

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Spesimen *Multipurpose*

Proses pembuatan spesimen *multipurpose* sudah memenuhi standar ISO 294-1:2012 yang di produksi menggunakan mesin *injection molding*. Hasil spesimen Polikarbonat Murni dengan variasi *melting temperatur*, *holding pressure* dan *holding time* yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.1 serta sudah disesuaikan dengan beberapa parameter yang digunakan pada saat produksi.



Gambar 4. 1 Spesimen *Multipurpose*

Spesifikasi:

- Produk : Spesimen *Multipurpose* Polikarbonat murni
- Mesin : *Injection Molding Machine 70 MEIKI*
- Proses injeksi : 39,70 detik/spesimen
- Massa : 89,2 gram
- Panjang : 150 mm
- Lebar : 10 mm
- Tebal : 4 mm

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Tebal dan Lebar Spesimen

No Spesimen	Tipe 1		Tipe 2		Tipe 3	
	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	Spesimen 1	4.05	10.05	4.04	10.02	4.07
Spesimen 2	4.05	10.05	4.03	10.03	4.05	10.06
Spesimen 3	4.04	10.06	4.02	10.03	4.05	10.06
Spesimen 4	4.06	10.06	4.03	10.03	4.04	10.05
Spesimen 5	4.04	10.04	4.04	10.03	4.04	10.05
AVERAGE	4.05	10.05	4.03	10.03	4.05	10.05
STDEV	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
MAX	4.06	10.06	4.04	10.03	4.07	10.06
MIN	4.04	10.04	4.02	10.02	4.04	10.05

No Spesimen	Tipe 4		Tipe 5		Tipe 6	
	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Spesimen 1	4.05	10.04	4.02	10.06	4.04	10.03
Spesimen 2	4.05	10.04	4.05	10.03	4.04	10.03
Spesimen 3	4.06	10.05	4.05	10.03	4.06	10.2
Spesimen 4	4.04	10.05	4.02	10.02	4.02	10.01
Spesimen 5	4.06	10.05	4.02	10.04	4.02	10.04
AVERAGE	4.052	10.046	4.03	10.04	4.04	10.06
STDEV	0.0083	0.0054	0.02	0.02	0.02	0.08
MAX	4.06	10.05	4.05	10.06	4.06	10.2
MIN	4.04	10.04	4.02	10.02	4.02	10.01

No Spesimen	Tipe 7		Tipe 8		Tipe 9	
	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar	Tebal	Lebar
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	Spesimen 1	4.02	10.06	4.06	10.03	4.03
Spesimen 2	4.05	10.04	4.04	10.03	4.05	10.04
Spesimen 3	4.05	10.04	4.04	10.05	4.02	10.04
Spesimen 4	4.02	10.02	4.01	10.03	4.02	10.01
Spesimen 5	4.04	10.04	4.02	10.04	4.02	10.05
AVERAGE	4.04	10.04	4.03	10.04	4.03	10.03
STDEV	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
MAX	4.05	10.06	4.06	10.05	4.05	10.05
MIN	4.02	10.02	4.01	10.03	4.02	10.01

Keterangan Tipe percobaan:

Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3 variasi parameter temperatur 250⁰C, *holding time* 3.0, 3.4 dan 3.6 detik serta *holding pressure* 70, 75 dan 80 bar. Tipe 3, Tipe 4 dan Tipe 5 variasi parameter temperatur 265⁰C, *holding time* 3.4, 3.0 dan 3.6 detik serta *holding pressure* 70, 75 dan 80 bar. Tipe 7, Tipe 8 dan Tipe 9 adalah temperatur 280⁰C, *holding time* 3.6, 3.0, dan 3.4 detik serta *holding pressure* 70, 75 dan 80 bar seperti yang ditunjukkan pada variasi parameter proses Tabel 3.10.

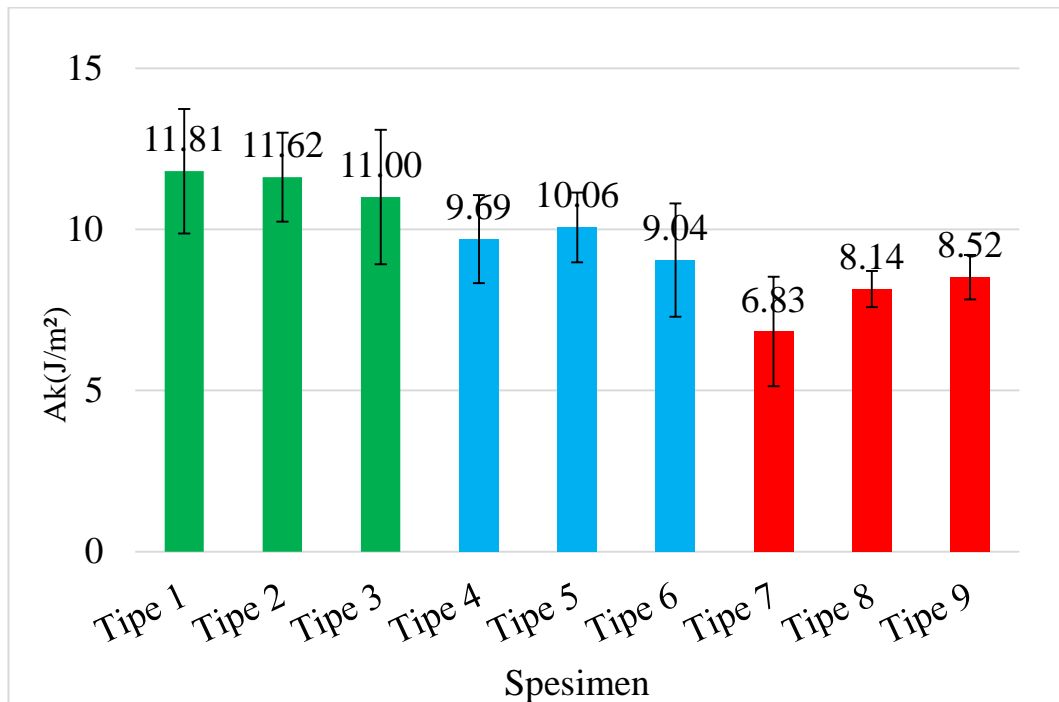
Tabel 4.1 menjelaskan bahwa dimensi spesimen telah sesuai dengan standar ISO 527-1 dapat ditetapkan toleransi untuk dimensi *specimen multipurpose* tersebut adalah nilai tebal 4 mm ± 0,5, dan lebar 10 mm ± 0,5. Syarat lain untuk melakukan pengujian selain dimensi ukuran adalah bentuk spesimen yang tidak memiliki cacat, karena bentuk spesimen yang memiliki cacat akan menghasilkan nilai kekuatan uji yang kurang optimal. Jenis cacat yang dapat mempengaruhi nilai pada saat dilakukan pengujian adalah cacat *bubbles*. Penyebab cacat *bubbles* adalah gas yang masih terperangkap didalam *cylinder* atau udara yang masih terjebak didalam *cavity*.

4.2 Analisa Hasil Data Eksperimen dengan Menggunakan Metode Taguchi

4.2.1 Analisis Hasil Data Eksperimen Pengujian Impak

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan nilai energi material Polikarbonat Murni

Nilai Energi impak ($A_k = \text{kJ/m}^2$)										
No Spesimen	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5	Tipe 6	Tipe 7	Tipe 8	Tipe 9	Type of Failure
Spesimen 1	13.26	12.43	13.26	11.6	8.61	7.54	4.68	8.8	8.44	C
Spesimen 2	11.93	13.09	9.88	8.26	9.28	9.34	8.61	7.93	7.54	C
Spesimen 3	10.03	9.43	9.45	10.46	9.98	7.41	7.93	8.61	8.26	C
Spesimen 4	13.27	11.69	13.27	9.54	9.74	11.75	7.54	7.97	9.28	C
Spesimen 5	13.09	11.44	9.13	8.61	9.38	9.18	5.39	7.41	9.06	C
AVERAGE	12.32	11.62	11.00	9.69	9.40	9.04	6.83	8.14	8.52	
STDEV	1.39	1.38	2.09	1.37	0.52	1.76	1.70	0.56	0.69	
MAX	13.27	13.09	13.27	11.6	9.98	11.75	8.61	8.8	9.28	
MIN	10.03	9.43	9.13	8.26	8.61	7.41	4.68	7.41	7.54	



Gambar 4. 2 Nilai uji impak Polikarbonat Murni

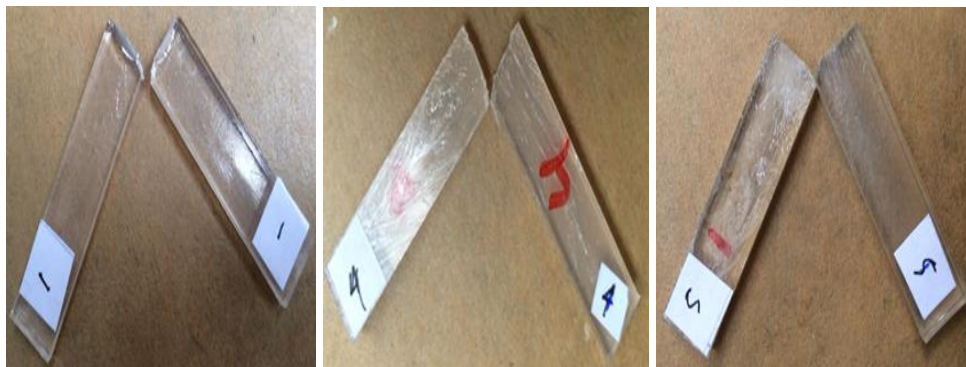
Keterangan :

- Temperatur* = 250 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.0, 3.4 dan 3.6
- Temperatur* = 265 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.4, 3.6 dan 3.0
- Temperatur* = 280 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.6, 3.0 dan 3.4

Pada Gambar 4.2 dijelaskan dari data kombinasi variasi parameter spesimen polikarbonat tersebut dapat di analisis bahwa semakin tinggi nilai kekuatan impak yang dihasilkan pada spesimen polikarbonat maka semakin baik ketahanan dalam menerima beban kejut yang datang dan semakin lunak. Bentuk patahan dari spesimen polikarbonat murni tersebut dikategorikan C (*complete break*), artinya patahan yang dihasilkan adalah sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 ketika diberi energi dari pendulum sebesar 4 joule yang

disesuaikan dengan standar ISO 179-1, sehingga material plastik tersebut dikatakan cenderung getas. Sebelum melakukan proses pencetakan pada material polikarbonat harus dilakukan pengeringan dengan suhu dan waktu tertentu hingga mencapai standar persentase kandungan air yang diijinkan sekitar 85-115⁰C, ini dilakukan agar tidak menimbulkan cacat pada produk yang bisa mengurangi dari sifat mekanisnya.

Tekanan saat proses injeksi pada polikarbonat memengaruhi kekuatan energi impak menjadi menurun. Hal ini dapat dihubungkan menurut Asror (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa nilai kekuatan energi impak dengan standar ISO 179-1 berpengaruh dengan tekanan injeksi pada proses pembuatan spesimen, semakin besar tekanan injeksi saat proses produksi, maka semakin meningkat amorphous yang terbentuk pada material plastik tersebut.



Gambar 4. 3 Contoh bentuk patahan pengujian impak

4.2.2 Analisis SNR dan ANOVA Hasil Eksperimen Uji Impak

Data yang telah didapat yaitu nilai energi dari *Impac testing* selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *signal to noise ratio* (SNR) dan analisis varians (ANOVA).

4.2.3 *Signal to Noise Ratio* Uji Impak

Hasil faktor penelitian dari setiap percobaan uji impak digunakan untuk menghitung *signal to noise ratio* atau SNR. Penelitian ini menggunakan *software Minitab 2016* untuk menghitung nilai SNR. Penggunaan SNR bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil

respon (Soejanto, 2009: 28). Perhitungan SNR dilakukan berdasarkan target yang dituju pada penelitian ini dengan analisis menggunakan *software Minitab* 2016. Selanjutnya level parameter proses yang diurutkan dari yang paling berpengaruh dan disajikan dalam tabel respon dan grafik *main effect*.

Parameter respon pada spesimen produk dilakukan analisis menggunakan metode SNR *Larger is Better* atau tertuju pada nilai tertentu data ditransformasikan kedalam bentuk rasio S/N untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas dimana S/N untuk karakteristik kualitas semakin besar, semakin baik (*large-the-better*). Nilai target dari SNR *Larger is Better* adalah tidak nol, idealnya sebesar mungkin. Dalam tahap ini dilakukan pemilihan level yang meminimalkan gangguan yaitu memilih level dengan nilai SNR tertinggi. Untuk menghitung rasio (S/N) untuk kasus ini Semakin tinggi semakin baik, Taguchi telah menggunakan persamaan (2.8) untuk mendapatkan nilai rasio (S/N).

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekutan impak semakin tinggi semakin baik dari spesimen polikarbonat murni, maka perhitungan rasio S/N sebagai berikut:

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{1} \left(\frac{1}{(11.81)^2} \right) \right] = 21.4450$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{1} \left(\frac{1}{(11.62)^2} \right) \right] = 21.3041$$

Pada eksperimen ke 3:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{1} \left(\frac{1}{(11)^2} \right) \right] = 20.8279$$

Perhitungan yang sama dilakukan pula pada masing-masing variasi eksperimen (eksperimen 4 sampai ke eksperimen ke 9)

Tabel 4. 3 Perhitungan hasil eksperimen dan rasio S/N

No	Melting Temperatur	Holding Time	Holding Pressure	Nilai Energi (AK = KJ/m ²)	S/N Ratio
1	250	3	70	11.81	21.4450
2	250	3.4	75	11.62	21.3041
3	250	3.6	80	11.00	20.8279
4	265	3.4	70	9.69	19.7265
5	265	3.6	75	10.06	20.0520
6	265	3	80	9.04	19.1234
7	280	3.6	70	6.83	16.6884
8	280	3	75	8.14	18.2125
9	280	3.4	80	8.52	18.6088

Perhitungan setiap variasi nilai rasio S/N kuat impact melalui kombinasi level dari masing-masing faktor sebagai berikut:

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{3}(21.4450 + 21.3041 + 20.8279) = 21.1923$$

$$\bar{A}_2 = \frac{1}{3}(19.7265 + 20.0502 + 19.1234) = 19.6336$$

$$\bar{A}_3 = \frac{1}{3}(16.6884 + 18.2125 + 18.6088) = 17.8365$$

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pula pada masing-masing faktor dan interaksi.

Untuk ketiga faktor utama dan interaksi yang diamati yaitu, *melting temperature*, *holding time* dan *holding pressure* yang berpengaruh faktornya secara bersama- sama dapat dilihat seperti tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Respon rasio S/N kuat impact dari pengaruh faktor (*Larger is Better*)

<i>Level</i>	<i>Temperatur</i>	<i> Holding Time</i>	<i> Holding Pressure</i>
1	21.19	19.26	19.59
2	19.63	19.86	19.88
3	17.84	19.52	19.19
<i>Delta</i>	3.36	0.57	0.69
<i>Rank</i>	1	3	2

Dari hasil nilai data diatas dapat disimpulkan bahwa:

- Efek faktor A

Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 21.19, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 19.63 dan level 3 yaitu 17.84, dari hasil terlihat bahwa level 1 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 1 memberikan pengaruh terhadap kekuatan impact spesimen paling tinggi.

- Efek faktor B

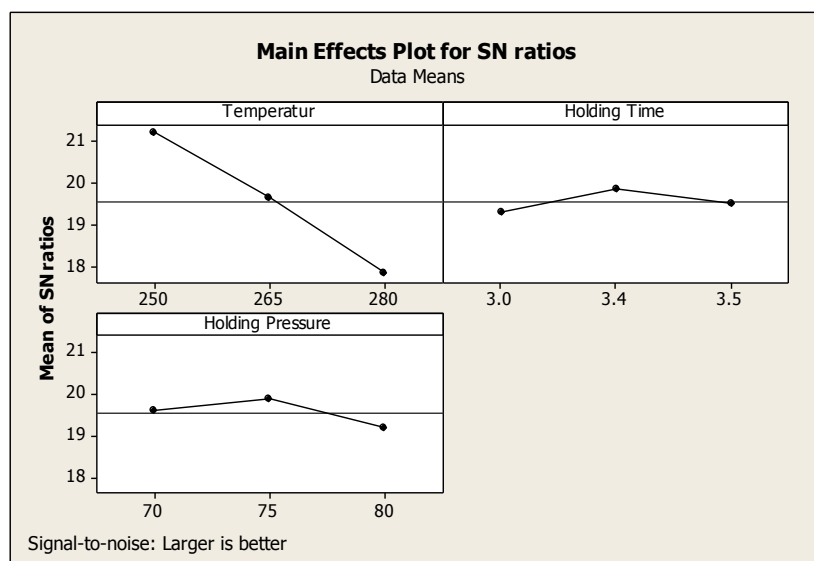
Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 19.26, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 19.86 dan level 3 yaitu 19.52, dari hasil terlihat bahwa level 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 2 memberikan pengaruh terhadap kekuatan impact spesimen paling tinggi.

- Efek faktor C

Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 19.59, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 19.88 dan level 3 yaitu 19.19, dari hasil terlihat bahwa level 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 2 memberikan pengaruh terhadap kekuatan impact spesimen paling tinggi.

Tabel 4.5 Kombinasi parameter terbaik

<i>Factor</i>	Values
<i>Melt Temperatur</i>	250 °C
<i>Holding Time</i>	3.4 Detik
<i>Holding Pressure</i>	75 Bar



Gambar 4. 4 Main effect rasio S / N dengan level parameter

Berdasarkan Tabel 4.4 telah didapat respon SNR untuk tiap-tiap faktor dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon S/NR untuk dimensi kuat impact level paling optimum adalah *melting temperature* level 1 (250°C), *holding time* level 2 (3.4 detik) dan *holding pressure* level 2 (75 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon yang merata pada tingkat parameter proses lain untuk dimensi kuat impact yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Parameter proses *melting temperature* pada level 1 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 21.19.

Tabel respon menjelaskan level optimum dan tingkat pengaruh pada parameter proses terhadap variabel respon. Tabel respon berdasarkan nilai SNR menunjukkan hasil yang berbeda terhadap respon variabel yang berbeda. Tabel

respon menunjukkan tingkat pengaruh dengan melihat nilai selisih terbesar atau *delta* antara level satu sampai tiga. Seperti pada grafik respon (gambar 4.4) menunjukkan parameter *melting temperature* memiliki nilai SNR tertinggi yaitu 21.19, nilai *holding time* pada nilai SNR adalah 19.86 di Tabel 4.4 berada di urutan ke 2 dari semua parameter proses, hal ini terjadi karena pengaruh pengacakan level dilihat dari nilai *delta* atau selisih terbesar dari level satu sampai tiga dimana pada respon parameter proses *melting temperature* memiliki nilai yang lebih besar. Sehingga pada tabel respon semakin besar nilai *delta* berarti semakin besar pengaruh pengacakan level pada parameter proses.

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 dari variasi menggunakan analisis varians.

4.2.4 Analisa Varians (ANOVA) Uji Impact

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians. Sebagai faktor yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata kuat impact, maka untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan model analisis varians.

perhitungan analisis varian ada beberapa klasifikasi yang dihitung pada analisis varian ANOVA meliputi ST, M_q , S_{qA} (setiap faktor), S_e , *F-ratio*, Df, $S_{q'}$ dan $\rho\%$. Seperti dibawah ini:

Keterangan:

- A : *Melting Temperature*
- B : *Holding Time*
- C : *Holding Pressure*
- e : *Error*
- T : Jumlah total

N : Jumlah eksperimen

n : Jumlah eksperimen pada faktor

a. Jumlah Kuadrat Total.

$$\begin{aligned}SS_T &= \sum y^2 \\&= 21.4450^2 + 21.3041^2 + 20.8279^2 + 19.7265^2 + 20.0520^2 + \\&19.1234^2 + 16.6884^2 + 18.2125^2 + 18.6088^2 \\&= 3460.961\end{aligned}$$

b. Jumlah Kuadrat karena rata-rata (*mean*):

$$\begin{aligned}S_m &= n \bar{y}^2 \\&= 9 \times (19.557)^2 \\&= 3442.286\end{aligned}$$

c. Derajat Kebebasan (*Degre of freedom*):

$$Df = level - 1$$

$$Df = 3 - 1 = 2$$

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

d. Mencari Jumlah Kuadrat (*Sum of squqre*):

$$\begin{aligned}SqA &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_1^2}{n_{A1}} - \frac{T^2}{N} \\SqA &= \frac{(63.577)^2}{3} + \frac{(58.9019)^2}{3} + \frac{(53.5097)^2}{3} - \frac{(175.9958)^2}{9} = 16.921\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SqB &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} - \frac{T^2}{N} \\SqB &= \frac{(58.7809)^2}{3} + \frac{(59.6394)^2}{3} + \frac{(57.5683)^2}{3} - \frac{(175.9886)^2}{9} = 0.721\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SqC &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_1^2}{n_{C1}} - \frac{T^2}{N} \\SqC &= \frac{(57.8599)^2}{3} + \frac{(59.5686)^2}{3} + \frac{(58.5601)^2}{3} - \frac{(175.9886)^2}{9} = 0.491\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SSe &= SS_T - S_m - SS_A - SS_B - SS_C \\&= 3460.961 - 3442.286 - 16.921 - 0.721 - 0.491 = 0.542\end{aligned}$$

e. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (SSt)

$$\begin{aligned} SSt &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 16.921 + 0.721 + 0.491 + 0.542 \\ &= 18.675 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_{qA} &= \frac{SqA}{DfA} \\ &= \frac{16.921}{2} = 8.4605 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{qB} &= \frac{SqB}{DfB} \\ &= \frac{0.721}{2} = 0.3605 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{qC} &= \frac{SS_C}{DfC} \\ &= \frac{0.491}{2} = 0.245 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{qe} &= \frac{Sqe}{Dfe} \\ &= \frac{0.542}{2} = 0.271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{qt} &= \frac{St}{Dft} \\ &= \frac{18.675}{9} = 2.075 \end{aligned}$$

g. Faktor Rasio (F-ratio)

$$\begin{aligned} F - ratio A &= \frac{M_{qA}}{M_{qe}} \\ &= \frac{8.4605}{0.271} = 31.219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F - ratio B &= \frac{M_{qB}}{M_{qe}} \\ &= \frac{0.3605}{0.271} = 1.33 \end{aligned}$$

$$F - \text{ratio } C = \frac{MqC}{Mqe}$$

$$= \frac{0.245}{0.271} = 0.904$$

h. Jumlah Kuadrat Sesungguhnya (SS_A' , SS_B' , SS_C' , Sq_e')

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

$$= 16.921 - 2 \times 0.271 = 16.379$$

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

$$= 0.721 - 2 \times 0.271 = 0.179$$

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

$$= 0.491 - 2 \times 0.271 = 0.051$$

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

$$= 18.675 - 16.379 - 0.179 - 0.051 = 2.066$$

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

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

$$= \frac{16.379}{18.675} \times 100\% = 87.705\%$$

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

$$= \frac{0.179}{18.675} \times 100\% = 0.958\%$$

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

$$= \frac{0.051}{18.675} \times 100\% = 0.273\%$$

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

$$= \frac{2.066}{18.675} \times 100\% = 11.062\%$$

Selanjutnya hasil perhitungan di atas diklasifikasikan dalam tabel ANOVA. Pada tabel ANOVA hal yang perlu diperhatikan dalam 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 yang 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 2 maka nilai F_{tabel} untuk semua faktor sama. Nilai F_{tabel} dengan F (0.5, 2, 8) adalah 4.46. 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).

Tabel 4. 6 Persen kontribusi parameter untuk kuat impak dengan ANOVA

<i>Factor</i>	Df	Sq	Mq	Sq'	F-Ratio	$\rho\%$
<i>Melt Temperatur</i>	2	16.921	8.4605	16.379	31.219	87.705
<i> Holding Time</i>	2	0.721	0.3605	0.179	1.33	0.958
<i> Holding Pressure</i>	2	0.491	0.245	0.051	0.904	0.273
<i>e</i>	2	0.542	0.271	2.066	-	30.632
<i>St</i>	8	18.675	2.075	18.675	-	99.99
<i>Mean</i>	2	3442.286	-	-	-	-
<i>ST</i>	9	3460.961	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon spesimen kuat impak. Pada tabel tersebut nilai faktor

dengan nilai kontribusi terbesar adalah *melting temperature* (87.705 %) . Untuk nilai F dari tabel persen kontribusi adalah F_{tabel} 4.46 maka dari data Tabel 4.4 H_0 dari faktor *holding time* dan *holding pressure* yang diterima artinya hanya faktor tersebut yang tidak memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan.

Jika persen kontribusi $error \leq 15\%$ maka berarti tidak ada faktor berpengaruh yang diabaikan. Tetapi jika persen kontribusi $error \geq 50\%$ artinya bahwa terdapat faktor berpengaruh diabaikan dan terdapat nilai $error$ pada percobaan yang terlalu besar (Soejanto, 2009: 30).

4.2.5 Analisis Hasil Data Eksperimen Pengujian Tarik

a. Tegangan

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan nilai tegangan material Polikarbonat Murni

Nilai kuat tarik σ (MPa) Polikarbonat Murni					
No Spesimen	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5
Spesimen 1	61	61.4	60.2	60.2	60.7
Spesimen 2	61.1	61.1	61.6	58.9	58.7
Spesimen 3	61.9	60.8	60.8	60.9	58.9
Spesimen 4	61.2	61.2	61.9	61.1	61.2
Spesimen 5	61.1	61.4	59.8	58	60.6
AVERAGE	61.26	61.18	60.86	59.82	60.02
STDEV	0.365	0.249	0.893	1.333	1.139
MAX	61.9	61.4	61.9	61.1	61.2
MIN	61	60.8	59.8	58	58.7

No Spesimen	Tipe 6	Tipe 7	Tipe 8	Tipe 9
Spesimen 1	60.7	58.9	58.5	59.5
Spesimen 2	60.1	60.2	60.7	58.4
Spesimen 3	60.2	60.2	60.5	57.7
Spesimen 4	60.1	60	59.6	58.9
Spesimen 5	59.5	59.8	59.7	59.5
AVERAGE	60.12	59.82	59.8	58.8
STDEV	0.427	0.540	0.872	0.768
MAX	60.7	60.2	60.7	59.5
MIN	59.5	58.9	58.5	57.7

b. Regangan

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan nilai regangan material Polikarbonat Murni

Nilai regangan ϵ (%)					
No Spesimen	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5
Spesimen 1	13	13	10	10	13
Spesimen 2	13	13	12	10	9.7
Spesimen 3	13	13	11	13	10
Spesimen 4	13	12	13	13	13
Spesimen 5	13	13	10	10	11
AVERAGE	13	12.8	11.2	11.2	11.34
STDEV	0.00	0.44	1.31	1.64	1.59
MAX	13	13	13	13	13
MIN	13	12	10	10	9.7

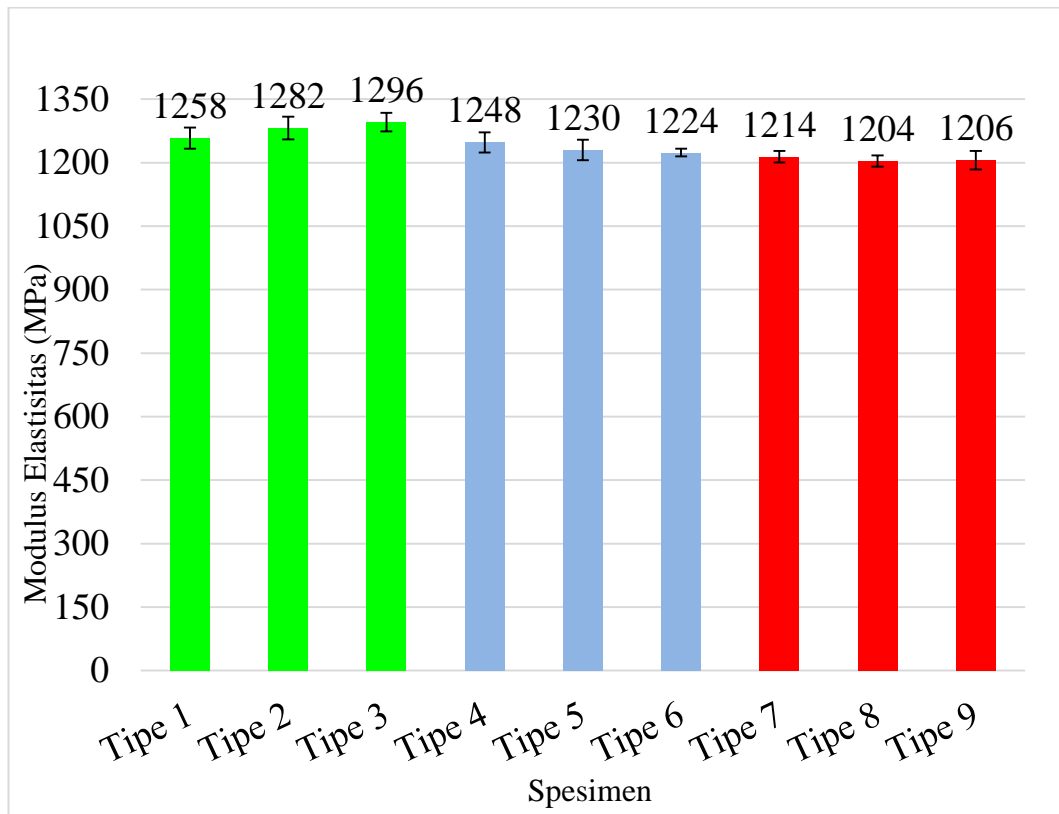
No Spesimen	Tipe 6	Tipe 7	Tipe 8	Tipe 9
Spesimen 1	11	10	10	12
Spesimen 2	11	11	13	10
Spesimen 3	11	11	13	9.5
Spesimen 4	9.5	11	11	10
Spesimen 5	11	12	11	11
AVERAGE	10.7	11	11.6	10.5
STDEV	0.67	0.71	1.34	1
MAX	11	12	13	12
MIN	9.5	10	10	9.5

c. Modulus Elastisitas

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan nilai modulus elastisitas material Polikarbonat Murni

Nilai Modulus Elastisitas (MPa)					
No Spesimen	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5
Spesimen 1	1300	1240	1330	1220	1210
Spesimen 2	1240	1280	1270	1230	1270
Spesimen 3	1250	1300	1290	1260	1230
Spesimen 4	1260	1310	1300	1280	1230
Spesimen 5	1240	1280	1290	1250	1210
AVERAGE	1258	1282	1296	1248	1230
STDEV	24.899	26.832	21.908	23.874	24.494
MAX	1300	1310	1330	1280	1270
MIN	1240	1240	1270	1220	1210

No Spesimen	Tipe 6	Tipe 7	Tipe 8	Tipe 9
Spesimen 1	1210	1200	1190	1220
Spesimen 2	1230	1230	1210	1220
Spesimen 3	1230	1200	1210	1170
Spesimen 4	1230	1220	1190	1200
Spesimen 5	1220	1220	1220	1220
AVERAGE	1224	1214	1204	1206
STDEV	8.944	13.416	13.416	21.908
MAX	1230	1230	1220	1220
MIN	1210	1200	1190	1170



Gambar 4. 5 Nilai Modulus Elastisitas uji tarik Polikarbonat Murni

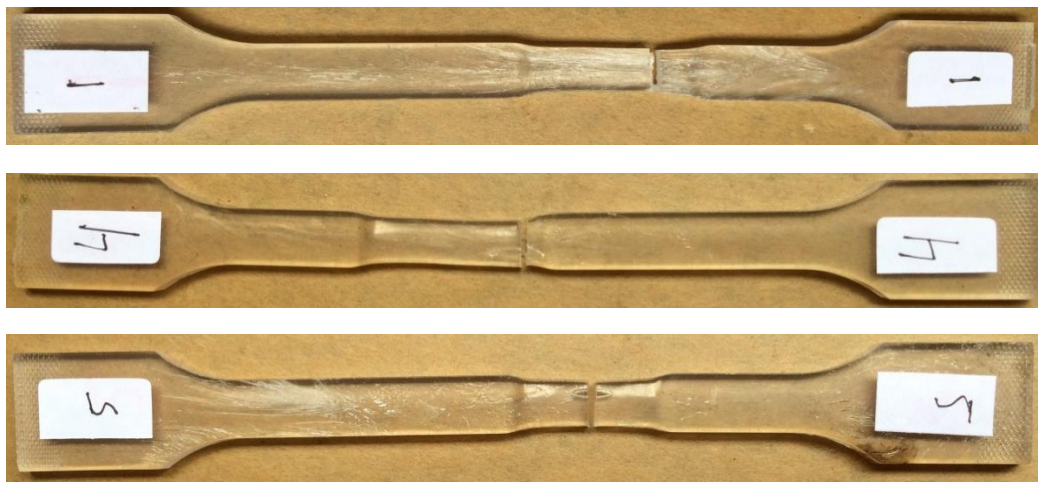
Keterangan:

- Temperatur* = 250 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.0, 3.4 dan 3.6
- Temperatur* = 265 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.4, 3.6 dan 3.0
- Temperatur* = 280 *Holding Pressure* = 70, 75 dan 80
Holding Time = 3.6, 3.0 dan 3.4

Dari Gambar 4.5 penurunan pada modulus elastisitas tidak terlalu signifikan dikarenakan parameter level proses yang digunakan pada penelitian tidak terlalu jauh jangkauan yang diberikan. Untuk parameter temperatur leleh sekitar 250⁰C, 265⁰C dan 280⁰C. Ini dikarenakan kapasitas temperatur mesin *injection molding* yang digunakan pada penelitian. Dengan titik leleh plastik Polikarbonat berkisar 250⁰C, maka kombinasi waktu tekanan 3.4 detik, *holding*

pressure 75 bar dan temperatur 250°C, diperoleh hasil spesimen plastik yang mempunyai kekuatan tarik lebih besar, hal ini karena pada temperatur tersebut, kondisi material polikarbonat sudah dalam kondisi sangat leleh menjadi cairan kental sehingga dengan waktu tekanan sebesar 3.4 detik saja sudah dapat membuat spesimen sesuai dimensi yang diinginkan. Apabila tekanannya ditambahkan maka dapat mengakibatkan terjadi proses penyusutan plastik setelah proses *injection molding* yang sangat besar karena sebelumnya menerima tekanan yang lebih besar.

Dari percobaan pendahuluan yang telah dilakukan, bila tekanan semakin diperbesar maka cenderung menghasilkan spesimen yang cacat, demikian pula bila temperatur semakin ditingkatkan melebihi 260°C atau diturunkan di bawah 250°C akan menghasilkan produk spesimen yang cacat. Cacat yang timbul adalah adanya gelembung udara di dalam hasil cetakan serta terjadinya penyusutan yang berlebihan sehingga mempengaruhi bentuk dimensi spesimen. Menurut Hakim (2016) penurunan modulus elastisitas disebabkan adanya *air bubble* (gelembung udara) dalam material plastik tersebut yang dipengaruhi oleh temperatur tinggi, tekanan injeksi tinggi, dan pendinginan kurang pada saat proses *injection molding*.



Gambar 4. 6 Contoh bentuk patahan uji tarik

4.2.6 Analisis S/N Rasio Data Hasil Percobaan Uji Tarik

Tiga hasil uji tarik yaitu tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dari setiap percobaan digunakan untuk menghitung *signal to noise ratio* atau SNR. Penelitian ini menggunakan *software Minitab* 2016 untuk menghitung nilai SNR. Penggunaan SNR bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil respon (Soejanto, 2009: 28). Perhitungan SNR dilakukan berdasarkan target yang dituju pada penelitian ini dengan analisis menggunakan *software Minitab* 2016. Selanjutnya level parameter proses yang diurutkan dari yang paling berpengaruh dan disajikan dalam tabel respon dan grafik *main effect*. Parameter respon pada spesimen produk dilakukan analisis menggunakan metode SNR *Larger is Better* atau tertuju pada nilai tertentu data ditransformasikan kedalam bentuk rasio S/N untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas dimana S/N untuk karakteristik kualitas semakin besar, semakin baik (*large-the-better*). Nilai target dari SNR *Larger is Better* adalah tidak nol, idealnya sebesar mungkin. Dalam tahap ini dilakukan pemilihan level yang meminimalkan gangguan yaitu memilih level dengan nilai SNR tertinggi. Untuk menghitung rasio (S/N) untuk kasus ini Semakin tinggi semakin baik, Taguchi telah menggunakan persamaan (2.8) untuk mendapatkan nilai rasio (S/N).

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan variabilitas dari kekuatan spesimen polikarbonat. Kualitas ukuran spesimen kuat tarik dinyatakan baik apabila ukuran dari spesimen yang diharapkan adalah kekuatan tarik yang tertinggi.

Dalam penelitian ini nilai yang diharapkan adalah kekutan tarik dari spesimen polikarbonat murni, maka perhitungan rasio S/N semakin besar semakin baik sebagai berikut:

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{(61.26)^2} + \frac{1}{(13)^2} + \frac{1}{(1258)^2} \right) \right] = 26.8583$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{(61.18)^2} + \frac{1}{(12.8)^2} + \frac{1}{(1282)^2} \right) \right] = 26.7289$$

Pada eksperimen 3:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{(60.86)^2} + \frac{1}{(11.2)^2} + \frac{1}{(1296)^2} \right) \right] = 25.6106$$

Perhitungan yang sama dilakukan pula pada masing-masing variasi eksperimen (eksperimen 4 sampai ke eksperimen ke 9)

Tabel 4. 10 Hasil pengukuran dan perhitungan SNR pada kuat tarik

<i>Temperature</i>	<i> Holding Time</i>	<i> Holding Pressure</i>	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Moduludulus Elastisitas (Mpa)	S/N Rasio
250	3	70	61.26	13	1258	26.8583
250	3.4	75	61.18	12.8	1282	26.7289
250	3.6	80	60.86	11.2	1296	25.6106
265	3.4	70	59.82	11.2	1248	25.6056
265	3.6	75	60.02	11.34	1230	25.7108
265	3	80	60.12	10.7	1224	25.2231
280	3.6	70	59.82	11	1214	25.4543
280	3	75	59.8	11.6	1204	25.8996
280	3.4	80	58.8	10.5	1206	25.0584

Perhitungan setiap variasi nilai rasio S/N kuat tarik melalui kombinasi level dari masing-masing faktor sebagai berikut:

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{3} (26.8583 + 26.7289 + 25.6106) = 26.3992$$

$$\bar{A}_2 = \frac{1}{3} (25.6056 + 25.7108 + 25.2231) = 25.5131$$

$$\bar{A}_3 = \frac{1}{3} (25.4543 + 25.8996 + 25.0584) = 25.4707$$

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pula pada masing-masing faktor dan interaksi.

Tabel 4. 11 *Response for Signal to Noise Ratios Larger is Better*

Level	<i>Temperature</i>	<i>Holding Time</i>	<i>Holding Pressure</i>
1	26.4	25.8	25.8
2	25.51	25.88	25.99
3	25.47	25.71	25.59
Delta	0.93	0.17	0.4
Rank	1	3	2

Dari hasil tabel respon N/S rasio dapat disimpulkan bahwa:

- Efek faktor A

Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 26.4, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 25.51 dan level 3 yaitu 25.47, dari hasil terlihat bahwa level 1 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 1 memberikan pengaruh terhadap kuat tarik spesimen paling tinggi.

- Efek faktor B

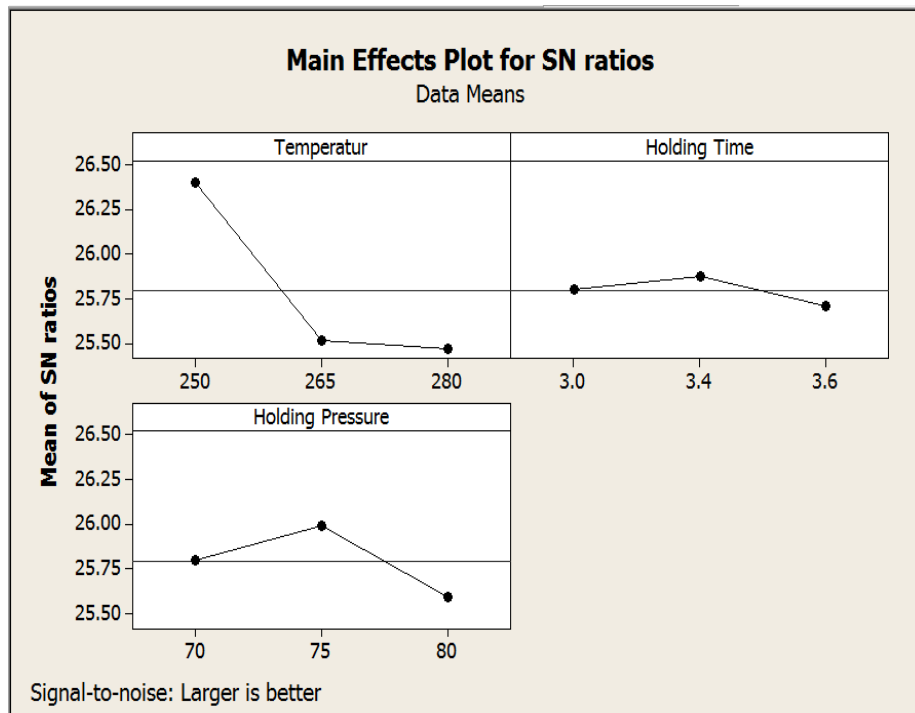
Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 25.8, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 25.88 dan level 3 yaitu 25.71, dari hasil terlihat bahwa level 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 2 memberikan pengaruh terhadap kuat tarik spesimen paling tinggi.

- Efek faktor C

Level 1 mempunyai nilai S/NR yaitu 25.8, level 2 mempunyai nilai S/NR yaitu 25.99 dan level 3 yaitu 25.59, dari hasil terlihat bahwa level 2 memberikan nilai S/NR paling besar, itu berarti bahwa level 2 memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik spesimen paling tinggi.

Tabel 4. 12 Kombinasi parameter terbaik

<i>Factor</i>	<i>Values</i>
<i>Temperature</i>	250 °C
<i>Holding Time</i>	3.4 Detik
<i>Holding Pressure</i>	75 Bar



Gambar 4. 7 Main effect Rasio S / N dengan level parameter

Berdasarkan Tabel 4.11 telah didapat respon S/NR untuk tiap-tiap faktor dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses dengan melihat nilai *noise* terbesar. Pada respon S/NR untuk dimensi kuat tarik level paling optimum adalah *melting temperature* level 1 (250°C), *holding time* level 2 (3.4 bar) dan *holding pressure* level 2 (75 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon yang merata pada tingkat parameter proses lain untuk dimensi kuat tarik yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Parameter proses *melting temperature* pada level 1 memiliki grafik nilai SNR tertinggi sebesar 26.4.

4.2.7 Analisa Varians (ANOVA) Uji Tarik

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians. Ada beberapa klasifikasi yang dihitung pada analisis ANOVA meliputi ST, Mq , Sq_A (setiap faktor), S_e , F-ratio, Df, Sq' dan $\rho\%$. Pada penelitian ini ditentukan nilai *critical significant* atau *alpha-error* sebesar $\alpha: 0.05$ (5%). Nilai $\alpha: 0.05$ berarti bahwa penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklasifikasi sebagai faktor penting (F) dan faktor signifikan (P). Perhitungan ANOVA pada hasil uji tarik adalah sebagai berikut:

Keterangan:

- A : *Melting Temperature*
- B : *Holding Time*
- C : *Holding Pressure*
- e : *Error*
- T : Jumlah total
- N : Jumlah eksperimen
- n : Jumlah eksperimen pada faktor

1. Jumlah Kuadrat Total Data (ST)

$$\begin{aligned} ST &= \sum y^2 \\ &= 26.8583^2 + 26.7289^2 + 25.6106^2 + 25.6056^2 + 25.7108^2 + \\ &\quad 25.2231^2 + 25.4543^2 + 25.8996^2 + 25.0584^2 \\ ST &= 5991.236 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Mean (Sm)

$$\begin{aligned} Sm &= n \times \bar{y}^2 \\ &= 9 \times 25.7944^2 = 5988.1596 \end{aligned}$$

3. Jumlah Derajat Kebebasan (Df, Df_e)

$$\begin{aligned} Df &= level - 1 \\ &= 3 - 1 = 2 \\ Df_e &= VoA - \sum Df \end{aligned}$$

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

$$= 9 - 1 - 6 = 2$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor (Sq_A , Sq_B , Sq_C , Sq_D , Sq_e)

$$\begin{aligned} SqA &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_1^2}{n_{A1}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{79.1978^2}{3} + \frac{76.5395^2}{3} + \frac{76.4123^2}{3} - \frac{232.1496^2}{9} = 1.649 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SqB &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_1^2}{n_{B1}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{77.981^2}{3} + \frac{77.3929^2}{3} + \frac{76.7757^2}{3} - \frac{232.1496^2}{9} = 0.242 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SqC &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_1^2}{n_{C1}} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{77.9182^2}{3} + \frac{78.3393^2}{3} + \frac{75.8921^2}{3} - \frac{232.1496^2}{9} = 1.141 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sqe &= ST - Sm - SqA - SqB - SqC \\ &= 5991.236 - 5988.1596 - 1.649 - 0.242 - 1.141 = 0.044 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (St)

$$\begin{aligned} St &= SqA + SqB + SqC + Sqe \\ &= 1.649 + 0.242 + 1.141 + 0.044 = 3.076 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} MqA &= \frac{SqA}{DfA} \\ &= \frac{1.649}{2} = 0.824 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MqB &= \frac{SqB}{DfB} \\ &= \frac{0.242}{2} = 0.121 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MqC &= \frac{SqC}{DfC} \\ &= \frac{1.141}{2} = 0.57 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{0.044}{2} = 0.022$$

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

$$= \frac{3.076}{9} = 0.341$$

7. Faktor Rasio (F-ratio)

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

$$= \frac{0.824}{0.022} = 37.454$$

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

$$= \frac{0.121}{0.022} = 5.5$$

$$F - ratio C = \frac{MqC}{Mqe}$$

$$= \frac{0.57}{0.022} = 25.909$$

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

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

$$= 1.649 - 2 \times 0.022 = 1.605$$

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

$$= 0.121 - 2 \times 0.022 = 0.077$$

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

$$= 0.57 - 2 \times 0.022 = 0.562$$

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

$$= 3.076 - 1.605 - 0.077 - 0.562 = 0.832$$

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

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

$$= \frac{1.605}{3.076} \times 100\% = 52.178\%$$

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

$$= \frac{0.077}{3.076} \times 100\% = 2.503\%$$

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

$$= \frac{0.562}{3.076} \times 100\% = 18.27\%$$

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

$$= \frac{0.832}{3.076} \times 100\% = 27.048\%$$

Selanjutnya hasil perhitungan di atas diklasifikasikan dalam tabel ANOVA. Pada tabel ANOVA hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan tingkat pengaruh pada parameter proses adalah nilai F 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 yang 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 2 maka nilai F tabel untuk semua faktor sama. Nilai F tabel dengan F (0.5, 2, 8) adalah 4.46. 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).

Tabel 4. 13 Persen kontribusi parameter kuat tarik dengan ANOVA

<i>Factor</i>	Df	Sq	Mq	Sq'	F-Ratio	$\rho\%$
<i>Melt Temperatur</i>	2	1.649	0.824	1.605	37.454	52.178
<i> Holding Time</i>	2	0.242	0.121	0.077	5.5	2.503
<i> Holding Pressure</i>	2	1.141	0.57	0.562	25.909	18.27
e	2	0.044	0.022	0.832	-	27.048
St	8	3.076	0.341	3.076	-	99.999
<i>Mean</i>	2	5988.16	-	-	-	-
ST	9	5991.236	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat dilihat besar kontribusi dan pengaruh dari faktor terhadap respon kuat tarik. Pada tabel tersebut nilai faktor *melting temperatur* memiliki tingkat kontribusi terbesar yaitu 52.178 % dan *holding pressure* sebesar 18.27%. Untuk nilai F dari semua faktor ditolak yang artinya pada faktor tersebut memiliki perbedaan pengaruh pada perlakuan yang dilakukan.

Jika persen kontribusi $error \leq 15\%$ maka berarti tidak ada faktor berpengaruh yang diabaikan. Tetapi jika persen kontribusi $error \geq 50\%$ artinya bahwa terdapat faktor berpengaruh diabaikan dan terdapat nilai *error* pada percobaan yang terlalu besar (Soejanto, 2009: 30).