

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan 27 spesimen ISO 178:2010 dengan 9 percobaan serta 3 replikasi untuk setiap percobaannya yang di cetak menggunakan 3D *Printing* dengan metode *Fused Deposition Modeling*. Tahap selanjutnya proses pengambilan data spesimen antara lain massa, waktu proses, dimensi produk dan pengujian bending atau lentur. Tabel desain eksperimen (DOE) yang digunakan dalam penelitian di tunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Desain Eksperimen faktorial matrik orthogonal $L_9(3^3)$

Percobaan	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Extrusion Width</i> (mm)	<i>Feedrate</i> (%)	Jumlah Spesimen
1	230	0.2	80	3
2	230	0.3	90	3
3	230	0.4	100	3
4	240	0.2	90	3
5	240	0.3	100	3
6	240	0.4	80	3
7	250	0.2	100	3
8	250	0.3	80	3
9	250	0.4	90	3

4.1.1. Massa dan Waktu Proses

Berdasarkan penimbangan dan pencatatan waktu proses didapat nilai rata-rata dan waktu dari 27 spesimen uji coba. Pada nilai rata-rata massa tiga urutan nilai tertinggi terdapat pada percobaan 2, 9, dan 4, sedangkan tiga urutan proses

pencetakan paling lama berlangsung terdapat pada percobaan 1, 4, dan 7. Tabel rata-rata massa dan waktu pencetakan di tunjukkan pada tabel 4.2.

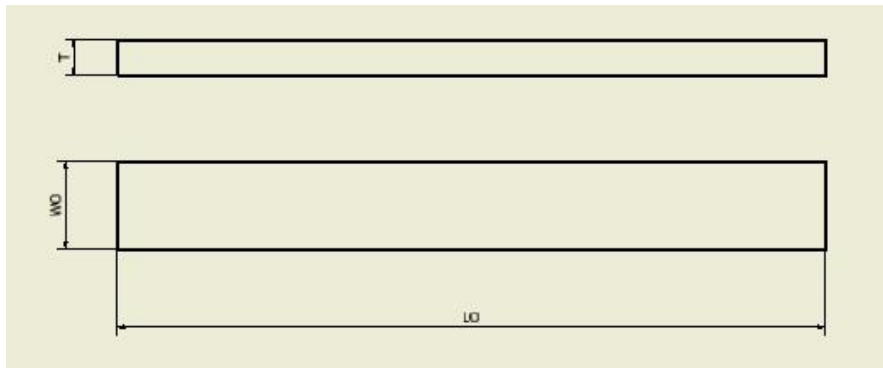
Tabel 4.2. Rata-rata massa dan waktu proses pencetakan

Percobaan	Massa (gram)				Waktu Pencetakan (Menit)
	R1	R2	R3	Rata-rata	
1	2	2	2	2	69.1
2	3	3	3	3	38.4
3	2	2	3	2.33	25.5
4	2	3	2	2.33	61.6
5	2	2	2	2	34.4
6	2	2	2	2	32.1
7	3	2	2	2.33	55.2
8	2	2	2	2	43.3
9	3	2	3	2.67	28.3

Berdasarkan data yang diperoleh pada hasil penimbangan massa dan pencatatan waktu yang di tunjukkan pada tabel 4.2 diperoleh hasil bahwa ada dua parameter yang mempengaruhi waktu pencetakan dan massa produk spesimen yang dibuat yaitu *extrusion width* dan *feedrate*. Nilai *extrusion width* yang besar dengan nilai *feedrate* yang kecil akan meningkatkan massa produk walaupun tidak terlalu signifikan seperti yang di tunjukkan pada percobaan 2 dan 9. Fenomena tersebut terjadi karena pada *extrusion width* yang semakin besar akan memberikan ukuran *line* ekstrusi yang besar pada objek sedangkan *feedrate* berpengaruh pada kecepatan gerak yang semakin lambat akan menghasilkan lebih banyak ekstrusi pada lapisan objek sehingga objek lebih padat dan tidak ada kekosongan pada lapisan objek. Pada parameter *extrusion width* seperti pada percobaan level 1 yang menggunakan nilai ekstrusi 0.2 mm menunjukkan waktu paling lama dalam proses pencetakkan. Hal tersebut dikarenakan pada proses slicer dengan nilai ekstrusi 0.2 mm akan menghasilkan lintasan (*line*) yang lebih banyak dan panjang sehingga *print head* pada mesin 3D-*printer* akan melakukan proses tersebut lebih lama agar lapisan terisi sempurna dan menghasilkan bentuk yang lebih padat di setiap lapisannya.

4.1.2. Hasil Pengukuran Dimensi Produk

Pengukuran dimensi spesimen merujuk pada ukuran standar ISO 178:2010 meliputi *Thickness* (T), *Length* (Lo), *Width* (Wo). pengukuran dilakukan dengan mengukur tiga bagian untuk setiap dimensi dan menghitung rata-rata harga dimensi produk. Tabel pengukuran dimensi ditunjukkan pada tabel 4.3. Proses pengambilan atau pengukuran dimensi ditunjukkan pada desain gambar 4.1.



Gambar 4.1. Desain dimensi spesimen

keterangan :

T : 4 mm (± 0.2)

Wo : 10 mm (± 0.2)

Lo : 80 mm (± 2)

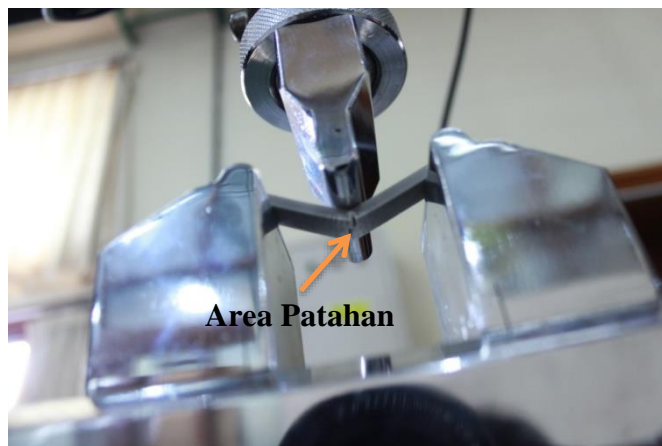
Tabel 4.3 Data hasil pengukuran dimensi spesimen

Percobaan	Length Overall (Lo)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	*Thickness (T)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Widht (Wo)			rata-rata (mm)	Standar Deviasi
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3		
1	80.19	80.23	80.27	80.23	0.04	3.24	3.7	3.82	3.59	0.31	10.32	9.96	9.82	10.03	0.258
2	80.12	80.13	80.7	80.32	0.33	3.35	3.28	3.26	3.30	0.047	10.17	10.17	10.34	10.23	0.098
3	80.18	80.12	80.18	80.16	0.035	3.26	3.76	3.78	3.6	0.295	10.35	10.24	10.15	10.25	0.100
4	80.11	80.19	80.14	80.15	0.040	3.25	3.51	3.55	3.44	0.163	10.21	10.19	10.18	10.19	0.015
5	80.11	80.14	80.07	80.11	0.035	3.41	3.37	3.34	3.37	0.035	10.16	10.25	10.28	10.23	0.062
6	80.14	80.08	80.02	80.08	0.06	3.54	3.6	3.62	3.59	0.042	10.25	10.33	10.34	10.31	0.049
7	80.16	80.18	80.12	80.15	0.031	3.65	3.32	3.25	3.41	0.214	10.22	10.31	10.13	10.22	0.090
8	80.13	80.11	80.16	80.13	0.025	3.58	3.59	3.33	3.5	0.147	10.23	10.42	10.2	10.28	0.119
9	80.1	80.04	80.07	80.07	0.03	3.54	3.58	3.5	3.54	0.040	10.22	10.29	10.1	10.20	0.096

*Pada tabel dimensi diatas terdapat data hasil pengukuran *Thickness* yang menunjukkan data pengukuran tidak optimal berdasarkan standart yang digunakan yaitu ISO 178:2010. Hal tersebut dikarenakan terjadi fenomena penekanan terhadap lapisan, ketika lapisan mendapat tekanan dari atas maka lapisan dibawahnya akan mempunyai ukuran yang lebih pipih sehingga memungkinkan hasil pada pengukuran ketebalan akan berkurang dari harga ukuran standart yang digunakan.

4.1.3. Hasil Pengujian Bending

Pada pengujian Bending atau lentur digunakan metode dan standard ISO 178:2010 menggunakan kecepatan pengujian sebesar 10mm/menit. Proses pengujian bending yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.2. Hasil spesimen yang telah dilakukan uji ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.2. Proses pengujian bending



Gambar 4.3. Spesimen hasil uji bending

Uji bending dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur atau *flexural strength* dari material ABS yang telah divariasikan dalam beberapa parameter dengan metode taguchi. Pengujian bending dilakukan dengan memberikan pembebanan secara perlahan sampai spesimen mencapai titik lelahnya. Pengujian karakteristik bending menyebabkan spesimen pada bagian

yang terbebani atau atas mengalami proses penekanan serta pada bagian penyangga atau bawah mengalami proses tegangan lentur atau *flexural stress* sehingga menyebabkan spesimen sampel mengalami perpatahan pada bagian penyangga karena tidak mampu menahan tegangan tarik.

Setelah dilakukan pengujian bending didapat nilai tegangan lentur atau *flexural stress* disimbolkan dengan Fmax untuk setiap spesimen. percobaan 3 replikasi 2 menghasilkan nilai Fmax tertinggi sedangkan nilai Fmax terendah diperoleh dari hasil percobaan spesimen 4 replikasi 1 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. tabel nilai Fmax ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai *flexural stress*

No	Fmax (N)		
	R1	R2	R3
1	52.67	72.07	68.85
2	59.77	52.77	63.6
3	71.95	86.56	86.5
4	48.56	52.15	62.33
5	75.73	60.98	63.22
6	64.48	72.73	71
7	60.64	61.48	54.05
8	80.97	75.31	66.9
9	69.6	76.16	76.38

No	Spesimen	Max Force (N)	Tegangan Bending (N/mm ²)
1	3R2	86,56	56,80
2	4R1	48,56	31,86



Gambar 4.4. Kurva Fmax percobaan 3 dan 4

Pengujian Bending atau lentur yang telah dilakukan menunjukkan hasil berupa angka kekuatan pembebanan maksimal atau load dan defleksi yang diterima oleh spesimen. Data yang didapat kemudian diolah dan dikonversi menjadi nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* dari setiap spesimen sampel. Kekuatan lentur atau *flexural strength* merupakan hasil perhitungan gaya per satuan luas pada daerah spesimen yang mengalami perpatahan pada pembebanan lentur (Vishu Shah, 1998). persamaan 4.1. adalah rumus untuk menentukan nilai kekuatan lentur atau *flexural strength* dari spesimen. P adalah *load* atau pembebanan yang diterima oleh spesimen, L adalah *length of span* atau *overall length*, serta b x h adalah perkalian antara lebar dan tebal spesimen. Lebar sampel spesimen yang digunakan dalam penelitian 10 mm, sedangkan sampel dengan ketebalan adalah 4 mm.

$$\sigma = \frac{3FL}{2bH^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

Diketahui :

$$F_{3R2} = 86.56 \text{ N}$$

$$F_{4R1} = 48.56 \text{ N}$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$H = 4 \text{ mm}$$

Ditanya :

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

Penyelesaian :

$$\sigma = \frac{3FL}{2bH^2}$$

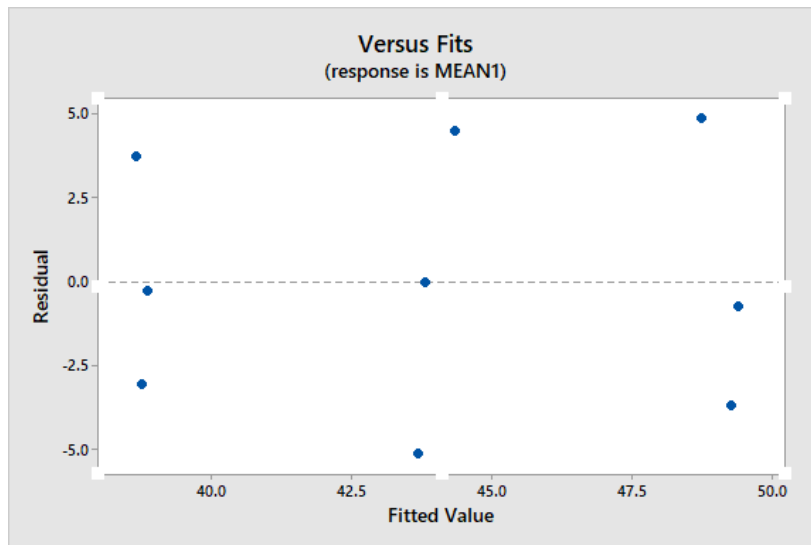
$$\sigma_{3R2} = \frac{3 \times 86.56 \times 70}{2 \times 10 \times 4^2} = 56.80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4R1} = \frac{3 \times 48.56 \times 70}{2 \times 10 \times 4^2} = 31.86 \text{ MPa}$$

Tahap berikutnya dilakukan perhitungan tegangan lentur atau *flexural strength* pada semua spesimen. Data hasil perhitungan *flexural strength* ditunjukkan pada Tabel 4.5.

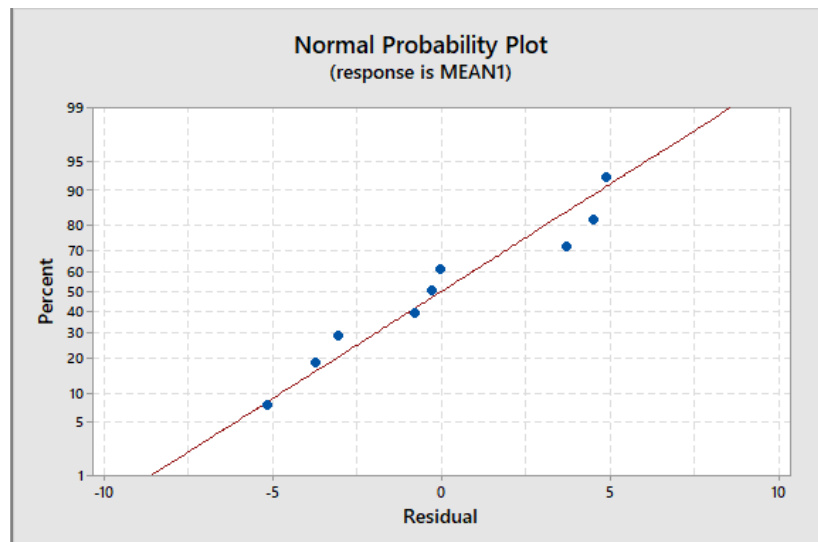
Tabel 4.5. Data hasil perhitungan keseluruhan *flexural strength*

No	Flexural Strength (N/mm ²)			Rata-Rata (MPa)	Standart Deviasi
	R1	R2	R3		
1	34.56	47.29	45.18	42.3433	6.8226
2	39.22	34.63	41.73	38.5267	3.6004
3	47.21	56.8	56.76	53.59	5.5252
4	31.86	34.22	40.9	35.66	4.6888
5	49.69	40.01	41.48	43.7267	5.2164
6	42.31	47.72	46.59	45.54	2.85375
7	39.79	40.34	35.47	38.5333	2.66713
8	53.13	49.42	43.9	48.8167	4.6444
9	45.67	49.98	50.12	48.59	2.5297



Gambar 4.5. Grafik *Versus fit* nilai kekuatan lentur

Berdasarkan grafik *versus fit* diatas menunjukkan bahwa tingkat penyebaran data cukup baik. Pada pola grafik menunjukkan pola titik yang menyebar dan tidak dalam kondisi satu pola tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada pengacakan level parameter yang telah dilakukan berhasil sehingga data tersebut dapat dianalisis menggunakan metode SNR dan ANOVA.



Gambar 4.6. Grafik *Normal probability* nilai kekuatan lentur

Dari garfik *normal probability* diatas menunjukkan tingkat normalitas data. Pola titik yang terbentuk dekat dengan garis lurus melintang. Dapat

disimpulkan distribusi data dalam penelitian sebagian besar terdistribusi normal sehingga dapat dilakukan analisis SNR dan ANOVA.

Setelah melakukan perhitungan pada kekuatan lentur langkah selanjutnya adalah menganalisis dengan perbandingan hasil kekuatan lentur yang didapat dari hasil penelitian dengan data sheet kekuatan lentur pada filament. Data sheet *flexural strength* ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data sheet *flexural strength filament e-sun*

No	Karakteristik	Unit	Nilai
1	<i>Flexural strength</i>	Mpa	66
2	<i>Elongation break</i>	%	22
3	Titik leleh	°C	230-250
4	<i>Density</i>	Kg/m ³	1.04

Dari tabel data sheet diatas dapat diketahui bahwa nilai kekuatan lentur dari material ABS 66 Mpa sedangkan nilai hasil penelitian kekuatan lentur berada pada nilai 56.8 lebih kecil dari kareteristik kekuatan lentur yang terdapat pada data sheet. Hal tersebut dikarenakan adanya beberapa faktor yang berpengaruh pada proses penelitian dan pengujian yang digunakan seperti parameter yang digunakan sampai pada standart yang digunakan dalam pengujian.

4.2 Analisis SNR dan ANOVA

Data yang telah didapat yaitu nilai dimensi produk dan *flexural strength* selanjutnya dikonversi menggunakan analisis *signal to noise ratio* (SNR) dan *analisis of variance* (ANOVA).

4.2.1. *Signal to Noise Ratio*

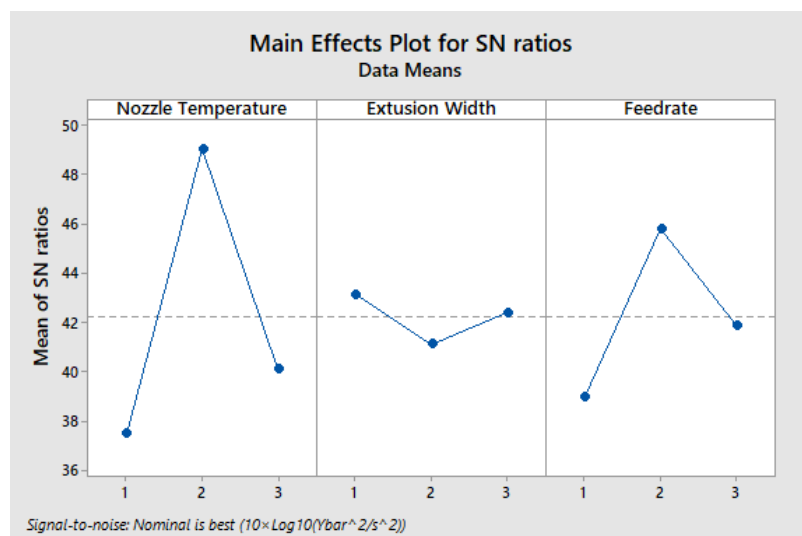
Hasil replikasi dari masing-masing produk digunakan untuk mengkonversi perhitungan *signal to noise ratio* atau SNR. Perhitungan ini menggunakan *software* pendukung Minitab 18 sebagaimana dalam metode penentuan parameter spesimen dengan metode taguchi yang telah dilakukan. Perhitungan SNR ini

bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter yang berpengaruh pada hasil respon spesimen pengujian (Soejanto, 2009: 28). Untuk menghitung nilai SNR menggunakan replikasi atau pengulangan pada spesimen yang dibuat sebanyak tiga kali pada setiap percobaan yaitu R1, R2, R3. Penelitian ini menggunakan analisis dari hasil data yang akan diinput pada *software* Minitab 18. Metode tersebut menyesuaikan target yang akan dituju menggunakan perhitungan SNR.

Metode yang digunakan pada perhitungan SNR untuk respon akurasi dimensi produk dilakukan menggunakan metode SNR *Nominal Is Best* (NIB) atau tertuju pada nilai tertentu karena pada tahap ini pengukuran akurasi dimensi ditujukan untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai penyimpangan terkecil dengan memilih parameter dengan nilai SNR tertinggi. Untuk menampilkan hasil perhitungan nilai SNR dalam bentuk tabel respon dan grafik main effect plot dengan urutan yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi.

Tabel 4.7. Respon SNR dimensi Wo

Level	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extusion Width</i>	<i>Feedrate</i>
1	37.45	43.13	38.97
2	49.06	41.12	45.79
3	40.11	42.37	41.86
Delta	11.61	2.01	6.82
Rank	1	3	2

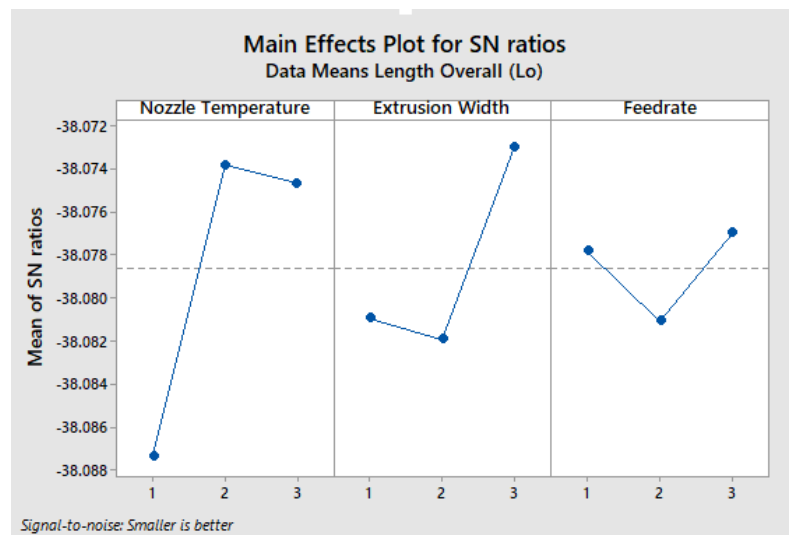


Gambar 4.7 Grafik *main effect plot* SNR dimensi *width*

Berdasarkan tabel 4.7 telah diperoleh respon SNR dimensi *width* (wo) dari level yang diatur secara *random* pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada grafik dan tabel nilai SNR untuk dimensi wo diperoleh level optimal pada *nozzle temperature* level 2 (240°C), *extrusion width* level 1 (0.2 mm), dan *feedrate* level 2 (90%). Grafik pengaruh parameter proses terhadap respon dimensi wo ditunjukkan pada gambar 4.7. parameter proses nozzle temperature pada level 2 memiliki nilai grafik SNR tertinggi sebesar 49.06.

Tabel 4.8. Respon SNR dimensi Lo

Level	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>
1	-38.09	-38.08	-38.08
2	-38.07	-38.08	-38.08
3	-38.07	-38.07	-38.08
Delta	0.01	0.01	0
Rank	1	2	3

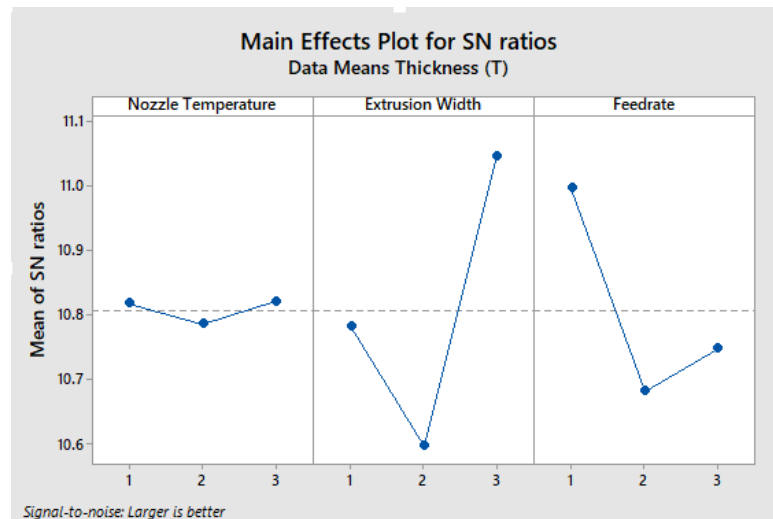


Gambar 4.8. Grafik main effect plot SNR dimensi *Length Overall*

Berdasarkan tabel 4.8 telah diperoleh respon SNR dimensi *Length Overall* (Lo) dari level yang diatur secara *random* pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Metode yang digunakan pada respon SNR Lo ini menggunakan SNR *Small Is Better* (SIB) atau tertuju pada nilai terkecil berdasarkan desain panjang keseluruhan produk. Pada grafik dan tabel nilai SNR untuk dimensi Lo diperoleh level optimal pada *nozzle temperature* level 2 (240°C), *extrusion width* level 3 (0.4 mm), dan *feedrate* level 3 (100%). Grafik pengaruh parameter proses terhadap respon dimensi Lo ditunjukkan pada gambar 4.8. parameter proses *extrusion width* pada level 3 memiliki nilai grafik SNR terkecil sebesar -38.07.

Tabel 4.9. Respon SNR dimensi T

Level	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>
1	10.82	10.78	10.99
2	10.79	10.6	10.68
3	10.82	11.05	10.75
Delta	0.03	0.45	0.31
Rank	3	1	2



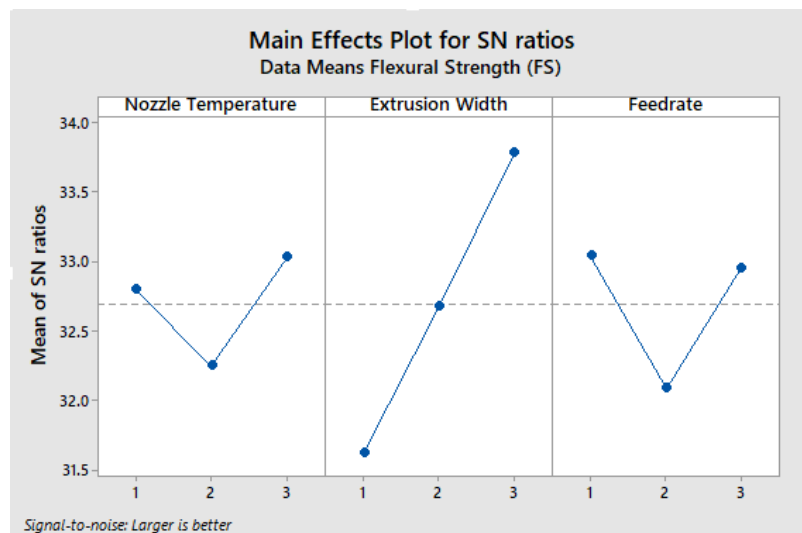
Gambar 4.9. Grafik main effect plot SNR dimensi *Thickness*

Berdasarkan tabel 4.9 telah diperoleh respon SNR dimensi *Thickness* (T) dari level yang diatur secara *random* pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Metode yang digunakan pada respon SNR T ini menggunakan SNR *Larger is Better* (LIB) atau tertuju pada nilai semakin besar semakin baik berdasarkan desain ketebalan produk. Pada grafik dan tabel nilai SNR untuk dimensi T diperoleh level optimal pada *nozzle temperature* level 3 (250°C), *extrusion width* level 3 (0,4 mm), dan *feedrate* level 1 (80%). Grafik pengaruh parameter proses terhadap respon dimensi T ditunjukkan pada gambar 4.9. parameter proses *extrusion width* pada level 3 memiliki nilai grafik SNR terbesar sebesar 11,05.

Metode perhitungan SNR terakhir terhadap respon *Flexural Strength* (FS) atau kekuatan lentur dilakukan menggunakan metode SNR *Larger Is Better* (LIB) atau semakin besar semakin baik karena pada tahap ini yang dituju adalah menentukan parameter yang menghasilkan nilai *Flexural Strength* atau kekuatan lentur tertinggi dengan pemilihan level parameter dengan nilai SNR tertinggi. Karakteristik kualitas SNR LIB terdiri dari angka nol sampai tak terhingga (∞) dan bukan nilai negative dengan nilai target yang diharapkan tidak nol atau tertuju pada nilai terbesar.

Tabel 4.10. Respon SNR Kekuatan Lentur

Level	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>
1	32.8	31.62	33.03
2	32.25	32.68	32.08
3	33.02	33.77	32.95
Delta	0.78	2.15	0.95
Rank	3	1	2



Gambar 4.10. Grafik *main effect plot* SNR Kekuatan Lentur

Berdasarkan tabel 4.10 telah diperoleh respon SNR *Flexural Strength* (FS) dari level yang diatur secara *random* pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Metode yang digunakan pada respon SNR FS

ini menggunakan SNR *Larger is Better* (LIB) atau tertuju pada nilai semakin besar semakin baik berdasarkan desain ketebalan produk. Pada grafik dan tabel nilai SNR untuk dimensi FS diperoleh level optimal pada *nozzle temperature* level 3 (250°C), *extrusion width* level 3 (0,4 mm), dan *feedrate* level 1 (80%). Grafik pengaruh parameter proses terhadap respon dimensi FS ditunjukkan pada gambar 4.10. parameter proses *extrusion width* pada level 3 memiliki nilai grafik SNR terbesar sebesar 33,77.

Tabel respon SNR menyajikan level yang paling optimal dengan tingkat pengaruh parameter proses terhadap variabel respon. Tabel respon menunjukkan tingkat pengaruh faktor dengan melihat selisih nilai terbesar atau delta antara level terkecil sampai level terbesar yaitu level satu sampai tiga. Pada grafik respon SNR Kekuatan Lentur gambar 4.10 menunjukkan faktor pengaruh tertinggi pada parameter *extrusion width* dengan nilai delta sebesar 2,15. Hal ini menunjukkan bahwa pada pengaruh pengacakan level satu sampai tiga dimana pada respon SNR kekuatan lentur parameter proses *extrusion width* memiliki nilai paling besar dan paling berpengaruh terhadap pengujian kekuatan lentur objek. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai delta yang semakin besar yang di tunjukkan pada tabel dan grafik respon semakin besar juga pengaruh pengacakan level pada parameter proses yang digunakan. Hal ini berlaku pada semua respon variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan menggunakan analisis SNR ini dapat diketahui level dari parameter proses mana yang paling optimal terhadap hasil eksperimen. Sedangkan untuk menganalisis dan menguraikan seluruh nilai variasi atas bagian-bagian yang diteliti dapat dilakukan dengan pengelompokkan terhadap hasil percobaan sesuai sumber variasi menggunakan analisis varian atau ANOVA.

4.2.2. Analysis of Variance

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui peranan setiap parameter proses terhadap spesimen dengan melakukan pengelompokkan hasil percobaan secara statistik sesuai sumber variasi. Faktor-faktor yang termasuk

dalam pengelompokan analisis ANOVA adalah ST, Sm, Mq, Sq_A (setiap faktor), St, F-ratio, Df, Sq', P-value, dan ρ%. Pada penelitian ini akan menentukan nilai *critical significant* atau *alpha-error* α: 0.05 (5%). Nilai α: 0.05 menunjukkan penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklarifikasi sebagian faktor-faktor penting seperti (F-ratio) dan (P-value). Perhitungan analisis varian pada hasil dimensi T adalah sebagai berikut:

Keterangan:

A = Nozzle Temperature

B = Extrusion Width

C = Feed Rate

e = Error

T = Jumlah total

N = Jumlah eksperimen

n = Jumlah eksperimen pada faktor

1. Jumlah Kuadrat Total Data (ST)

$$\begin{aligned}
 ST &= \sum y^2 \\
 &= 3,58667^2 + 3,29667^2 + 3,6^2 + 3,43667^2 + 3,37333^2 + 3,58667^2 + 3,40667^2 + \\
 &\quad 3,5^2 + 3,54^2 \\
 ST &= 109,1334929
 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Mean (Sm)

$$\begin{aligned}
 Sm &= N \times \bar{y}^2 \\
 &= 9 \times 3,48074^2 = 109,0399585
 \end{aligned}$$

3. Jumlah Derajat Kebebasan (Df, Df_e)

$$Df = level - 1$$

$$= 3 - 1 = 2$$

$$\begin{aligned} Dfe &= VoA - \sum Df \\ &= N - 1 - \sum Df \\ &= 9 - 1 - 6 = 2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SqA &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{10,4833^2}{3} + \frac{10,3967^2}{3} + \frac{10,4467^2}{3} - \frac{31,3267^2}{9} \\ &= 0,001259902223 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SqB &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{10,43^2}{3} + \frac{10,17^2}{3} + \frac{10,7267^2}{3} - \frac{31,3267^2}{9} \\ &= 0,05172730889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SqC &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{10,6733^2}{3} + \frac{10,2733^2}{3} + \frac{10,38^2}{3} - \frac{31,3267^2}{9} \\ &= 0,02790493889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sqe &= ST - Sm - SqA - SqB - SqC \\ &= 109,1334929 - 109,0399585 - 0,001259902223 \\ &\quad - 0,05172730889 - 0,02790493889 \\ &= 0,01264225 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (St)

$$\begin{aligned} St &= SqA + SqB + SqC + Sqe \\ &= 0,001259902223 + 0,05172730889 + 0,02790493889 \\ &\quad + 0,01264225 \\ &= 0,0935344 \end{aligned}$$

6. Rata-Rata Jumlah Kuadrat (M_{qA} , M_{qB} , M_{qC} , M_{qe})

$$\begin{aligned}M_{qA} &= \frac{SqA}{DfA} \\ &= \frac{0,001259902223}{2} = 0,0006299511115\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{qB} &= \frac{SqB}{DfB} \\ &= \frac{0,05172730889}{2} = 0,02586365445\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{qC} &= \frac{SqC}{DfC} \\ &= \frac{0,02790493889}{2} = 0,01395246945\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{qe} &= \frac{Sqe}{Dfe} \\ &= \frac{0,01264225}{2} = 0,006321125\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{qt} &= \frac{St}{Dft} \\ &= \frac{0,0935344}{8} = 0,0116918\end{aligned}$$

7. Faktor Rasio (F-ratio)

$$\begin{aligned}F - ratio A &= \frac{M_{qA}}{M_{qe}} \\ &= \frac{0,0006299511115}{0,006321125} = 0,09965806901\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F - ratio B &= \frac{M_{qB}}{M_{qe}} \\ &= \frac{0,02586365445}{0,006321125} = 4,091622053\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F - ratio C &= \frac{M_{qC}}{M_{qe}} \\ &= \frac{0,01395246945}{0,006321125} = 2,207276308\end{aligned}$$

8. Jumlah Kuadrat Sesungguhnya (SqA' , SqB' , SqC' , Sqe')

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

$$= 0,001259902223 - 2 \times 0,006321125$$

$$= -0,01138234778$$

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

$$= 0,05172730889 - 2 \times 0,006321125$$

$$= 0,03908505889$$

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

$$= 0,02790493889 - 2 \times 0,006321125$$

$$= 0,01526268889$$

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

$$= 0,0935344 - (-0,01138234778) - 0,03908505889$$

$$- 0,01526268889$$

$$= 0,050569$$

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

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

$$= \frac{-0,01138234778}{0,0935344} \times 100\% = -12,16915678\%$$

$$\rho B = \frac{SqB'}{St} \times 100\%$$

$$= \frac{0,03908505889}{0,0935344} \times 100\% = 41,78682804\%$$

$$\rho C = \frac{SqC'}{St} \times 100\%$$

$$= \frac{0,01526268889}{0,0935344} \times 100\% = 16,31772791\%$$

$$\rho e = \frac{Sqe'}{St} \times 100\%$$

$$= \frac{0,050569}{0,0935344} \times 100\% = 54,06460083\%$$

10. *Probability values (P-value)*

Nilai P dihitung dengan metode interpolasi menggunakan angka ketetapan pada tabel distribusi F berdasarkan nilai *F-ratio* yang telah didapat. Nilai Df_1 (Df pada faktor) dan Df_2 (Df *error*) digunakan untuk menentukan nilai α berdasarkan data pada tabel distribusi F. Nilai P dapat dilihat dari tabel analisis ANOVA pada *software* minitab.

Tahap selanjutnya hasil analisis perhitungan dapat dikelompokkan dalam tabel ANOVA. Hal yang perlu diperhatikan pada tabel ANOVA yaitu nilai *F-ratio*, *P-value* dan ρ untuk menentukan tingkat pengaruh parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini. Terdapat nilai F yang tersaji dalam tabel ANOVA yang dapat digunakan untuk uji hipotesis atau uji nilai nilai F. pada tabel ANOVA nilai F yang tercantum adalah nilai *F-ratio*. Untuk dapat melakukan uji nilai F maka diperlukan nilai F-tabel yang diperoleh menggunakan tabel distribusi F. Nilai F-tabel dicari berdasarkan nilai α yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan α : 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. Berdasarkan nilai F (0,5, 2, 2) didapat nilai F tabel yaitu sebesar 19,00. Selanjutnya dilakukan uji F, apabila F-hitung memiliki nilai lebih kecil dari F-tabel ($F_{ratio} < F_{tabel}$), maka hipotesis (H_0) diterima yang berarti tidak ada pengaruh perlakuan pada faktor. Namun jika nilai F hitung lebih besar dari F tabel ($F_{ratio} > F_{tabel}$), maka hipotesis (H_0) ditolak atau ada pengaruh pada perbedaan perlakuan (Soejanto, 2009:27).

Besarnya nilai *P-value* digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi parameter proses yang digunakan sesuai dengan nilai *critical significant* atau α (*alpha error*) yang telah digunakan sebagai acuan awal pengaruh parameter proses. Jika nilai *P-value* pada parameter proses lebih kecil dari α (0.05) maka faktor parameter tersebut berpengaruh secara signifikan jika sebaliknya nilai *P-value* lebih besar dari nilai α (0.05) maka faktor parameter tidak berpengaruh secara signifikan dan memungkinkan adanya faktor eksternal dari parameter yang digunakan. Selanjutnya terdapat nilai ρ yang menunjukkan tingkat kontribusi suatu faktor yang ditunjukkan dalam satuan persen. Semakin besar kontribusi

faktor ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai ρ terhadap suatu respon. Tabel ANOVA untuk dimensi W_o ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *width* (W_o)

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
Nozzle Temperature	0.012	2	0.006	0.7652	- 0.0037	0.622	-7.1074
Extrusion Width	0.0223	2	0.0111	1.4124	0.0065	0.45	12.4873
FeedRate	0.0019	2	0.0009	0.1248	- 0.0138	0.933	-26.4988
<i>e</i>	0.0157	2	0.0078		0.0631		121.1189
St	0.0521	8	0.00652				100
Mean	939.2815153	2					
ST	939.333	9					

Berdasarkan hasil data perhitungan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.11 dapat dilihat nilai persen kontribusi dari parameter proses terhadap respon dimensi *width* atau W_o . Pada tabel diatas nilai error berada pada nilai persen kontribusi tertinggi yaitu 121.1189% dan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat parameter lain yang lebih besar pengaruhnya terhadap respon dimensi W_o dibandingkan dengan ketiga parameter yang digunakan. Untuk nilai F_{H_0} dari ketiga faktor yang digunakan dapat diterima karena semua faktor tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. Sedangkan untuk nilai *P-value* dimensi W_o parameter proses yang digunakan memiliki nilai yang tidak sesuai kriteria karena nilai yang terdapat lebih besar dari nilai α : 0.05, yang berarti semua faktor tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon dimensi W_o .

Tabel 4.12. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *Length* (Lo)

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
<i>Nozzle Temperature</i>	0.0291	2	0.0145	7.7691	0.0254	0.114	53.4841
<i>Extrusion Width</i>	0.0122	2	0.0061	3.2552	0.0084	0.235	17.8194
<i>FeedRate</i>	0.0023	2	0.0011	0.6319	- 0.0013	0.611	-2.9082
<i>e</i>	0.0037	2	0.0018		0.015		31.6047
St	0.0475	8	0.00593				100
Mean	57823.6834	2					
ST	57823.73	9					

Berdasarkan hasil data perhitungan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.12 dapat dilihat nilai persen kontribusi dari parameter proses terhadap respon dimensi *Length* atau Lo. Pada tabel diatas nilai *extrusion width* berada pada nilai persen kontribusi tertinggi yaitu 53.4841% dan dapat ditarik kesimpulan bahwa parameter proses *extrusion width* lebih besar pengaruhnya terhadap respon dimensi Lo dibandingkan dengan parameter lain yang digunakan. Untuk nilai F Ho dari ketiga faktor yang digunakan dapat diterima karena semua faktor tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. Sedangkan untuk nilai P-value dimensi Lo parameter proses yang digunakan memiliki nilai yang tidak sesuai kriteria karena nilai yang terdapat lebih besar dari nilai α : 0.05, yang berarti semua faktor tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon dimensi Lo.

Tabel 4.13. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *Thickness* (T)

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
<i>Nozzle Temperature</i>	0.0012	2	0.0006	0.0996	-0.0113	0.903	- 12.1691
<i>Extrusion Width</i>	0.0517	2	0.0258	4.0916	0.039	0.186	41.7868
<i>FeedRate</i>	0.0279	2	0.0139	2.2072	0.0152	0.292	16.3177
<i>E</i>	0.0126	2	0.0063		0.0505		54.0646
St	0.0935	8	0.0116				100
Mean	109.0399	2					
ST	109.1334	9					

Berdasarkan hasil data perhitungan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.13 dapat dilihat nilai persen kontribusi dari parameter proses terhadap respon dimensi *Thickness* atau T. Pada tabel diatas nilai error berada pada nilai persen kontribusi tertinggi yaitu 54.0646% dan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat parameter lain yang lebih besar pengaruhnya terhadap respon dimensi T dibandingkan dengan ketiga parameter yang digunakan. Untuk nilai F H₀ dari ketiga faktor yang digunakan dapt diterima karena semua faktor tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. Sedangkan untuk nilai P-*value* dimensi T parameter proses yang digunakan memiliki nilai yang tidak sesuai kriteria karena nilai yang terdapat lebih besar dari nilai α : 0.05, yang berarti semua faktor tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon dimensi T.

Tabel 4.14. Persen kontribusi parameter terhadap *Flexural Strength*

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	$\rho\%$
<i>Nozzle Temperature</i>	23.8157	2	11.9078	0.054	-20.2199	0.649	-7.4674
<i>Extrusion Width</i>	162.3126	2	81.1563	3.6859	118.277	0.213	43.681
<i>FeedRate</i>	40.6102	2	20.3051	0.9222	-3.4254	0.52	-1.265
<i>E</i>	44.0356	2	22.0178		176.1427		65.0514
<i>St</i>	270.7743	8	33.8467				100
Mean	17364.7970	2					
ST	17635.5714	9					

Berdasarkan hasil data perhitungan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.14 dapat dilihat nilai persen kontribusi dari parameter proses terhadap respon *Flexural Strength* atau kekuatan lentur. Pada tabel diatas nilai error berada pada nilai persen kontribusi tertinggi yaitu 65.0514% dan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat parameter lain yang lebih besar pengaruhnya terhadap respon kekuatan lentur dibandingkan dengan ketiga parameter yang digunakan. Untuk nilai F H₀ dari ketiga faktor yang digunakan dapt diterima karena semua faktor tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan. Sedangkan untuk nilai P-*value* kekuatan lentur parameter proses yang digunakan memiliki nilai yang tidak sesuai kriteria karena nilai yang terdapat lebih besar dari nilai α :

0.05, yang berarti semua faktor tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon kekuatan lentur.

4.3 Analisis Parameter Optimum

Berdasarkan analisis dari nilai SNR dan pengidentifikasian menggunakan ANOVA dapat diketahui level optimal dan parameter proses paling berpengaruh pada masing-masing hasil variabel respon yang digunakan dalam penelitian. Proses parameter optimal berdasarkan analisis SNR ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Level proses parameter optimal berdasarkan analisis SNR

Respon	<i>Nozzle Temperature</i> (°)	<i>Extrusion Width</i> (mm)	<i>Feedrate</i> (%)
Dimensi Wo	240	0,2	90
Dimensi Lo	240	0,4	100
Dimensi T	250	0,4	80
<i>Flexural Strength</i>	250	0,4	80

Berdasarkan data pada tabel 4.15 menunjukkan persamaan hasil level proses parameter optimal untuk *nozzle temperature*, *extrusion width*, dan *feedrate* terhadap respon akurasi *Thickness* dan *Flexural Strength* sedangkan terjadi perbedaan pada akurasi dimensi *Width* dan *Length* yang berada pada nilai *extrusion width* dan *feedrate*. Hal tersebut menunjukkan pada pemilihan level parameter proses optimal perlu dipertimbangkan lagi dengan cara melihat pengaruh kontribusi dan faktor yang mempengaruhi masing-masing parameter proses karena pada optimasi level untuk respon akurasi dimensi memiliki karakteristik tersendiri. Untuk mengetahui faktor kontribusi dari masing-masing parameter proses dapat dilakukan dengan melihat tabel tingkat parameter proses optimal dari analisis SNR yang ditunjukkan pada tabel 4.16. serta parameter proses optimal berdasarkan analisis perhitungan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.17.

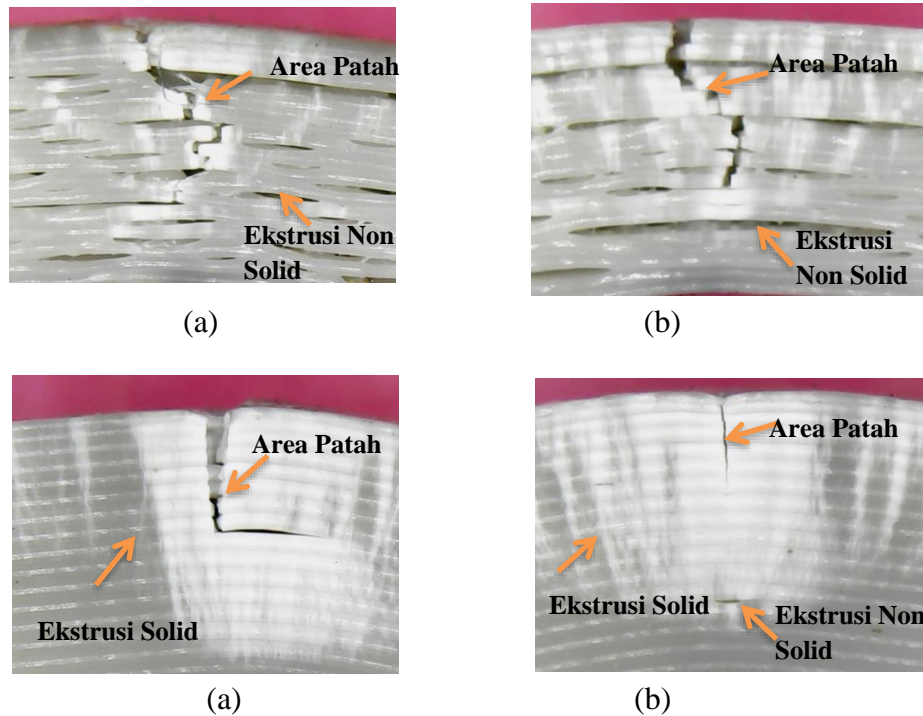
Tabel 4.16. Proses parameter optimal berdasarkan analisis SNR

Rank	Dimensi Wo	Dimensi Lo	Dimensi T	<i>Flexural Strength</i>
1	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Extrusion Width</i>
2	<i>Feedrate</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Feedrate</i>
3	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Nozzle Temperature</i>

Tabel 4.17 Proses Parameter optimal berdasarkan analisis ANOVA

Rank	Dimensi Wo	Dimensi Lo	Dimensi T	<i>Flexural Strength</i>
1	<i>Extrusion Width</i>	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Extrusion Width</i>
2	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Extrusion Width</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Feedrate</i>
3	<i>Feedrate</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Nozzle Temperature</i>	<i>Nozzle Temperature</i>

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel analisis SNR dan ANOVA dapat diambil kesimpulan bahwa tingkatan urutan parameter proses yang berpengaruh menunjukkan hasil yang sama terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan lentur. Pramaeter proses yang paling berpengaruh terhadap keduanya didominasi pada parameter *extrusion width* yang menduduki *rank* pertama dan diikuti dengan *nozzle temperature* pada urutan kedua. Hal tersebut ditunjukkan pada respon utama yaitu kekuatan lentur (ρ : 43,6810%), dimensi T (ρ : 41,7868%), dan pada peringkat ketiga dimensi Wo (ρ : 12,4873%). Dari uraian nilai diatas *extrusion width* menjadi parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pada penelitian dibandingkan dengan parameter lainnya.



Gambar 4.11. Foto makro area patahan

Berdasarkan gambar 4.11. diatas menunjukkan foto makro perbesaran area patahan pada hasil pengujian bending. Terlihat pada gambar struktur mikro spesimen perbandingan dua spesimen dengan hasil terbaik dan terburuk berdaarkan struktur patahan. Gambar pertama menunjukkan patahan yang tidak beraturan dikarenakan strruktur spesimen yang terbentuk terdapat banyak rongga saat proses ekstrusi sehingga menimbulkan patahan yang tidak beraturan dan mempengaruhi kekuatan dari produk tersebut. Gambar kedua menunjukkan patahan yang sejajar dan terlihat dominan lebih solid atau padat pada lapisan spesimen yang terbentuk, proses ekstrusi yang terjadi baik sehingga kekuatan dari dari produk lebih baik.

Pada penelitian ini parameter proses *extrusion width* menunjukkan hasil pengaruh dominan untuk respon akurasi dimensi produk. Untuk memperjelas akan tingkat nilai akurasi dimensi produk dilakukan perhitungan dimensi *error*. Perhitungan tersebut dapat menunjukkan nilai penyimpangan terhadap dimensi yang terjadi pada setiap produk yang diakibatkan adanya variasi nilai parameter

proses *extrusion width*. Perhitungan dimensi *error* dilakkan dengan menghitung selisih ukuran dimensi produk dengan ukuran standar ISO 178:2010. Perhitungan dimensi *error* diuraikan sebagai berikut:

$$\Delta D = D_1 - D_2 \dots \dots \dots (4.2.)$$

Dimana

ΔD : dimensi *error*

D_1 : dimensi produk

D_2 : dimensi standar

Berdasarkan perhitungan dengan formula atau rumus yang tercantum didapatkan data dimensi *error* yang terjadi pada penelitian ini dengan dimensi W_o , L_o , dan T . data perhitungan dimensi error ditunjukkan apada tabel 4.18. Tahap selanjutnya dari data yang didapat diambil data rata-rata dimensi *error* yang akan disajikan dalam bentuk diagram batang utnuk melihat pengaruh variasi yang diberikan pada *extrusion width* terhadap dimensi *error*. Grafik atau diagram batang pengaruh *extrusion width* ditunjukkan pada gambar 4.13.

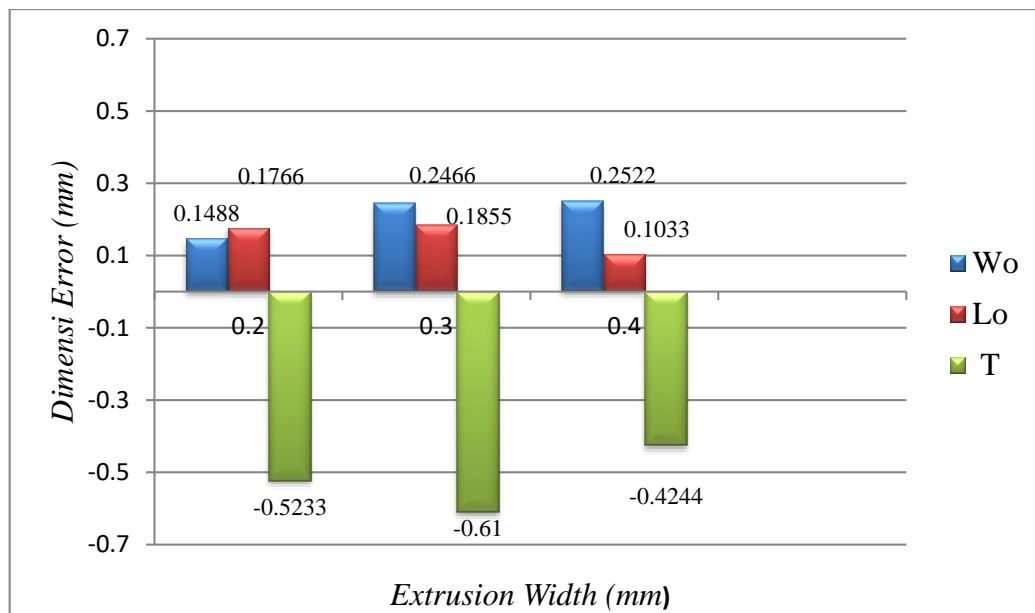
Tabel 4.18. Data dimensi *error*

<i>Extrusion Width</i>	Wo (mm)	Lo (mm)	T (mm)
0.2 mm	0.0333	0.23	-0.4133
	0.1933	0.1466	-0.5633
	0.22	0.1533	-0.5933
Rata-rata	0.1488	0.1766	-0.5233
0.3 mm	0.2266	0.3166	-0.7033
	0.23	0.1066	-0.6266
	0.2833	0.1333	-0.5
Rata-rata	0.2466	0.1855	-0.61
0.4 mm	0.2466	0.16	-0.4
	0.3066	0.08	-0.4133
	0.2033	0.07	-0.46
Rata-rata	0.2522	0.1033	-0.4244

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel 4.18. hasil perhitungan dimensi *error* memiliki nilai penyimpangan ukuran yang berbeda pada setiap spesimen yang disebabkan oleh beberapa faktor kemungkinan antara lain disebabkan oleh hasil kualitas ikatan lapisan terhadap nilai *extrusion width* yang digunakan. Disisi lain sifat polimer yang elastis dalam arti lain dapat menyusut dan membesar yang akan mempengaruhi dimensi pada produk dan mengakibatkan nilai penyimpangan dimensi menjadi kurang baik.

Dari data yang diperoleh dari hasil perhitungan selisih rata-rata dari setiap dimensi dengan acuan pada ukuran standar ISO 178:2010 menghasilkan data penyimpangan dimensi Wo dan Lo memiliki nilai rata-rata positif dibandingkan dengan dimensi T yang mempunyai nilai negatif yang artinya pada dimensi T mengalami penyusutan ukuran dari ukuran standar yang digunakan. Rata-rata penyimpangan dimensi terbaik untuk dimensi Wo ditunjukkan pada nilai

extrusion width 0,2 mm karena nilai selisih lebih sedikit dibandingkan nilai *extrusion width* 0,3 mm dan 0,4 mm. Untuk rata-rata penyimpangan dimensi Lo paling baik didapat pada nilai *extrusion width* 0,4 mm, sedangkan untuk dimensi T yang mengalami penyusutan dan bernilai negatif didapat penyimpangan terbaik pada *extrusion width* 0,4 mm. Data yang diperoleh tersebut dapat disimpulkan bahwa pada semua spesimen mengalami penambahan ukuran dimensi pada Wo dan Lo dan penyusutan pada dimensi T. Semakin kecil nilai penyimpangan dimensi error maka semakin baik nilai keakurasian dimensi pada produk yang dicetak.



Gambar 4.12. Pengaruh *extrusion width* terhadap dimensi error

4.4 Eksperimen Konfirmasi

Hasil kekuatan lentur yang telah didapatkan dari analisis SNR dan ANOVA akan digunakan untuk proses selanjutnya yakni pemilihan parameter proses, level dan untuk menentukan kesimpulan dari hasil kombinasi level paling optimal terhadap respon yang diakibatkan adanya pengacakan kombinasi level pada setiap percobaan yang dihasilkan oleh desain faktorial metode taguchi. Desain eksperimen berbentuk suatu fraksional atau pemisahan beberapa bagian yang membuat kemungkinan kombinasi level dan parameter proses yang paling

optimal tidak ada pada kombinasi level percobaan *orthogonal array*. Oleh karena itu eksperimen konfirmasi pada percobaan ini harus dilakukan sebagai pembuktian kombinasi level parameter proses optimal yang telah dihasilkan dari analisis SNR dan ANOVA.

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk pengujian terhadap kombinasi level parameter proses dari hasil analisis SNR dan ANOVA. Eksperimen konfirmasi dilakukan pada parameter optimal untuk respon nilai kekuatan lentur atau *flexural strength* (FS). Parameter proses optimal yang digunakan sebagai parameter eksperimen konfirmasi sesuai dengan hasil analisis SNR *larger is better* (LIB) nilai respon kekuatan lentur. Data parameter optimal yang digunakan eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.19. Level parameter proses optimal kekuatan lentur

Parameter Proses	Level Optimal
<i>Nozzle Temperature</i>	250 °C
<i>Extrusion Width</i>	0.4 mm
<i>Feed Rate</i>	80 %

Dalam melakukan eksperimen konfirmasi perlu dilakukan beberapa tahap proses seperti pooling-up faktor yang tidak berpengaruh secara signifikan pada hasil analisis ANOVA kekuatan lentur, melakukan perhitungan prediksi rata-rata (μ) kekuatan lentur pada eksperimen konfirmasi dan perhitungan interval kepercayaan.

4.4.1. Pooling Faktor Tidak Signifikan

Pada tabel ANOVA terdapat sebuah nilai *F-ratio* dan *P-value* yang menunjukkan tingkat pengaruh signifikan terhadap parameter proses respon nilai kekuatan lentur. Berdasarkan data dari tabel distribusi F (0.5,2,2) yaitu sebesar 19,00 dan nilai *P-value* terdapat pada nilai α : 0.5, parameter proses secara keseluruhan digunakan dalam penelitian memiliki pengaruh dan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap respon kekuatan lentur. Pada tabel ANOVA hanya

menunjukkan nilai signifikan atau tidak suatu faktor, oleh karena itu perlu dilakukan *pooling* atau penambahan jumlah kuadrat dari faktor yang memiliki nilai Sq (jumlah kuadrat) terkecil sampai memiliki setengah dari nilai Df (derajat kebebasan) untuk menghindari suatu kesalahan dalam proses analisis. Penelitian ini menggunakan desain faktorial *orthogonal arrays* L9 (3^3) dengan nilai Df sebanyak 6 dengan demikian *pooling* dilakukan hingga Df bernilai 4 dengan menghilangkan satu parameter proses, selanjutnya akan dilakukan input nilai Sq dan Df pada faktor *error*. Parameter dengan nilai Sq terkecil dihasilkan oleh parameter *nozzle temperature* (SqA) yaitu sebesar 23.8157. pada tahap perhitungan *pooling* parameter proses faktor yang tidak signifikan diasmsikan menjadi bagian dari faktor *error* atau dihilangkan dalam analisis variasi parameter. Perhitungan *pooling* faktor *error* disajikan sebagai berikut:

$$1. \text{ Sq (pooled } e) = \text{Se} + \text{SqA}$$

$$= 44,0356 + 23,8157 = 67,8513$$

$$2. \text{ Df (pooled } e) = \text{Df}_e + \text{Df}_A$$

$$= 2 + 2 = 4$$

Berdasarkan hasil perhitungan *pooling* faktor *error* selanjutnya akan dilakukan tahao perhitungan ulang analisis ANOVA. Hasil *pooling* akan dimasukkan dalam tabel ANOVA akhir. Tabel ANOVA akhir ditunjukkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20. Hasil analisis ANOVA akhir

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
<i>Extrusion Width</i>	162.3126	2	81.156	4.784	128.388	0.294	47.415
<i>FeedRate</i>	40.6102	2	20.305	1.197	6.686	-	2.469
<i>e</i>	67.8513	4	16.962		135.700		50.116
St	270.7741	8	33.846				100
Mean	17364.7970	2					
ST	17635.5714	9					

4.4.2. Rata-Rata Prediksi dan Interval Kepercayaan

Perhitungan rata-rata dalam prediksi (μ) terhadap nilai kekuatan lentur yang ditunjukkan untuk memperkirakan nilai kekuatan lentur berdasarkan hasil analisis kombinasi level parameter proses optimal yang didapat dari hasil penelitian. Nilai μ menunjukkan nilai kisaran pada interval kepercayaan merupakan acuan batas nilai minimum dan maksimum untuk hasil penelitian yang diharapkan akan berada dalam interval kepercayaan. *Confidence interval* (CI) atau tingkat kepercayaan ditentukan dengan nilai sebesar 95% atau α : 0.05 yang berarti 95% dari rata-rata hasil akan berada pada interval yang telah ditentukan. Pada nilai α : 0.05 akan digunakan untuk mencari nilai F-tabel pada tabel distribusi F yang selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan CI. Berikut adalah perhitungan nilai μ_{prediksi} TS dan CI.

Diketahui:

$$\bar{Y} \quad : 43,952 \text{ MPa}$$

$$\bar{A}_3 \quad : 45,313 \text{ MPa}$$

$$\bar{B}_3 \quad : 49,24 \text{ MPa}$$

$$\bar{C}_1 \quad : 45,566 \text{ MPa}$$

$$F_{(0.05;1;4)} \quad : 7.71$$

$$MSe_{\text{ (pooled e TS) }} \quad : 16,962$$

$$N \quad : 9$$

$$Df_{\mu} \quad : 1$$

$$Df \text{ faktor} \quad : 6$$

Ditanya:

a. μ_{prediksi} FS

b. CI

Penyelesaian:

a. μ_{prediksi} FS

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{y} + (\bar{A}_3 - \bar{y}) + (\bar{B}_1 - \bar{y}) + (\bar{C}_2 - \bar{y}) \\ &= 43,952 + (45,313 - 43,952) + (49,24 - 43,952) \\ &\quad + (45,566 - 43,952) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 52,215 \text{ MPa} \\
\text{b. CI} &= \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Mse \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)} \\
n_{eff} &= \frac{N}{df_{\mu} + df_A + df_B + df_C} \\
n_{eff} &= \frac{9}{1+6} = \frac{9}{7} = 1,2857 \\
\text{CI} &= \pm \sqrt{7,71 \times 16,962 \times \left(\frac{1}{1,2857}\right)} \\
&= \pm 10,085
\end{aligned}$$

Dengan demikian perhitungan $\mu_{prediksi}$ dan CI didapat nilai interval kepercayaan untuk rata-rata prediksi level parameter proses optimal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\mu_{prediksi} - \text{CI} &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + \text{CI} \\
52,215 - 10,085 &\leq 52,215 \leq 52,215 + 10,085 \\
42,13 \text{ MPa} &\leq 52,215 \text{ MPa} \leq 62,3 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

4.4.3 Hasil dan Analisis Eksperimen Konfirmasi

Tahap penelitian tentang eksperimen konfirmasi dilakukan dengan cara membuat produk spesimen yang proses pembuatannya menggunakan hasil kombinasi level optimal berdasarkan hasil analisis SNR. Pada tahap eksperimen konfirmasi juga diperlukan hasil perhitungan prediksi untuk memperkirakan nilai dari kekuatan lentur yang akan diperoleh dalam penelitian. Pembuatan spesimen eksperimen konfirmasi berjumlah satu percobaan dengan tiga kali replikasi. Tahap selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan lentur dengan uji bending menggunakan standar pengujian ISO 178:2010 dengan menggunakan kecepatan pembebanan sebesar 10 mm/menit. Hasil pengujian bending untuk kekuatan lentur spesimen eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada gambar 4.13.



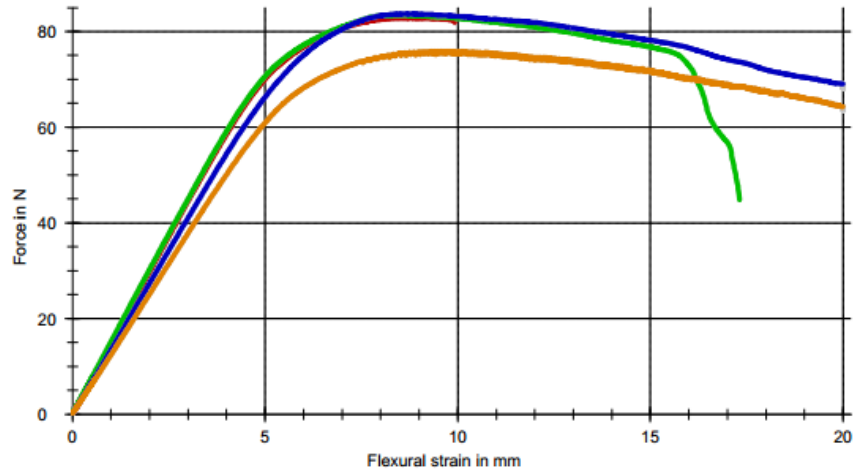
Gambar 4.13. Spesimen hasil pengujian eksperimen konfirmasi

Berdasarkan gambar 4.14. Hasil pengujian bending untuk mengetahui kekuatan lentur spesimen eksperimen konfirmasi menunjukkan hasil maksimal. Dapat dilihat dari titik pembebanan untuk kelenturan spesimen hasil patahan tidak terlalu lebar atau tidak terlalu tampak jelas disimpulkan dari hasil tersebut bahwa kekuatan dari produk spesimen eksperimen konfirmasi memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari spesimen sebelumnya yang tampak jelas dengan area patahannya. Berikut ditunjukkan pada tabel 4.21 data hasil pengujian bending untuk kekuatan lentur spesimen eksperimen konfirmasi, dan grafik kurva F_{max} pengujian bending ditunjukkan pada gambar 4.14.

Tabel 4.21. Hasil pengujian bending eksperimen konfirmasi

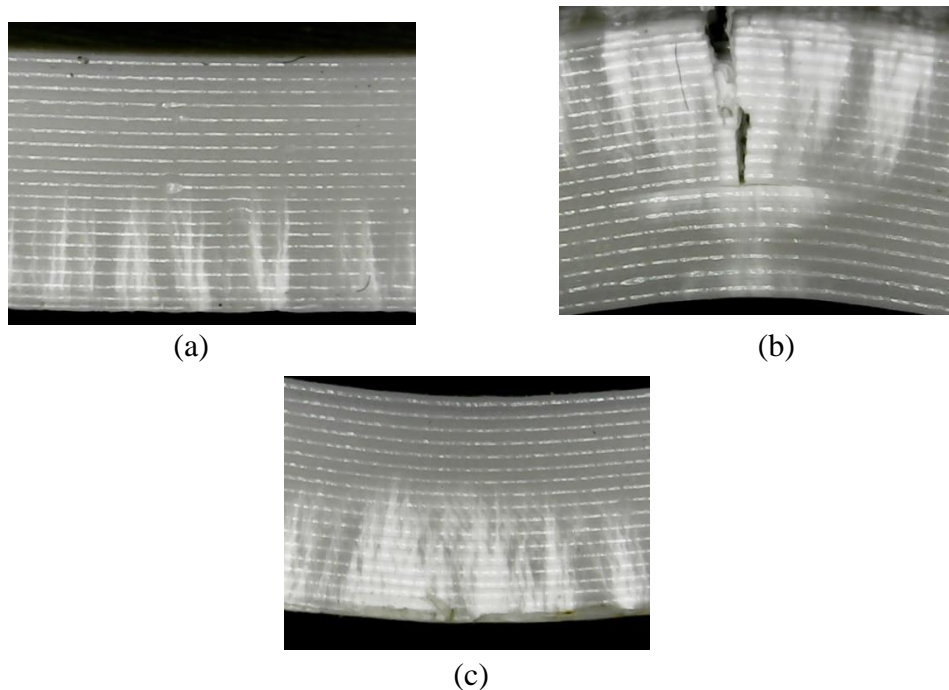
Replikasi	Wo (mm)	Lo (mm)	T (mm)	Flexural Strength (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Standar Deviasi
1	9.89	80.11	3.87	58.7	60.8	3.35
2	9.89	80.03	3.87	59.1		
3	9.77	80.09	3.55	64.7		

Series graph:



Gambar 4.14. Kurva F_{max} spesimen eksperimen konfirmasi

Berdasarkan gambar 4.15. grafik kurva F_{max} diatas ditunjukkan garis F_{max} berada pada titik nol yang berarti spesimen belum mendapatkan pembebanan, dan terjadi kenaikan garis dan nilai F_{max} dikarenakan terjadi pembebanan yang terjadi dan berakibat pada peregangan spesimen. Pada titik maksimal garis F_{max} kembali turun yang berarti sudah terjadi perpatahan pada area pembebanan spesimen.

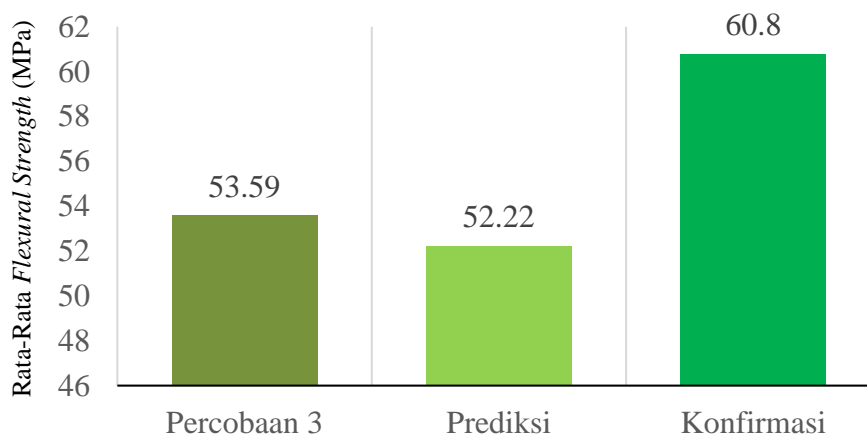


Gambar 4.15. Foto makro patahan spesimen eksperimen konfirmasi

Berdasarkan gambar 4.15. diatas menunjukkan foto makro perbesaran area patahan hasil pengujian bending pada spesimen eksperimen konfirmasi. Terlihat pada gambar struktur makro spesimen perbandingan ketiga spesimen dengan hasil terbaik dan terburuk berdasarkan struktur patahan. Gambar (a) menunjukkan hasil bending spesimen eksperimen konfirmasi satu terlihat pada foto makro spesimen (a) menunjukkan hasil peregangan maksimal pada spesimen tanpa terjadi perpatahan yang besar. Gambar (b) menunjukkan hasil bending eksperimen konfirmasi dua dapat dilihat patahan yang sejajar dan terlihat dominan lebih solid atau padat pada lapisan spesimen yang terbentuk, proses ekstrusi yang terjadi baik sehingga kekuatan dari produk lebih baik. Gambar (c) menunjukkan hasil bending eksperimen konfirmasi tiga dapat dilihat dari foto makro bahwa peregangan yang terjadi pada spesimen (b) cukup besar namun tidak mengalami perpatahan patah spesimen.

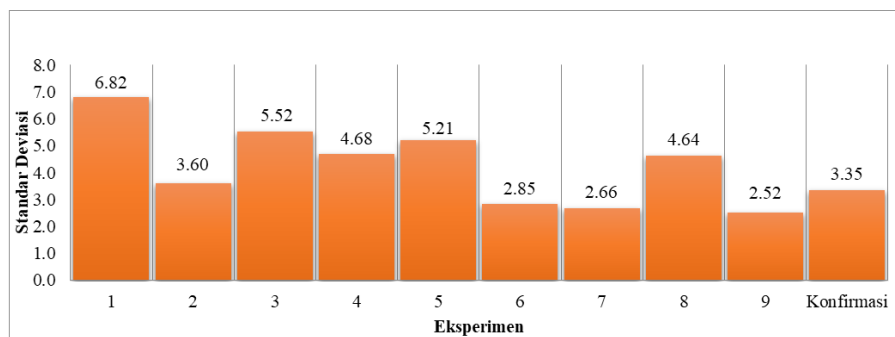
Hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai kekuatan lentur terkecil terdapat pada replikasi 1 yaitu 58.7 MPa dengan rata-rata keseluruhan 60.8 MPa. Hasil tersebut menunjukkan nilai kekuatan lentur eksperimen konfirmasi

memenuhi syarat tingkat kepercayaan 95% dimana hasil berada didalam interval kepercayaan ($42,13 \text{ MPa} \leq 52,215 \text{ MPa} \leq 62,3 \text{ MPa}$). Perbandingan nilai rata-rata respon kekuatan lentur pada percobaan tertinggi yaitu percobaan 3, prediksi rata-rata kekuatan lentur dan kekuatan lentur eksperimen konfirmasi disajikan dalam diagram batang pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Diagram batang perbandingan nilai kekuatan lentur

Berdasarkan diagram batang diatas menunjukkan nilai kekuatan lentur pada percobaan eksperimen konfirmasi mempunyai nilai yang maksimal dibandingkan dengan hasil percobaan sebelumnya yaitu percobaan 3 dan prediksi interval kepercayaan. Sementara itu nilai standar deviasi akan di tunjukkan diagram batang pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Diagram batang perbandingan standar deviasi

Berdasarkan diagram batang diatas menunjukkan nilai standar deviasi pada masing- masing percobaan bahwa pada eksperimen konfirmasi berada pada nilai 4.33 dibawah 4 percobaan sebelumnya yakni percobaan 1,3,5,dan 8. Secara keseluruhan dapat ditarik kesimpulan bahwa pada percobaan eksperimen konfirmasi dapat dipertanggung jawabkan dengan ditunjukkannya hasil yang maksimal pada kekuatan lentur atau *flexural strength* pada material ABS tersebut.

Pada perhitungan regangan dan modulus elastisitas untuk 27 spesimen awal ditunjukkan pada tabel 4.22. sedangkan untuk flexural modulus pada spesimen eksperimen konfirmasi telah dijelaskan dalam lampiran yang tersedia.

Tabel 4.22 Flexural modulus

Flexural Modulus (MPa)			
R1	R2	R3	Spesimen
2442.98	2428.13	2193.11	A
2242.74	2867.30	1994.71	B
2690.26	2678.06	2458.03	C
2140.75	2296.26	2259.34	D
2767.07	2732.31	2686.48	E
2304.89	2668.81	2525.16	F
2108.89	2272.80	2739.88	G
2740.32	2845.79	2732.01	H
2647.90	2905.96	3168.32	I