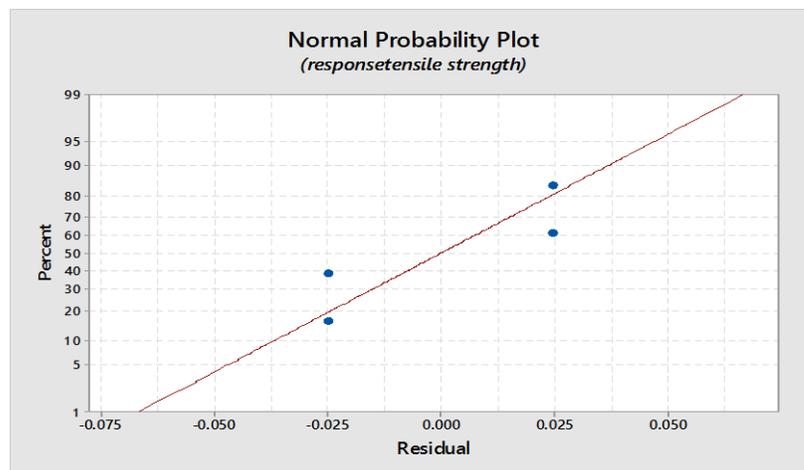
Gambar 4.9 Pola *Infill*

Pada penelitian ini infill yang digunakan berbentuk *rectilinear* dengan menggunakan *infill angle* 45° . Namun, apabila dilihat dari bentuk pola di atas maka dapat dilihat area yang mendapat kekuatan tarik terbesar berada pada daerah *shell thickness* sebab area tersebut memiliki pola yang searah dengan arah pengujian tarik, namun pada daerah *infill pattern* terjadi suatu pergeseran sebelum spesimen terputus seluruhnya pada saat pengujian tarik, sebab pola yang terbentuk memiliki kemiringan 45° dan tidak searah dengan arah pengujian tarik. Faktor inilah yang dapat menyebabkan kurang optimalnya hasil kuat tarik pada penelitian yang telah dilakukan sebab tumpuan uji tarik didominasi pada daerah *shell thickness*.



Gambar 4.10. Grafik *versus fits*

Berdasarkan grafik *versus fits* diatas dapat dilihat bahwa terdapat tingkat penyebaran data yang baik. Titik-titik yang terdapat pada grafik tersebut mengalami penyebaran, artinya pada penelitian ini pengacakan level yang telah dilakukan berhasil sehingga data dapat dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA



Gambar 4.11 Grafik *Normal probability plot*

Berdasarkan grafik *normal probability plot* yang terdapat diatas dapat dilihat bahwa titik-titik yang terdapat pada grafik dekat terhadap garis lurus, artinya data pada penelitian yang telah dilakukan terdistribusi dengan normal sehingga data dapat dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

4.2. Analisis SNR dan ANOVA

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

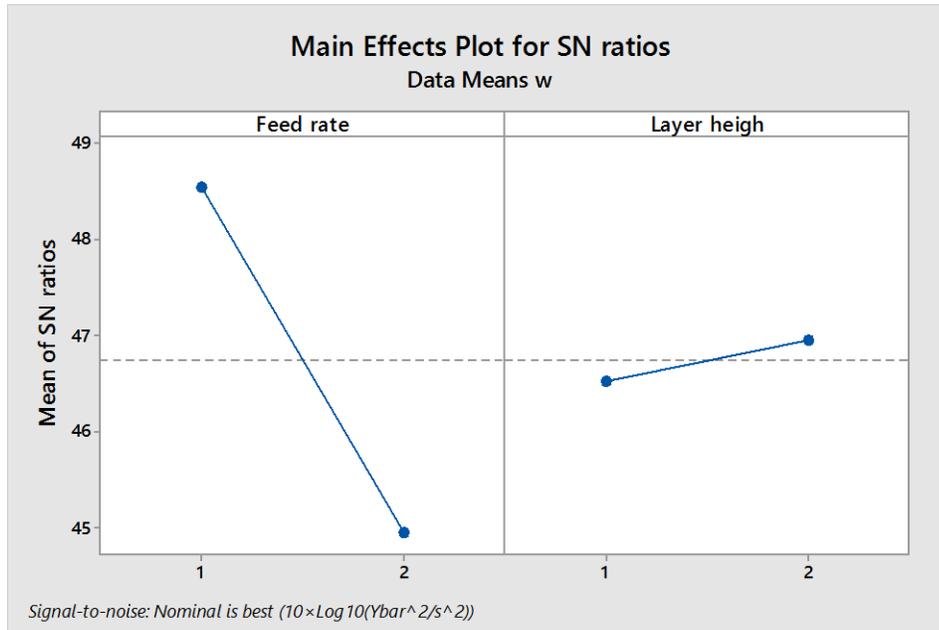
4.2.1. *Signal to Noise Ratio*

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>Feed Rate</i>	<i>Layer Height</i>
1	48.54	46.52
2	44.94	46.96
Delta	3.60	0.43
Rank	1	2

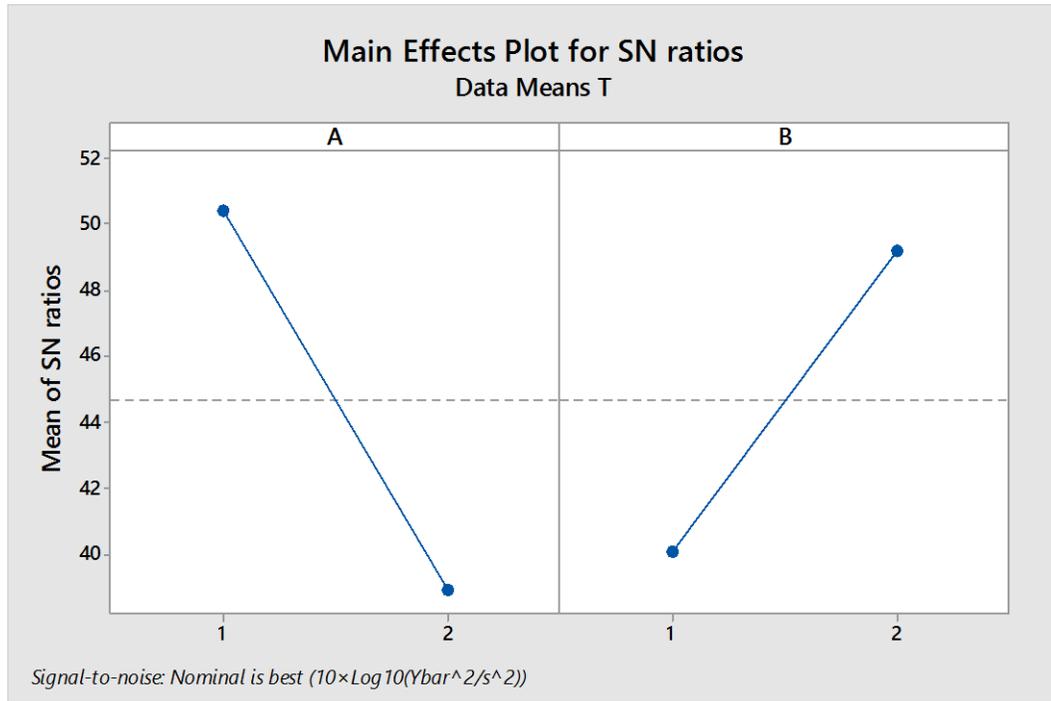


Gambar 4.12. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi W

Berdasarkan tabel 4.9 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 *Feed Rate* level 1 (80%), dan *Layer Heigh* level 2 (0.4 mm). Parameter proses *Layer Heigh* pada level 1 memiliki nilai SNR tertinggi sebesar 48.54

Tabel 4.10. Respon SNR dimensi T

Level	<i>Feed Rate</i>	<i>Layer Height</i>
1	50.43	40.08
2	38.88	49.23
Delta	11.55	9.15
Rank	1	2

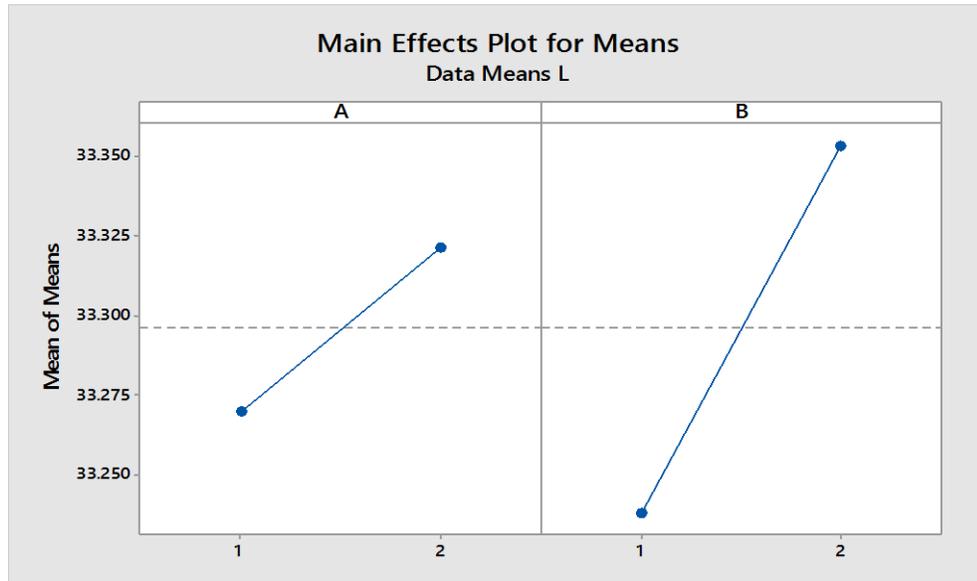


Gambar 4.13. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi T

Berdasarkan tabel 4.10 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 *feed rate* level 1 (80%), dan *Layer Height* level 2 (0.4 mm). Parameter proses *feed rate* pada level 1 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 50.43.

Tabel 4.11. Respon SNR dimensi L

Level	<i>Feed Rate</i>	<i>Layer Height</i>
1	33.27	33.24
2	33.32	33.35
Delta	0.05	0.11
Rank	2	1



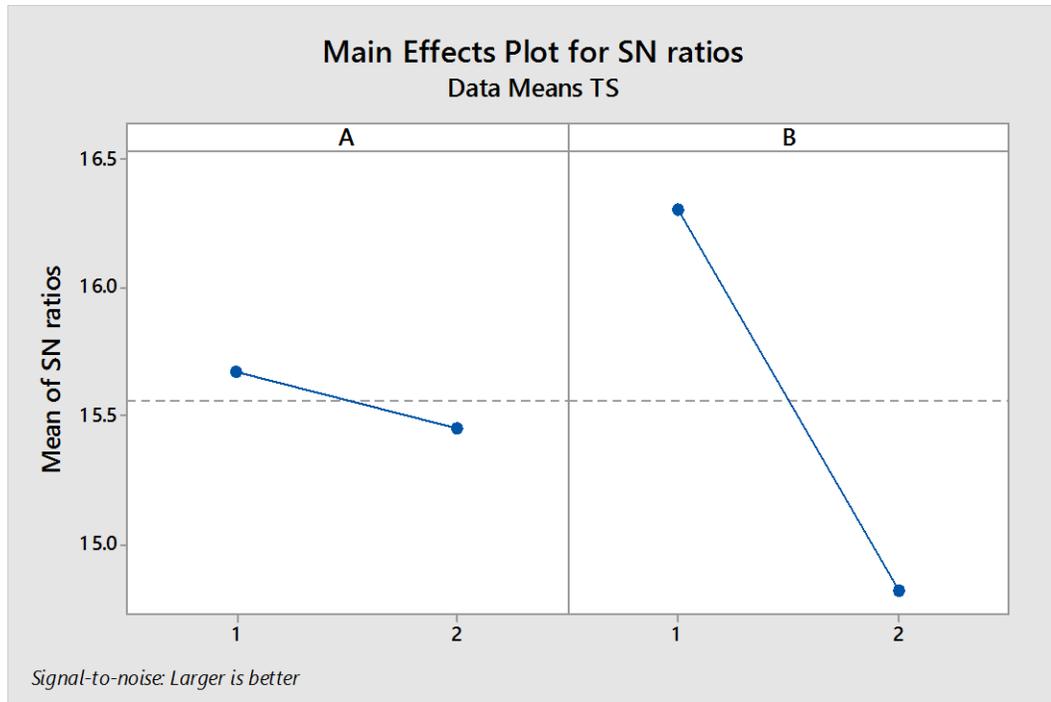
Gambar 4.14. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi L

Berdasarkan tabel 4.11 didapat respon SNR dimensi L dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon SNR untuk dimensi L level optimum adalah *Feed Rate* level 2 (100%), dan *Layer Heigh* level 2 (0.4 mm). Parameter proses *Layer Heigh* pada level 2 memiliki nilai SNR tertinggi sebesar 33.35

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 pada TS

Level	<i>Feed Rate</i>	<i>Layer Height</i>
1	15.67	16.31
2	15.45	14.82
Delta	0.27	1.44
Rank	2	1



Gambar 4.15. Grafik *main effect plot* untuk SNR dimensi TS

Berdasarkan tabel 4.12 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 *feed rate* level 1 (80 mm), dan *Layer Heigh* level 1 (0.2 mm). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon yang merata pada tingkat parameter proses lainnya untuk nilai TS yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Parameter proses *Layer Heigh* level 1 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 16.31.

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 4.19) menunjukkan parameter *feed rate* memiliki nilai SNR terbesar yaitu 50.43, namun pada tabel respon TS (tabel 4.11)

parameter *feed rate* berada pada urutan ke 2 dari parameter proses yang digunakan, pada respon TS nilai terbesar terdapat pada parameter *Layer Heigh* sebesar 16.31. 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, M_q , Sq_A (setiap faktor), S_e , F-ratio, Df, Sq' , P-value, dan $\rho\%$. 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 W adalah sebagai berikut:

Keterangan:

A : *feed Rate*

B : *Later Heigh*

e : *Error*

T : Jumlah total

N : Jumlah eksperimen

n : Jumlah eksperimen pada faktor

1. Jumlah Kuadrat Total Data (ST)

$$\begin{aligned} ST &= \sum y^2 \\ &= 5.8566^2 + 6.02^2 + 5.7766^2 + 5.9633^2 = 139.4722044 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Mean (Sm)

$$\begin{aligned} Sm &= N \times \bar{y}^2 \\ &= 4 \times 5.9042^2 = 139.4367754 \end{aligned}$$

3. Jumlah Derajat Kebebasan (Df, Df_e)

$$\begin{aligned} Df &= level - 1 \\ &= 2 - 1 = 1 \\ Dfe &= VoA - \sum Df \\ &= N - 1 - \sum Df \\ &= 4 - 1 - 2 = 1 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor (Sq_A, Sq_B, S_{qe})

$$\begin{aligned} SqA &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{11.8766^2}{2} + \frac{11.74^2}{2} - \frac{23.61667^2}{4} = 0.004668 \\ SqB &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B1}} + \frac{B_3^2}{n_{B1}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{11.63334^2}{2} + \frac{11.9833^2}{2} - \frac{23.61667^2}{4} = 0.03063 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sqe &= ST - Sm - SqA - SqB \\ &= 139.4722044 - 139.4367754 - 0.004668 - 0.03063 \\ &= 0.000136072 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (St)

$$\begin{aligned} St &= SqA + SqB + Sqe \\ &= 0.004668 + 0.03063 + 0.000136072 \\ &= 0.035434072 \end{aligned}$$

6. Rata-Rata Jumlah Kuadrat (Mq_A , Mq_B , Mq_C , Mq_D , Mq_e)

$$\begin{aligned}Mq_A &= \frac{Sq_A}{Df_A} \\ &= \frac{0.004668}{1} = 0.004668\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mq_B &= \frac{Sq_B}{Df_B} \\ &= \frac{0.03063}{1} = 0.03063\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mq_e &= \frac{Sq_e}{Df_e} \\ &= \frac{0.000136072}{1} = 0.000136072\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mq_t &= \frac{St}{Df_t} \\ &= \frac{0.035434072}{3} = 0.0118113573\end{aligned}$$

7. Faktor Rasio (F-ratio)

$$\begin{aligned}F - \text{ratio } A &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{0.004668}{0.000136072} = 34.3177\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F - \text{ratio } B &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\ &= \frac{0.03063}{0.000136072} = 225.05144\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Sq_A' &= Sq_A - Df \times Mq_e \\ &= 0.004668 - 1 \times 0.000136072 = 0.0045336\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Sq_B' &= Sq_B - Df \times Mq_e \\ &= 0.03063 - 1 \times 0.000136072 = 0.030488\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sqe' &= St - SqA' - SqB' \\
 &= 0.0354239 - 0.0045336 - 0.030488 = 0.000409
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho A &= \frac{SqA'}{St} \times 100\% \\
 &= \frac{0.0045336}{0.0354239} \times 100\% = 12.79\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho B &= \frac{SqB'}{St} \times 100\% \\
 &= \frac{0.030488}{0.0354239} \times 100\% = 86.06\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho e &= \frac{Sqe'}{St} \times 100\% \\
 &= \frac{0.00024077667}{0.0354239} \times 100\% = 1.15\%
 \end{aligned}$$

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 F (225, 1, 1) didapat nilai $\alpha = P = 0.042$

Selanjutnya hasil perhitungan di atas diklasifikasikan kedalam tabel ANOVA Pada tabel ANOVA hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan tingkat pengaruh pada parameter proses adalah nilai F , P dan ρ . 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 α , pada penelitian ini menggunakan α : 0.05 (5%), nilai derajat kebebasan faktor (Df) dan derajat kebebasan *error*. Karena pada penelitian ini semua faktor memiliki Df sebesar 1 maka nilai F tabel untuk semua faktor sama. Nilai F tabel dengan F (0.5, 1, 1) adalah 161.4. Kemudian dilakukan uji F , apabila F -hitung memiliki

nilai yang lebih kecil dari nilai 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 α (*alpha error*), jika nilai P lebih kecil dari nilai α (0.05) maka faktor tersebut signifikan dan sebaliknya jika P lebih besar maka faktor menjadi tidak signifikan. Selanjutnya nilai ρ menunjukkan tingkat kontribusi suatu faktor dalam persen. Semakin besar nilai ρ maka semakin besar kontribusi faktor tersebut terhadap suatu respon. Tabel ANOVA untuk W ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13. Persen kontribusi paramete untuk dimensi W dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Feed rate	0.00466	1	0.00466	34.31	0.0045	0.108	12.79
<i>Layer Heigh</i>	0.03063	1	0.03063	225.05	0.0304	0.042	86.06
E	0.00013	1	0.00013		0.0004		1.15
St	0.03543	3	0.01181				100
Mean	139.436	1					
ST	139.472	4					

Berdasarkan tabel yang terdapat di atas dapat dilihat bahwa besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi lebar tengah atau W. Pada tabel tersebut nilai faktor *Layer Heigh* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 86.06%. Untuk nilai P faktor *feed rate* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.108 sehingga nilainya lebih besar dari nilai α : 0.05. Untuk nilai F hanya H_0 dari faktor *feed rate* yang diterima artinya hanya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan

Tabel 4.14. Persen kontribusi parameter untuk dimensi T dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Feed Rate	0.000469	1	0.000469	18.78	0.004533	0.144	1.9
Layer heigh	0.024025	1	0.024025	961	0.030488	0.021	97.98
e	0.000025	1	0.000025		0.000409		0.1
St	0.024519	3	0.08173				100
Mean	61.46	1					
ST	61.56	4					

Berdasarkan tabel 4.14 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi tebal atau T. Pada tabel tersebut nilai faktor dengan nilai kontribusi terbesar adalah *Layer Heigh* (97.98 %). Untuk nilai P faktor *feed rate* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.144 sehingga nilainya lebih besar dari nilai α : 0.05. Untuk nilai F hanya H_0 dari faktor *feed rate* yang diterima artinya hanya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan.

Tabel 4.15. Persen kontribusi parameter dimensi L dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Feed rate	0.002669	1	0.002669	38.44	0.0026	0.102	16.28
<i>Layer Heigh</i>	0.013225	1	0.013156	190.44	0.013156	0.046	82.41
E	0.000069	1	0.000069		0.000208		1.131
St	0.015964	3	0.005321				100
Mean	4434.447	1					
ST	4434.4638	4					

Berdasarkan tabel 4.15 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon dimensi L. Pada tabel tersebut nilai faktor dengan nilai kontribusi terbesar adalah *Layer Heigh* (82.41%). Untuk nilai P faktor *feed rate* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.102 sehingga nilainya lebih besar dari nilai α : 0.05. Untuk nilai F hanya H_0 dari faktor *feed rate* yang diterima artinya hanya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan.

Tabel 4.16. Persen kontribusi parameter untuk TS dengan ANOVA

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Feed rate.	0.01647	1	0.01647	0.29	0.01419	0.686	3.65
Layer heigh	1.03632	1	0.03632	181.19	0.924342	0.047	88.25
E	0.05696	1	0.05696		0.09513		8.1
St	1.10976	3	0.36992				100
Mean	146.7067	1					
ST	145.5964	4					

Berdasarkan tabel 4.16 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon kekuatan tarik atau TS. Pada tabel tersebut nilai faktor *Layer Heigh* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 88.25 %. Untuk nilai F hanya H_0 dari faktor *feed rate* yang diterima artinya hanya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. Untuk nilai P faktor *feed rate* tidak signifikan karena memiliki nilai 0.686 sehingga nilainya lebih besar dari nilai α : 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. Untuk level optimum parameter proses berdasarkan SNR ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.17. Level parameter proses optimum berdasarkan SNR

Respon	<i>Feed rate</i>	<i>Layer Heigh</i>
Dimensi w	80	0.4
Dimensi T	80	0.4
Dimensi L	100	0.4
<i>Tensile strength</i>	80	0.2

Berdasarkan tabel 4.17 dapat dilihat perbedaan pada hasil optimasi untuk respon akurasi dimensi. Berbeda halnya dengan respon kekuatan tarik, pada respon akurasi dimensi optimasi parameter lebih sulit dilakukan karena satu respon terdiri dari tiga dimensi dengan hasil optimasi yang berbeda. Sehingga pada hasil optimasi dapat dipertimbangkan kembali pengaruh dari masing-masing parameter proses untuk memilih level terbaik yang akan digunakan. Untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing parameter proses dapat dilakukan dengan melihat tabel peringkat parameter proses optimum berdasarkan SNR yang ditunjukkan pada tabel 4.18 dan parameter proses optimum berdasarkan kontribusi ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.18. Parameter proses optimum berdasarkan SNR

Rank	Dimensi w	Dimensi T	L	TS
1	<i>Feed rate</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>
2	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>

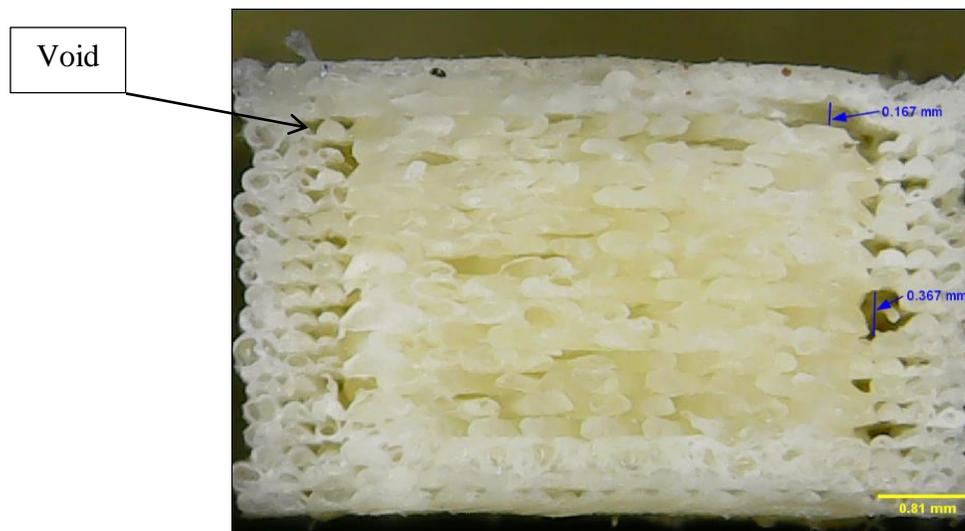
Tabel 4.19. Parameter proses optimum berdasarkan ANOVA

Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	TS
1	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>
2	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>

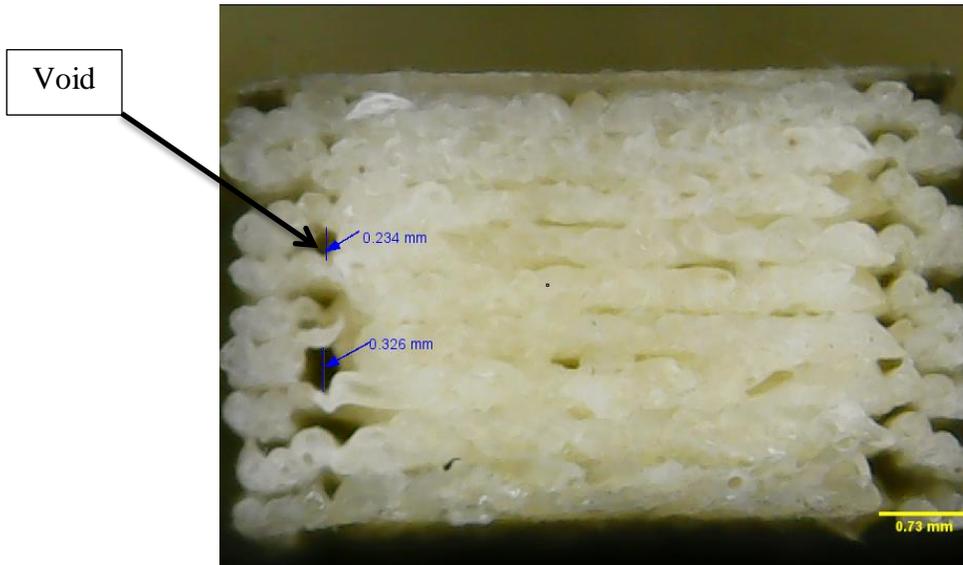
Berdasarkan tabel di atas untuk analisis SNR dan ANOVA memiliki hasil yang berbeda untuk urutan peringkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi w dan T, akan tetapi memiliki hasil yang sama untuk urutan parameter yang paling berpengaruh pada dimensi L dan TS. Dari analisis yang telah dilakukan parameter proses *Layer Heigh* menunjukkan hasil yang dominan pada respon dimensi dan *tensile strength*. Hal ini ditunjukkan pada *Layer Heigh* yang berada

pada peringkat pertama untuk dimensi W (ρ : 86.06%), T (ρ : 97.98%) L (ρ : 82.41%) dan *tensile strength* (ρ : 88.25%). Dari hasil persen kontribusi tersebut dapat diketahui bahwa *Layer Heigh* menjadi parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pada penelitian ini secara keseluruhan.

Berdasarkan data diatas dapat diketahui bahwa, *Layer Heigh* pada proses 3D printing merupakan salah satu parameter proses yang penting karena parameter ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dan akurasi dimensi produk.

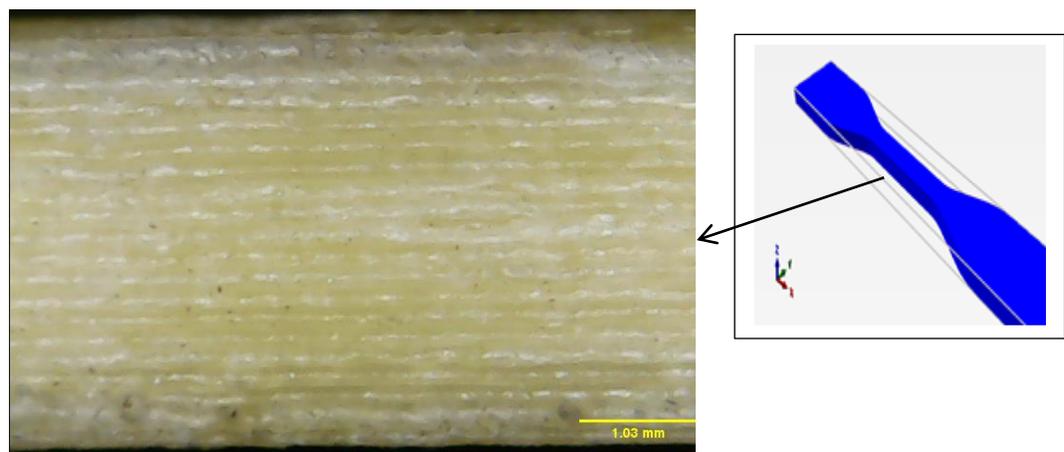


Gambar 4.16 foto makro pada area patahan *Layer Heigh* 0.2

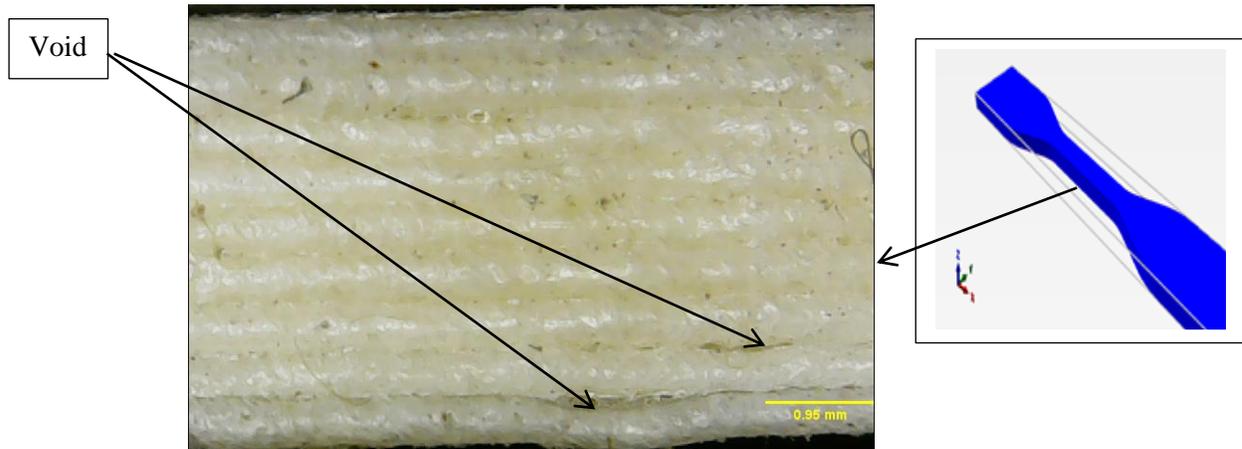


Gambar 4.17 foto makro pada area patahan *Layer Heigh* 0.4

Gambar diatas menunjukkan foto pembesaran di area patahan setelah dilakukan pengujian tarik yang terlihat jelas pada Gambar tersebut hasil patahan membentuk seperti serabut yang tidak beraturan. Serabut tersebut merupakan garis ekstrusi yang memulur akibat pembebanan yang terjadi pada saat proses pengujian tarik. *Void* yang terlihat pada hasil patahan merupakan merupakan cacat yang terbentuk pada saat proses pencetakan spesimen.



Gambar 4.18 Lapisan spesimen dengan *Layer Heigh* 0.2 (Sebelum diuji tarik)

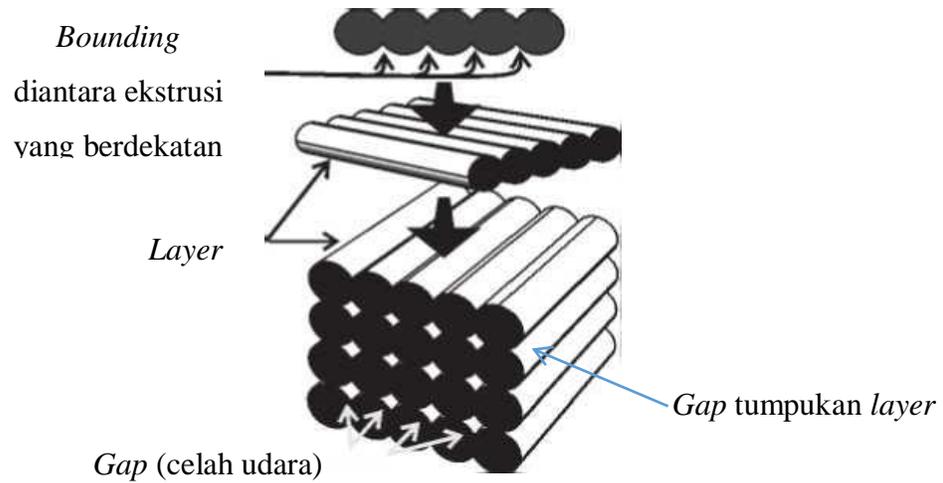


Gambar 4.19 Lapisan spesimen dengan *Layer Heigh* 0.4 (Sebelum diuji tarik)

Melihat pada Gambar 4.19 Terlihat bahwa kualitas tumpukan pada *layer* yang terbentuk kurang sempurna yang ditandai dengan adanya lubang yang terdapat pada hasil tumpukan *layer*. Adanya lubang ini dapat disebabkan karena kurang mencairnya filamen yang terbentuk pada saat ekstrusi sehingga tumpukan filamen yang terbentuk pada saat pembentukan *layer* kurang sempurna dan menghasilkan *Voud* pada area tertentu, selain itu faktor kecepatan *feed rate* cepat juga dapat mempengaruhi hasil printing sebab dengan meningkatkan kecepatan pencetakan dapat mengurangi konsistensi pada saat proses printing, hal ini dapat menyebabkan tekanan suhu filamen yang *diekstrusi* terus berubah dan sulit untuk membuatnya konstan, dengan semakin cepatnya kepala *nozzle* yang bergerak sulit untuk mengetahui apakah filament yang diekstrusi telah sepenuhnya meleleh atau belum (Sukindar dkk, 2017). Fenomena *bound strength* yang kurang baik juga dapat menyebabkan adanya *gap* pada hasil cetakan dengan menggunakan 3D *prnting*.

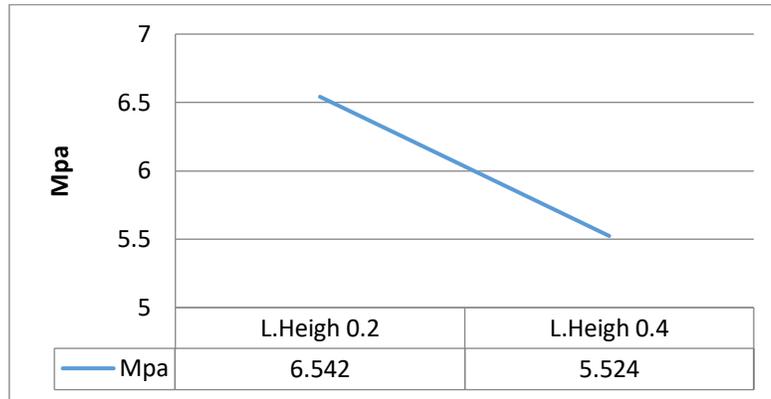
Berdasarkan Gambar 4.19 dapat diketahui bahwa parameter *Layer Heigh* memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan ikatan atau *bound strength*, *Bound strength* secara langsung dapat mempengaruhi kekuatan dari produk *layer-by-layer* (Reddy dkk, 2007) semakin kecil nilai *Layer Heigh* yang digunakan akan

menghasilkan ikatan yang semakin rapat pada hasil pencetakan. Gambar 4.20 menjelaskan tentang skema *bounding* antara ekstrusi yang berdekatan



Gambar 4.20. *Bounding* pada ekstrusi (Bellehumeur dkk, 2004)

pada proses pencetakan dengan 3D printing *Layer Height* merupakan salah satu parameter yang penting untuk diperhatikan. Kualitas ikatan yang terbentuk antara masing-masing ekstrusi filamen tergantung pada pertumbuhan *gap* yang terbentuk dan lapisan yang lebih tipis akan memberikan kekuatan ikatan yang lebih baik dan memberikan kemampuan pemuatan aksial yang baik (basavaraj, 2016). Pada penelitian ini untuk melihat pengaruh *Layer Height*, data-data dari nilai tegangan tarik dikelompokkan sesuai level yang digunakan dan dihitung rata-rata nilai tegangan tariknya. Hasil pengelompokkan nilai tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 4.21 yang menjelaskan grafik data rata-rata nilai tegangan tarik untuk level *Layer Height*.



Gambar 4.21. Grafik nilai tegangan tarik TS pada level *Layer Heigh*

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai tegangan tarik meningkat pada penggunaan nilai *Layer Heigh* yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa fenomena *bound strength* yang semakin kuat terjadi pada penggunaan *Layer Heigh* yang lebih kecil pada saat proses *printing*. Pada hal tersebut juga dapat menjelaskan penyebab terjadinya optimasi pada parameter proses *Layer Heigh* berada pada level 1 (0.2 mm) dikarenakan pada level tersebut dapat menghasilkan tumpukan pada layer yang semakin rapat sehingga *gap* (celah udara) yang terbentuk diantara layer tidak terlalu besar. Secara teori menurunkan nilai ketebalan layer akan meningkatkan nilai kekuatannya, (Abbas, 2018).

Untuk respon akurasi dimensi, *Layer Heigh* memiliki pengaruh yang besar pada tingkat akurasi dengan kontribusi sebesar 86% pada dimensi W, 91% pada dimensi T dan 82.41% pada dimensi L. Untuk mengetahui tingkat akurasi produk diperlukan perhitungan dimensi *error*. Dalam perhitungan dimensi *error* dapat disederhanakan dengan menghitung selisih ukuran produk spesimen uji tarik dengan ukuran standar ASTM D638 tipe IV. Perhitungan dimensi *error* adalah sebagai berikut:

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

dimana,

ΔD : Dimensi *error*

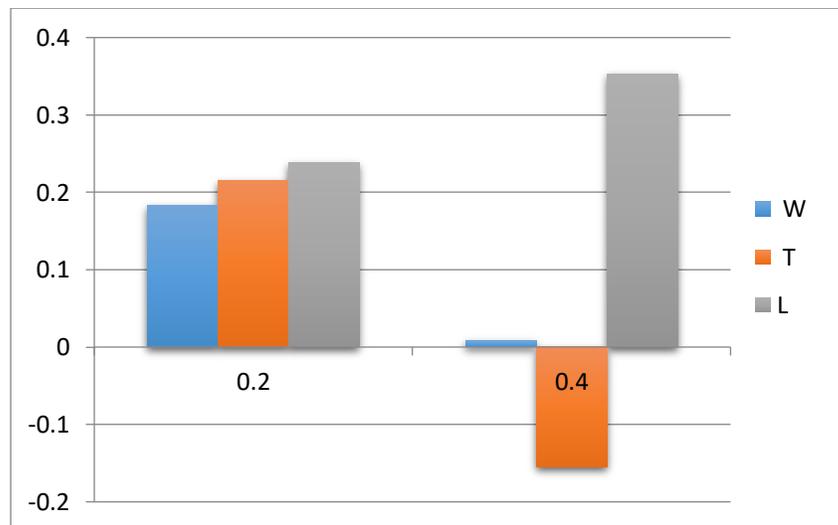
D_1 : Dimensi produk

D₂ : Dimensi standar

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat data pada dimensi *error* yang diukur pada penelitian ini yaitu W,T dan L. Nilai dimensi *error* ditunjukkan pada tabel 4.17. Selanjutnya data rata-rata dimensi *error* disajikan dalam grafik untuk melihat pengaruh pada perlakuan temperatur yang berbeda.

Tabel 4.20. Hasil perhitungan dimensi *error*.

<i>Layer Heigh</i>	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L
0.2	0.143	0.38	0.216
	0.223	0.05	0.26
rata-rata	0.183	0.215	0.238
0.4	-0.02	-0.146	0.323
	0.036	-0.163	0.383
rata-rata	0.008	-0.155	0.353



Gambar 4.22. Efek *Layer Heigh* terhadap dimensi *error*

Berdasarkan Gambar 4.21 menunjukkan diagram dimensi *error* dengan nilai variasi kenaikan dan penurunan pada variasi *Layer Heigh* yang digunakan, pada kasus ini variasi kenaikan dan penurunan diduga karena kurang maksimalnya pada saat proses pencetakan spesimen dengan menggunakan alat 3D printing seperti kondisi *bed* pada mesin yang tidak rata sehingga dapat berpengaruh pada dimensi spesimen yang dicetak.

Pada dimensi W nilai dimensi eror mengalami perbaikan yang mendekati nilai standard (0) pada penggunaan *Layer Heigh* 0.4. Pada dimensi W terjadi fenomena bahwa beberapa spesimen layer terluar (*Sheel thickness*) yang terbentuk tidak rapat, penyebab terjadinya hal ini dapat dikarenakan *temperature* yang digunakan kurang panas pada saat proses *printing* sehingga filament yang terbentuk kurang sempurna pada saat pembentukan lapisan terluar spesimen dan berakibat pada akurasi nilai dimensi W (lebar dalam) spesimen.



Gambar 4.23. *Gap pada lapisan terluar spesimen*

Pada dimensi T nilai penyimpangan dimensi eror mengalami perbaikan yang mendekati nilai standard (0) pada *Layer Heigh* 0.4, hal ini dapat disebabkan karena pada penggunaan *Layer Heigh* 0.4 tumpukan layer yang terbentuk semakin sedikit pada saat proses ekstrusi filament, sehingga dapat mengurangi ketebalan pada spesimen.

Dari data yang diperoleh untuk dimensi L nilai penyimpangan dimensi eror mengalami perbaikan yang mendekati nilai standard (0) pada *Layer Heigh* 0.2, hal ini dapat disebabkan karena pada penggunaan *Layer Heigh* 0.2 diameter ekstrusi yang dihasilkan lebih kecil dan mengurangi jarak ruang kosong yang terbentuk diantara

tumpukan *layer* yang dapat mempengaruhi panjang dari spesimen yang terbentuk pada saat proses *ekstrusi filament*.

Pada penelitian ini penggunaan parameter *feed rate* pada respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik tidak terlalu berpengaruh besar, hal ini dapat dibuktikan pada hasil perhitungan ANOVA bahwa persen kontribusi parameter *feed rate* terhadap nilai akurasi dimensi dan tegangan tarik tidak melebihi angka 20%, nilai ini terlihat lebih kecil apabila dibandingkan dengan nilai kontribusi *Layer Heigh* yang memiliki persen kontribusi diatas 80%.

Bila membandingkan nilai *feed rate* atau kecepatan cetak yang digunakan yaitu 80% dan 100% pada nilai kekuatan tarik dapat disimpulkan bahwa menurunkan nilai *feed rate* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik, secara teori menurunkan kecepatan cetak akan menghasilkan ikatan yang lebih baik dan menghasilkan kekuatan tarik optimum (Crystian dkk 20016). Seperti yang terlihat pada penelitian ini hasil rata-rata nilai tegangan tarik pada penggunaan *feed rate* 80% memiliki nilai sebesar 5.707 MPa dan pada *feed rate* 100% menghasilkan nilai tegangan tarik yang lebih rendah yaitu 5.340 MPa pada penggunaan *Layer Heigh* 0.4.

