

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapat 90 buah spesimen ISO 294-1 dari sembilan percobaan dimana tiap percobaan terdapat sepuluh buah yang di *inject* dengan mesin *injection molding* dengan menggunakan model *orthogonal array*. *Orthogonal array* merupakan elemen matriks yang disusun menurut kolom dan baris (Soedjanto, 2009). Penelitian dilanjutkan dengan pengukuran yang meliputi pengukuran panjang, lebar dan kerataan spesimen. Parameter proses yang digunakan tabel desain eksperimen (DOE) yang ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Parameter proses

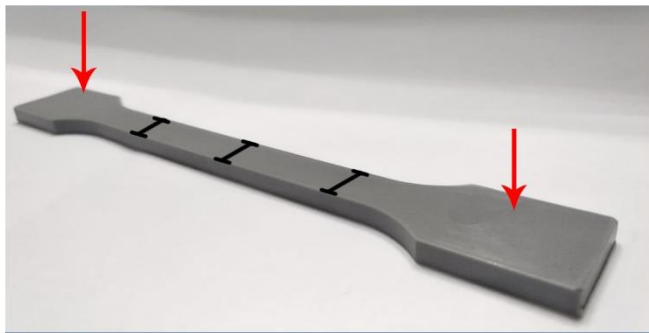
Percobaan	<i>Temperature</i> (⁰ C)	<i>Cooling time</i> (s)	<i>Injection hydrolic pressure</i> (bar)
1	180	13	125
2	180	23	130
3	180	33	135
4	190	13	130
5	190	23	135
6	190	33	125
7	200	13	135
8	200	23	125
9	200	33	130

4.2 Analisis *Signal to Noise Ratio* dan *Analysis of Variance*

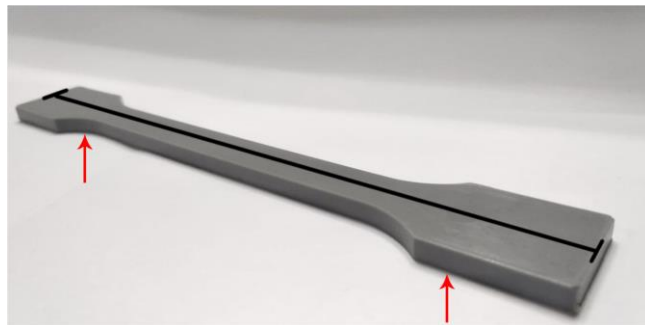
Data yang telah didapat setelah pengukuran yaitu nilai persen dan dimensi dengan menggunakan jangka sorong dan *dial gauge* spesimen akan dianalisis menggunakan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Analysis of Variance*. berikut bagian atas (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2) dan bawah specimen (Gambar 4.3 dan Gambar 4.4).



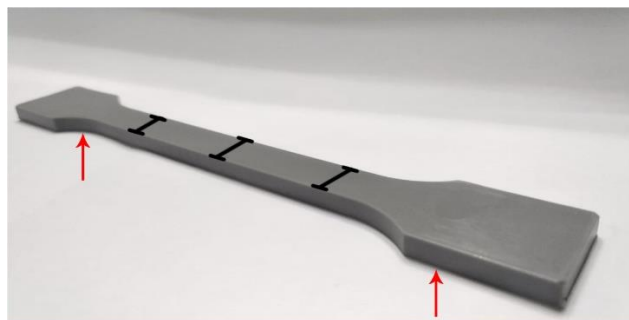
Gambar 4.1 Bagian atas longitudinal



Gambar 4.2 Bagian atas transversal



Gambar 4.3 Bagian bawah longitudinal



Gambar 4.4 Bagian Bawah transversal

4.2.1 SNR Cacat *Shrinkage*

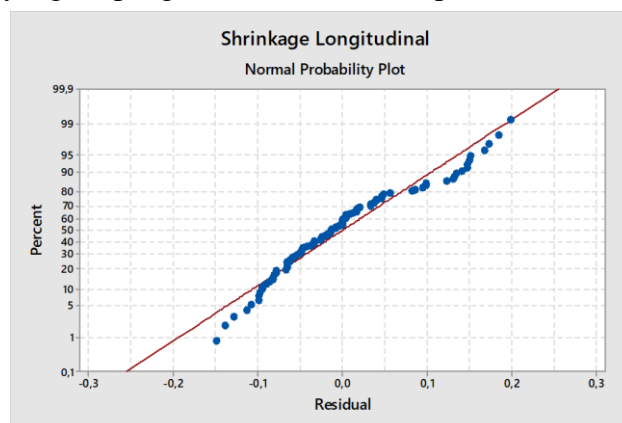
Pengukuran dilakukan untuk mengetahui cacat *shrinkage*, berdasarkan pengukuran dengan menggunakan jangka sorong dari 90 spesimen. Hasil yang didapat pada spesimen longitudinal ditunjukkan pada tabel sebagai berikut

Tabel 4.2 Hasil perhitungan Shrinkage Longitudinal (%)

Percobaan	Shrinkage Longitudinal (%)										Standar deviasi	Rata-rata
	Replikasi Percobaan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1,22	1,201	1,2	1,23	1,086	1,09	1,18	1,19	1,27	1,23	0,0570	1,1895
2	0,97	0,987	1,02	1	1,02	1,02	1	0,99	0,99	0,97	0,0183	0,9967
3	0,95	0,954	0,97	0,92	0,938	0,95	0,95	0,9	0,95	0,92	0,0195	0,9424
4	1,05	1,086	1,05	1,05	1,102	1,09	1,1	1,07	1,05	1,09	0,0195	1,0740
5	1,07	1,053	1,04	1,07	1,003	1,04	1,09	1,05	1,05	1,05	0,0214	1,0510
6	1,05	1,003	1,02	1,04	1,02	0,99	0,99	1,07	1,02	1,04	0,0253	1,0230
7	1,13	1,151	1,13	1,2	1,168	1,13	1,15	1,18	1,22	1,2	0,0294	1,1678
8	1	1,053	1,05	1,05	1,086	1,05	1,04	1,02	1,09	0,99	0,0305	1,0428
9	0,99	0,987	0,99	0,97	0,987	1	0,97	1	0,97	0,95	0,0148	0,9819

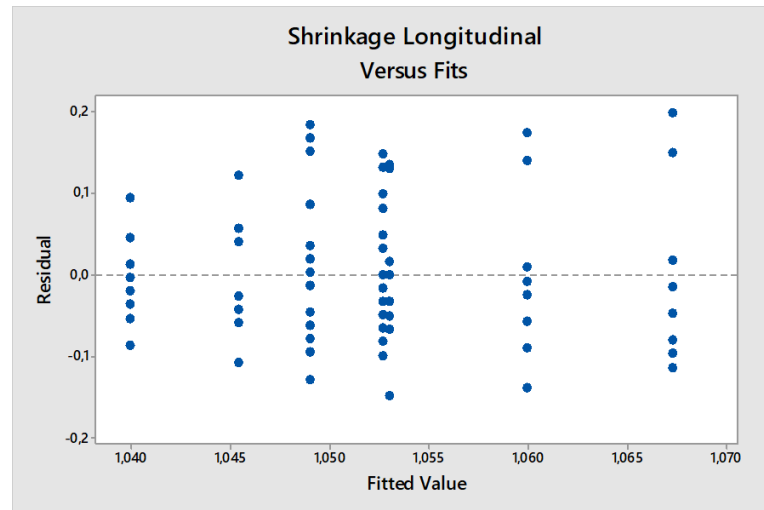
Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pengukuran yang dilakukan sebanyak 90 spesimen dan nilai minimum pada percobaan 3.

Replika tiap spesimen dihitung mendapatkan target nilai SNR yang dituju, penelitian ini menggunakan *software* Minitab 2017 dan *Microsoft Excel*. Nilai yang ditampilkan kemudian disajikan dalam bentuk grafik *main effect* dari setiap level parameter proses yang berpengaruh dalam tabel respon.



Gambar 4.5 Grafik normal Probability Plot Shringkage Longitudinal

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persebaran data yang ditunjukkan titik-titik sebagian besar mendekati garis merah, yang artinya model data yang diperoleh baik atau normal.



Gambar 4.6 Grafik Versus Fits Shrinkage Longitudinal

Berdasarkan Gambar 4.6 data yang ditunjukkan pada titik-titik pada grafik mengalami penyebaran, artinya penyebaran data yang dihasilkan baik. Data tersebut dapat dianalisis SNR dan

Parameter respon persen produk dianalisis menggunakan metode SNR *small is better* atau nilai kecil lebih baik. Nilai kualitas adalah kontinyu dan tidak negatif, dan nilai yang diinginkan adalah nol, namun dikarakteristik oleh tidaknya faktor skala atau faktor penyesuaian lain (Soejanto, 2009). Pemilihan dalam tahap ini meminimalkan gangguan yaitu memilih nilai SNR tertinggi dan meminimalkan gangguan.

Perhitungan SNR pada hasil cacat *shrinkage* longitudinal sebagai berikut ini:

η : SNR

σ : Standar deviasi

\bar{y} : rata-rata replikasi tiap percobaan

A : *Temperature*

B : *Cooling Time*

C : *Injection Pressure*

1. SNR (η) percobaan pertama

$$\eta_1 = -10 \log_{10} (\sigma^2 + \bar{y}^2)$$

$$= -10 \log_{10} (0,0569^2 + 1,18947^2)$$

$$= -1,51705102$$

$$\eta_2 = 0,027152922$$

$$\eta_3 = 0,513114481$$

$$\eta_4 = -0,621627877$$

$$\eta_5 = -0,433742707$$

$$\eta_6 = -0,200384506$$

$$\eta_7 = -1,349851393$$

$$\eta_8 = -0,36742874$$

$$\eta_9 = 0,157598067$$

2. Pengaruh faktor A:

$$\bar{A}_1 = \frac{(-1,51705102) + 0,027152922 + 0,513114481}{3}$$

$$= -0,325594539$$

$$\bar{A}_2 = \frac{(-0,621627877) + (-0,433742707) + (-0,200384506)}{3}$$

$$= -0,41858503$$

$$\bar{A}_3 = \frac{(-1,349851393) + (-0,36742874) + 0,157598067}{3}$$

$$= -0,519894022$$

3. Pengaruh faktor B:

$$\bar{B}_1 = \frac{-1,51705102 + -0,621627877 + -1,349851393}{3}$$

$$= -1,16284343$$

$$\bar{B}_2 = \frac{0,027152922 + -0,433742707 + -0,36742874}{3}$$

$$= -0,258006175$$

$$\bar{B}_3 = \frac{0,513114481 + -0,200384506 + 0,157598067}{3}$$

$$= 0,156776014$$

4. Pengaruh faktor C:

$$C_1 = \frac{-1,51705102 + -0,200384506 + -0,36742874}{3}$$

$$= -0,694954755$$

$$C_2 = \frac{0,027152922 + -0,621627877 + 0,157598067}{3}$$

$$= -0,14562563$$

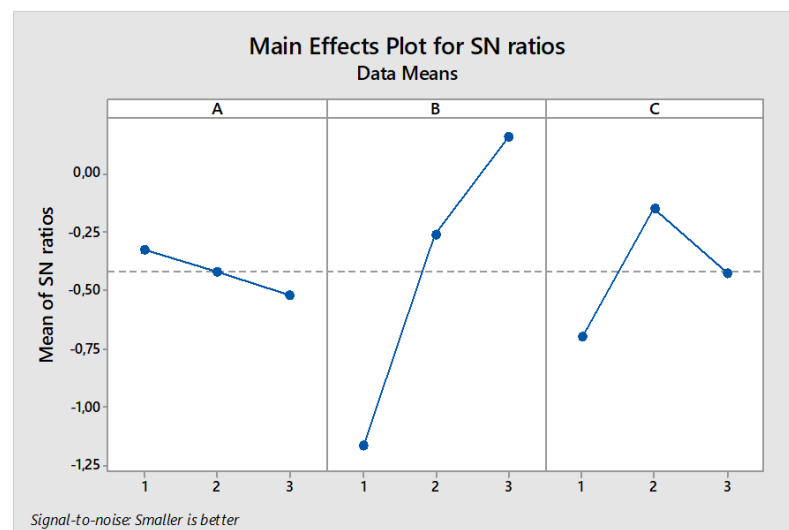
$$C_3 = \frac{0,513114481 + -0,433742707 + -1,349851393}{3}$$

$$= -0,423493206$$

Hasil perhitungan dari faktor A,B, dan C menunjukkan nilai SNR maksimum dan minimum. Hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil faktor tiap parameter

	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>
Level 1	-0,325594539	-1,16284343	-0,694954755
Level 2	-0,41858503	-0,258006175	-0,14562563
Level 3	-0,519894022	0,156776014	-0,423493206
Selisih	0,1943	1,3196	0,55
rank	3	1	2



Gambar 4.7 Grafik Shrinkage longitudinal untuk dimensi persen

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 4.5 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 1

(180°C), level 3 pada *cooling time* (33s), level 2 pada *injection pressure* (130 bar). Grafik (Gambar 4.5) pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada gambar 4.1. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.1 yaitu parameter *cooling time* sebesar 0,156776014.

Cacat *shrinkage* setelah longitudinal yaitu transversal, berikut tabel hasil pengukuran *shrinkage* transversal.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan *shrinkage transversal*(%)

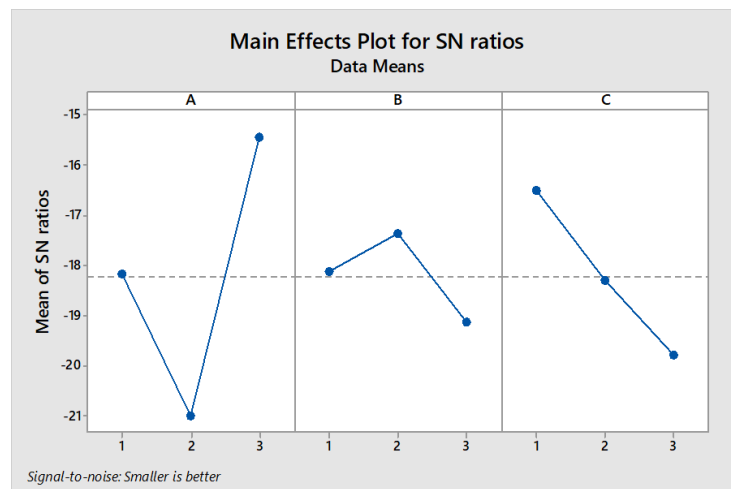
Percobaan	Replikasi percobaan										Standar deviasi	Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	6,67	8,33	5,00	5,67	8,33	5,00	5,33	6,67	8,33	8,33	1,391	6,767
2	6,67	6,67	8,33	8,33	6,67	10,00	10,00	2,33	9,33	10,00	2,262	7,833
3	11,67	13,33	10,00	10,00	6,67	5,00	10,00	8,33	3,33	11,67	3,000	9,000
4	11,67	10,00	8,33	8,33	15,00	8,33	8,33	5,00	10,00	10,00	2,478	9,500
5	15,00	15,00	11,67	11,67	15,00	6,67	10,00	11,67	15,00	13,33	2,609	12,500
6	11,67	13,33	11,67	11,67	8,33	11,67	8,33	6,67	11,67	15,00	2,380	11,000
7	8,33	3,33	5,00	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	1,708	7,500
8	2,86	7,14	5,00	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	1,372	3,500
9	6,67	2,33	5,00	8,33	5,00	8,33	6,67	8,33	6,67	8,33	1,880	6,567

Pada tabel 4.4 nilai minimal *shrinkage transversal* pada percobaan 8.

Berikut tabel 4.5 hasil faktor dari parameter pada perhitungan *shrinkage transversal*.

Tabel 4.5 Hasil faktor tiap parameter *shrikage transversal*

Level	Temperature	Cooling time	Injection pressure
1	-18,18546554	-18,11608245	-16,43868899
2	-20,99674972	-17,28411931	-18,25202278
3	-15,30401389	-19,08602739	-19,79551738
Selisih	5,692	1,802	3,357
rank	1	3	2



Gambar 4.8 Grafik Shrinkage transversal untuk dimensi persen

Berdasarkan tabel 4.5 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 3 (200°C), level 2 pada *cooling time* (23s), level 1 pada *injection pressure* (125 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada Gambar 4.6. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.1 yaitu parameter *temperature* sebesar -15,30401389.

4.2.2 SNR Cacat *Sinkmark*

Cacat *sinmark* merupakan lengkungan pada produk. Pengukuran pada cacat *sinkmark* berbeda dengan pengukuran cacat *shrinkage*, pada cacat *sinkmark* menggunakan alat ukur *dial gauge*.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran cacat sinkmark longitudinal atas

Percobaan	Replikasi percobaan										Standar deviasi	Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0,132	0,105	0,1	0,17	0,14	0,12	0,12	0,18	0,18	0,18	0,0307	0,1433
2	0,08	0,063	0,11	0,098	0,11	0,09	0,1	0,1	0,09	0,12	0,0151	0,0955
3	0,075	0,075	0,09	0,083	0,06	0,07	0,08	0,08	0,1	0,12	0,0157	0,0818
4	0,073	0,07	0,09	0,13	0,16	0,14	0,08	0,04	0,06	0,07	0,0371	0,0910
5	0,07	0,0525	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,09	0,0103	0,0690
6	0,068	0,0575	0,07	0,08	0,09	0,08	0,14	0,08	0,08	0,1	0,0223	0,0828
7	0,048	0,055	0,06	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,0085	0,0620
8	0,063	0,0675	0,07	0,073	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,12	0,0151	0,0755
9	0,088	0,06	0,06	0,073	0,07	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,0112	0,0758

Pada tabel 4.6 didapat hasil minimum pada percobaan 7, kemudian dihitung SNR pada tahap selanjutnya.

Data yang telah didapat kemudian dihitung seperti perhitungan pada cacat *shrinkage*, yaitu mendapatkan nilai faktor pada tiap level parameter. Perhitungan SNR Perhitungan SNR pada hasil cacat *shrinkage* longitudinal sebagai berikut ini:

η : SNR

σ : Standar deviasi

\bar{y} : rata-rata replikasi tiap percobaan

A : *Temperature*

B : *Cooling Time*

C : *Injection Pressure*

1. SNR (η) percobaan pertama

$$\begin{aligned}\eta_1 &= -10 \log_{10} (\sigma^2 + \bar{y}^2) \\ &= -10 \log_{10} (0,030722345^2 + 0,14325^2) \\ &= -16,68280741\end{aligned}$$

$$\eta_2 = 20,29721714$$

$$\eta_3 = 21,59305935$$

$$\eta_4 = 20,15022874$$

$$\eta_5 = 23,12805583$$

$$\eta_6 = 21,33897349$$

$$\eta_7 = 24,07129592$$

$$\eta_8 = 22,27036862$$

$$\eta_9 = 22,31870847$$

2. Pengaruh faktor A:

$$\begin{aligned}\bar{A}_1 &= \frac{(16,68280741) + 20,29721714 + 21,59305935}{3} \\ &= 19,5243613\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{A}_2 &= \frac{(20,15022874) + (23,12805583) + (21,33897349)}{3} \\ &= 21,53908602\end{aligned}$$

$$\bar{A}_3 = \frac{(24,07129592) + (22,27036862) + (22,31870847)}{3}$$

$$= 22,886791$$

3. Pengaruh faktor B:

$$\dot{B}_1 = \frac{16,68280741 + 20,15022874 + 24,07129592}{3}$$

$$= 20,30144402$$

$$\dot{B}_2 = \frac{20,29721714 + 23,12805583 + 22,27036862}{3}$$

$$= 21,8985472$$

$$\dot{B}_3 = \frac{21,59305935 + 21,33897349 + 22,31870847}{3}$$

$$= 21,7502471$$

4. Pengaruh faktor C:

$$C_1 = \frac{16,68280741 + 21,33897349 + 22,27036862}{3}$$

$$= 20,09738318$$

$$C_2 = \frac{20,29721714 + 20,15022874 + 22,31870847}{3}$$

$$= 20,92205145$$

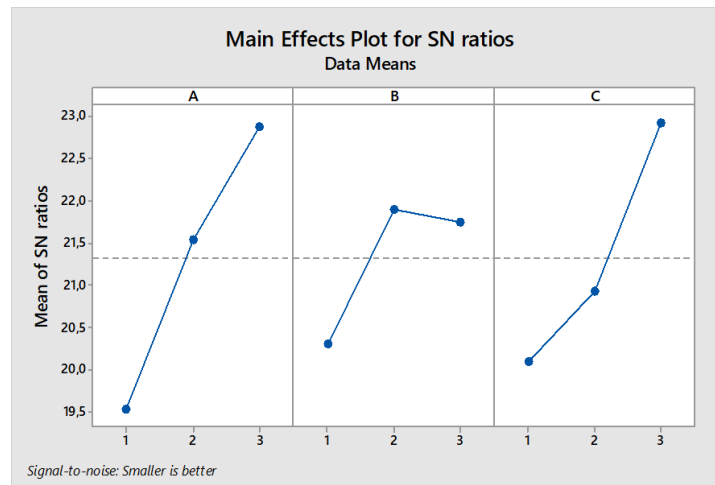
$$C_3 = \frac{21,59305935 + 23,12805583 + 24,07129592}{3}$$

$$= 22,9308037$$

Berikut tabel faktor level parameter pada cacat *sinkmark longitudinal* atas.

Tabel 4.7 Nilai faktor SNR level tiap parameter

Level	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>
lv1	19,5243613	20,30144402	20,09738318
lv2	21,53908602	21,8985472	20,92205145
lv3	22,886791	21,7502471	22,9308037
selisih	3,3625	1,597	2,8334
<i>rank</i>	3	2	1



Gambar 4.9 Grafik nilai faktor SNR cacat sink mark longitudinal atas

Berdasarkan tabel 4.7 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 3 (200°C), level 2 pada *cooling time* (23s), level 3 pada *injection pressure* (135 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada gambar 4.7. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.3 yaitu parameter *injection pressure* sebesar 22,93080.

Bagian selanjutnya yaitu bagian transversal, dimana ada tiga titik kemudian dirata-rata untuk pengukuran pada proses pengambilan data. Berikut tabel cacat *sinkmark* transversal atas:

Tabel 4.8 Hasil pengukuran cacat sinkmark transversal atas

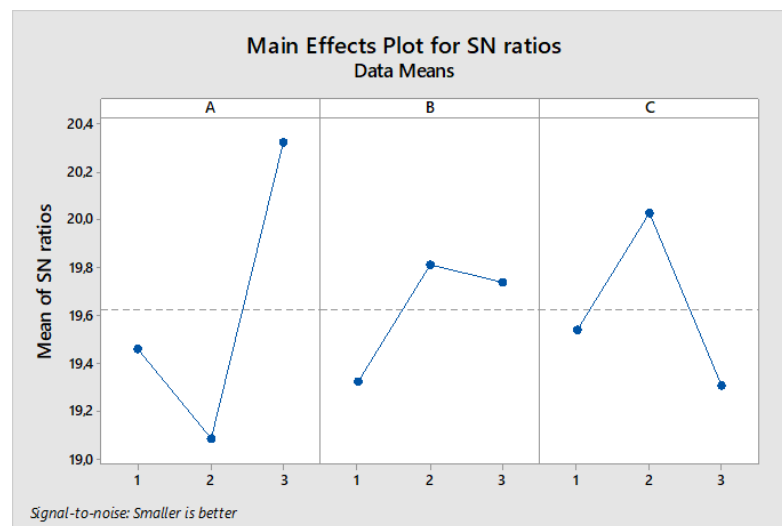
Percobaan	Replikasi percobaan										Standar deviasi	Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0,107	0,1	0,113	0,113	0,103	0,117	0,097	0,103	0,127	0,113	0,0085	0,1093
2	0,103	0,097	0,157	0,107	0,107	0,097	0,113	0,083	0,083	0,093	0,0199	0,1040
3	0,083	0,11	0,11	0,113	0,093	0,097	0,107	0,113	0,103	0,103	0,0092	0,1033
4	0,087	0,097	0,1	0,123	0,13	0,123	0,087	0,093	0,107	0,087	0,0158	0,1033
5	0,107	0,11	0,11	0,12	0,107	0,1	0,103	0,12	0,123	0,11	0,0073	0,1110
6	0,11	0,103	0,117	0,12	0,11	0,103	0,14	0,127	0,107	0,137	0,0126	0,1173
7	0,117	0,107	0,113	0,113	0,113	0,1	0,1	0,107	0,11	0,12	0,0063	0,1100
8	0,073	0,097	0,09	0,087	0,1	0,083	0,087	0,08	0,117	0,087	0,0115	0,0900
9	0,07	0,08	0,08	0,08	0,087	0,097	0,107	0,11	0,097	0,08	0,0125	0,0887

Pada tabel 4.8 di dapatkan nilai minimum *sink mark* ada pada percobaan 9, kemudian dihitung SNR.

Berikut tabel faktor level parameter pada cacat *sinkmark* transversal atas

Tabel 4.9 Nilai faktor SNR level tiap parameter

Level	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>
1	19,46101371	19,32353343	19,5351636
2	19,08350366	19,80789056	20,02573772
3	20,32089611	19,7339895	19,30451216
Selisih	0,86	0,48	0,721
Rank	1	3	2



Gambar 4.10 Grafik nilai faktor SNR cacat sinkmark transversal atas

Berdasarkan tabel 4.9 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 3 (200°C), level 2 pada *cooling time* (23s), level 2 pada *injection pressure* (130 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada gambar 4.8. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.3 yaitu parameter *injection pressure* sebesar 20,32089611.

Berikut tabel faktor level parameter pada cacat *sinkmark* longitudinal bawah:

Tabel 4.10 Hasil pengukuran cacat *sinkmark* longitudinal bawah

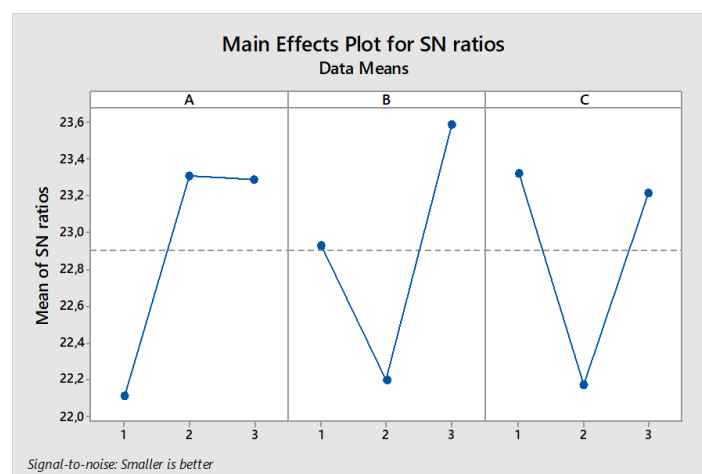
Percobaan	Replikasi percobaan										Standar deviasi	Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0,068	0,068	0,075	0,083	0,055	0,070	0,070	0,083	0,063	0,068	0,008	0,070
2	0,100	0,080	0,070	0,157	0,093	0,083	0,075	0,097	0,077	0,073	0,024	0,091
3	0,080	0,090	0,077	0,073	0,063	0,083	0,057	0,060	0,060	0,078	0,011	0,072
4	0,100	0,090	0,107	0,087	0,070	0,080	0,047	0,060	0,053	0,053	0,020	0,075
5	0,080	0,070	0,067	0,077	0,073	0,067	0,053	0,050	0,047	0,083	0,012	0,067
6	0,080	0,070	0,063	0,067	0,060	0,040	0,067	0,057	0,053	0,040	0,012	0,060
7	0,063	0,067	0,060	0,070	0,073	0,057	0,077	0,067	0,070	0,060	0,006	0,066
8	0,083	0,070	0,067	0,087	0,070	0,077	0,073	0,083	0,063	0,060	0,009	0,073
9	0,083	0,067	0,070	0,060	0,060	0,057	0,073	0,067	0,053	0,057	0,009	0,065

Pada tabel 4.10 didapatkan nilai terkecil *sink mark longitudinal* bawah pada percobaan 6.

Berikut tabel faktor level parameter pada cacat *sinkmark* longitudinal bawah

Tabel 4.11 Nilai faktor SNR level tiap parameter

Level	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>
lv1	22,11109296	22,92781168	23,32146743
lv2	23,30950193	22,19491262	22,17105115
lv3	23,29091725	23,58878784	23,21899356
selisih	1,19	1,39	1,15
<i>rank</i>	2	1	3



Gambar 4.11 Grafik nilai faktor SNR cacat *sinkmark* longitudinal bawah

Berdasarkan tabel 4.11 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 2 (190°C), level 3 pada *cooling time* (33s), level 1 pada *injection pressure* (125 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada gambar 4.9. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.5 yaitu parameter *cooling time* sebesar 23,58878784.

Cacat *sinkmark* yang selanjutnya pada bagian transversal bawah, berikut tabel hasil perhitungan dengan menggunakan *dial gauge*.

Tabel 4.12 Hasil pengukuran cacat *sinkmark* transversal bawah

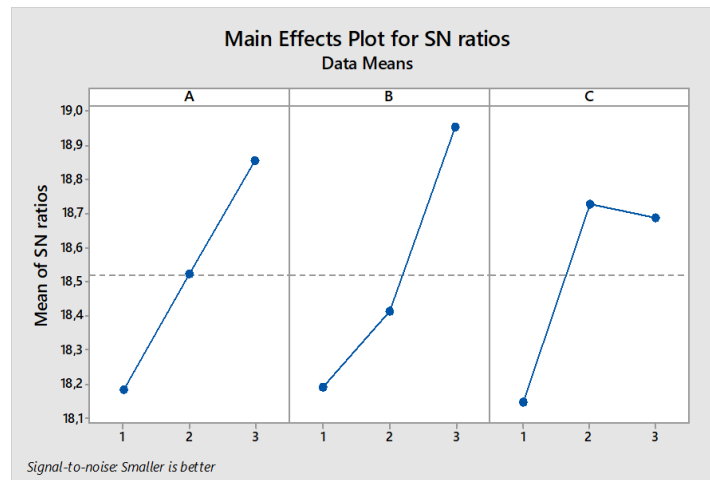
Percobaan	Repilka percobaan										Standar deviasi	Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	0,137	0,137	0,120	0,137	0,120	0,150	0,147	0,143	0,147	0,147	0,0102	0,138
2	0,117	0,113	0,120	0,127	0,127	0,120	0,127	0,120	0,110	0,147	0,0096	0,123
3	0,110	0,097	0,090	0,133	0,097	0,110	0,113	0,103	0,130	0,107	0,0133	0,109
4	0,107	0,103	0,107	0,107	0,113	0,110	0,117	0,127	0,127	0,127	0,0088	0,114
5	0,117	0,117	0,127	0,123	0,133	0,120	0,127	0,117	0,113	0,127	0,0060	0,122
6	0,123	0,123	0,123	0,107	0,117	0,113	0,123	0,107	0,117	0,133	0,0079	0,119
7	0,107	0,113	0,123	0,100	0,113	0,113	0,120	0,137	0,117	0,127	0,0098	0,117
8	0,097	0,110	0,120	0,120	0,120	0,103	0,107	0,123	0,120	0,127	0,0093	0,115
9	0,113	0,110	0,110	0,100	0,120	0,097	0,100	0,117	0,110	0,120	0,0080	0,109

Pada tabel 4.12 nilai minimal *sink mark longitudinal* bawah terdapat pada percobaan 9.

Berikut tabel faktor level parameter pada cacat *sinkmark* transversal bawah

Tabel 4.13 Nilai faktor SNR level tiap parameter

Level	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>
1	18,1813891	18,1913994	18,14480594
2	18,5223984	18,4145438	18,7284069
3	18,8546908	18,9525352	18,6852655
Selisih	0,67	0,76	0,58
Rank	2	1	3



Gambar 4.12 Grafik nilai faktor SNR cacat sinkmark transversal bawah

Berdasarkan tabel 4.13 telah didapat respon *noise* dalam persen dari pengacakan level pada masing-masing parameter proses. Respon SNR terbesar yang ditunjukkan tiap parameter berbeda, pada parameter *temperature* pada level 3 (200⁰C), level 3 pada *cooling time* (33s), level 2 pada *injection pressure* (130 bar). Grafik pengaruh parameter proses terhadap variabel respon ditunjukkan pada gambar 4.10. Nilai SNR parameter yang tertinggi pada gambar 4.6 yaitu parameter *cooling time* sebesar 18,9525352.

4.3 Analysis of Variance

Analisis varian atau ANOVA adalah teknik perhitungan untuk memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon secara kuantitatif (Soejanto, 2009). ANOVA memiliki klasifikasi yang dihitung yaitu meliputi ST, Mq, Sq untuk setiap faktor, Se, F-ratio, Df, Sq' untuk setiap faktor, P-value, dan $\rho\%$ setiap faktor. Pada penelitian ini ditentukan nilai *alpha-error* sebesar α : 0.05 (5%). Nilai 5% merupakan nilai yang diterima kemungkinan kesalahan dalam mengklasifikasikan sebagai faktor penting (F) dan faktor signifikan (P). Perhitungan ANOVA pada hasil *shrinkage* dan *sinkmark* sebagai berikut:

Keterangan:

- A : *Temperature* (°C)
- B : *Cooling Time* (s)
- C : *Injection pressure* (bar)
- e : Error

- T : Jumlah total
 N : Jumlah eksperimen
 n : Jumlah eksperimen pada factor

1. Jumlah Kuadrat Total Data (ST)

$$\begin{aligned}
 ST &= \sum y^2 \\
 &= (-1,5170^2) + 0,02715^2 + 0,5131^2 + (-0,62162^2) + \\
 &\quad (-0,43374^2) + (-0,20038)^2 + (-1,34985^2) + (-0,36742^2) + \\
 &\quad (0,15759^2)
 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Mean (Sm)

$$\begin{aligned}
 Sm &= n \times \bar{y} \\
 &= 9 \times -0,421357864
 \end{aligned}$$

3. Jumlah Derajat Kebebasan (Df, Df_e)

$$\begin{aligned}
 Df &= level - 1 \\
 &= 3 - 1 = 2 \\
 Dfe &= VoA - \sum Df \\
 &= N - 1 - \sum Df \\
 &= 9 - 1 - 6 = 2
 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor (SS_A, SS_B, SS_C SS_e)

$$\begin{aligned}
 SSA &= \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A1}} + \frac{A_3^2}{n_{A1}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{-0,9767^2}{3} + \frac{-1,255^2}{3} + \frac{-1,599^2}{3} - \frac{-3,79222^2}{9} = 0,55268
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSB &= \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B1}} + \frac{B_3^2}{n_{B1}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{-3,488^2}{3} + \frac{-1,255^2}{3} + \frac{0,4703^2}{3} - \frac{-3,79222^2}{9} = 2,7309
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSC &= \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C1}} + \frac{C_3^2}{n_{C1}} - \frac{T^2}{N} \\
 &= \frac{-2,0848^2}{3} + \frac{-0,4368^2}{3} + \frac{-1,2704^2}{3} - \frac{-3,79222^2}{9} = 0,45255
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSe &= SS_T - SS_m - SS_{faktor} \\
 &= 5,16211 - 1,59788 - 0,0552 - 2,7309 - 0,45255 = 0,325492
 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Total Sesungguhnya (St)

$$\begin{aligned}
 St &= SSA + SSB + SSC + SSe \\
 &= 0,055268 + 2,730919 + 0,452554 + 0,325492 = 3,564233
 \end{aligned}$$

6. Rata-rata Jumlah Kuadrat (MS_A , MS_B , MS_C , MS_e)

$$\begin{aligned}
 MSA &= \frac{SSA}{DfA} \\
 &= \frac{0,055268}{2} = 0,02763
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MSB &= \frac{SSB}{DfB} \\
 &= \frac{2,730919}{2} = 1,3654
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MSC &= \frac{SSC}{DfC} \\
 &= \frac{0,452554}{2} = 0,452554
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MSe &= \frac{SSe}{Dfe} \\
 &= \frac{0,325492}{2} = 0,1627
 \end{aligned}$$

7. Faktor Rasio (F-ratio)

$$\begin{aligned}
 F - ratio A &= \frac{MSA}{MSe} \\
 &= \frac{0,02763}{0,1627} = 0,16979
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F - ratio B &= \frac{MSB}{MSe} \\
 &= \frac{1,3654}{0,1627} = 8,3901
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F - ratio C &= \frac{MSC}{MSe} \\
 &= \frac{0,452554}{0,1627} = 2,7815
 \end{aligned}$$

8. Jumlah Kuadrat Sesungguhnya (SS_A' , SS_B' , SS_C' , SS_e')

$$SSA' = SSA - Df \times MSe$$

$$= 0,5526 - 2 \times 0,16274 = -0,27022$$

$$SSB' = SSB - Df \times MSe$$

$$= 1,3654 - 2 \times 0,16274 = 2,4054$$

$$SSC' = SSC - Df \times MSe$$

$$= 0,2262 - 2 \times 0,16274 = 0,1270$$

$$Sse' = St - SSA' - SSB' - SSC'$$

$$= 3,5643 - (-0,27022) - 2,4054 - 0,1270 = 1,3019$$

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

$$\rho = \frac{SS' \text{ masing - masing faktor}}{St} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{-0,27022}{3,5643} \times 100\% = -7,58154$$

$$\rho B = \frac{2,4054}{3,5643} \times 100\% = 67,4879$$

$$\rho C = \frac{0,1270}{3,5643} \times 100\% = 3,5649$$

$$\rho e = \frac{1,3019}{3,5643} \times 100\% = 36,528$$

a. *Pooling Up Factor*

Data yang didapatkan terdapat faktor yang tidak signifikan, faktor tersebut dikumpulkan sebagai error dari faktor *sum of square* (SS) terkecil dari faktor sampai derajat bebas (Soejanto,2009). Berikut data *shrinkage longitudinal* yang *dipooled up*.

Tabel 4.14 Tabel ANOVA *shrinkage* longitudinal

Source	SS	Df	MS	F-ratio
<i>Temperature</i>	0,057	2	0,028	0,18
<i>Cooling Time</i>	2,734	2	1,367	8,46
<i>Injection pressure</i>	0,453	2	0,227	1,40
<i>e</i>	0,323	2	0,161	1,00
St	3,566	7	-	-
ST	5,17	8	-	-

Data (Tabel 4.14) menunjukkan bahwa faktor SS terkecil terdapat pada parameter *Temperature*. Faktor tersebut akan di *pooled* dan tabel ANOVA akan berubah. Berikut tabel ANOVA yang berubah karena *pooled*.

Tabel 4.15 Tabel ANOVA *pooled Shrinkage* longitudinal

ANOVA					
	SS	Df	MS	F-ratio	$\rho\%$
A	Pooled				
B	2,73092	2	1,36546	8,41853	71,278
C	0,45255	2	0,22628	1,39507	7,355
e	0,38076	4	0,09519	-	-
Ssfaktor	3,56423	2	-	-	-
ST	5,16212	8	-	-	-

Data (Tabel 4.15) hasil *pooled* dari tabel ANOVA diatas sebagai berikut:
 Penentuan H_0 dan H_1 didapat pada perhitungan F-ratio dan F tabel, jika F-ratio < F tabel maka H_0 diterima yang artinya tidak ada pengaruh interaksi terhadap cacat *shrinkage longitudinal*, namun F-ratio > F tabel maka H_0 ditolak yang artinya ada pengaruh terhadap cacat *shrinkage longitudinal*. Nilai F tabel diperoleh dari nilai $\alpha = 0.05(5\%)$, nilai derajat kebebasan dan derajat error. Penelitian ini semua faktor sama. Nilai F tabel yang didapat F (0,05;2;2), namun pada pooling faktor menjadi F (0,05;2;4) adalah 6,944.

F-ratio pada faktor *cooling time* adalah 8,418 > F tabel (0,05;2;4) 6,944. Nilai Faktor tersebut H_0 ditolak, artinya ada pengaruh terhadap cacat *shrinkage longitudinal*. Namun F-ratio pada faktor *injection pressure* lebih kecil dari F tabel, artinya H_0 diterima yang berarti tidak ada pengaruh terhadap cacat *shrinkage longitudinal*.

Tabel 4.16 Tabel ANOVA *pooled shrinkage* transversal

ANOVA						
	SS	DF	MS	F-ratio	SS'	$\rho\%$
<i>Temperature</i>	48,613	2	24,307	8,325	43	55,380
<i>Cooling Time</i>	pooled					
<i>Injection pressure</i>	16,939	2	8,469	2,901	11,10	14,300
error	11,679	4	2,920	-	-	-
Ssfaktor	77,232	2	-	-	-	-
ST	3045,98	8	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.16 faktor *cooling time* memiliki nilai SS terkecil dari faktor yang lainnya, oleh karena itu faktor *cooling time* di *pooled*. Nilai F tabel masih sama seperti sebelumnya yaitu 6.944. Nilai F-ratio *temperature* 8,325 yang artinya nilai tersebut lebih besar dari F-tabel oleh karena itu H_0 tidak diterima yang artinya faktor tersebut mempunyai pengaruh terhadap cacat *shrinkage transversal*. Faktor *injection pressure* memiliki nilai F-ratio 2,901 < Nilai F tabel, yang artinya H_0 nilai tersebut diterima, maka nilai tersebut tidak mempunyai pengaruh.

Tabel 4.17 Tabel ANOVA anova *sink mark* longitudinal atas

ANOVA					
Source	SS	Df	MS	F-ratio	p%
<i>Temperature</i>	17,181	2	8,591	5,048	37,51
<i>Cooling time</i>	<i>pooled</i>				
<i>Injection pressure</i>	12,743	2	6,372	3,744	25,43
<i>error</i>	6,807	4	1,702	-	-
Total	36,732	8	-	-	-

Tabel 4.17 memiliki nilai F yang kurang dari F table, nilai F table memiliki nilai 6,944, artinya H_0 dari F-ratio *temperature* diterima, oleh karena itu factor tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap cacat *sinkmark longitudinal* atas. Faktor *injection pressure* memiliki nilai H_0 yang diterima karena nilai tersebut lebih kecil dari F table, oleh karena itu factor *injection pressure* tidak punya pengaruh terhadap cacat *sinkmark longitudinal* atas.

Tabel 4.18 Tabel ANOVA *sink mark* longitudinal bawah

ANOVA					
Source	SS	Df	MS	F-ratio	p%
<i>Temperature</i>	2,829	2	1,414	2,624	18,92
<i>Cooling time</i>	2,917	2	1,458	2,706	19,87
<i>Injection pressure</i>	2,432	2	1,216	2,257	14,63
<i>Error</i>	1,078	2	0,539	-	-
Total	9,2554	8	-	-	-

Data pada tabel 4.18 menunjukkan dari semua parameter tidak memiliki pengaruh apapun karena nilai F-ratio < F tabel. Data tersebut di *pooled* sama sekali tidak punya pengaruh sama sekali.

Tabel 4.19 Tabel ANOVA *sink mark* transversal atas

ANOVA					
Source	SS	Df	MS	F-ratio	$\rho\%$
Temperature	2,413	2	1,207	1,623	18,09
Cooling time	0,409	2	0,204	0,275	-21
Injection pressure	0,814	2	0,407	0,548	-13,1
Error	1,486	2	0,743	-	-
Total	5,122	-	-	-	-

Tabel 4.19 memiliki nilai F-ratio yang lebih kecil daripada F tabel. Nilai H_0 pada masing-masing faktor diterima, yang artinya tidak ada pengaruh terhadap cacat, walau tiap faktor di *pooled*.

Tabel 4.20 Tabel ANOVA *sink mark* transversal bawah

ANOVA					
Source	SS	Df	MS	F-ratio	$\rho\%$
Temperature	0,68004	2	0,34002	0,820	-4,89
Cooling time	0,91856	2	0,45928	1,107	2,9
Injection pressure	0,63455	2	0,31727	0,765	-6,37
Error	0,82968	2	0,41484	-	-
Total	3,06283	-	-	-	-

Data tabel 4.20 memiliki nilai F-ratio < F tabel, sama seperti sebelumnya nilai H_0 diterima, artinya semua faktor tidak ada pengaruh.

4.4 Analisis Parameter Optimum

Hasil yang didapat berdasarkan metode yang digunakan yaitu SNR dan ANOVA pada masing-masing variabel didapatkan level dan parameter yang optimum. Proses optimum berdasarkan SNR dapat ditunjukkan pada tabel 4.21, data level optimum ditunjukkan pada tabel 4.22, dan untuk proses optimum ANOVA ditunjukkan pada tabel 4.23

Tabel 4.21 Parameter proses optimum berdasarkan SNR

Rank	<i>Shrinkage</i> longitudinal	<i>Shrinkage</i> transversal	<i>Sinkmark</i> longitudinal atas	<i>Sinkmark</i> longitudinal bawah	<i>Sinkmark</i> transversal atas	<i>Sinkmark</i> transversal bawah
1	<i>Cooling time</i>	<i>Temperature</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>
2	<i>Injection pressure</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Temperature</i>	<i>Temperature</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Temperature</i>
3	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>

Tabel 4.22 Level optimum berdasarkan SNR

Respon	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection hydrolic pressure</i>	Rata-Rata
<i>Shrikage</i> longitudinal	180	33	130	0,9424
<i>Shrikage</i> transversal	200	23	125	3,5
<i>Sinkmark</i> longitudinal atas	200	23	135	0,062
<i>Sinkmark</i> longitudinal bawah	190	33	125	0,06
<i>Sinkmark</i> transversal atas	200	23	130	0,0887
<i>Sinkmark</i> transversal bawah	200	33	130	0,109

Tabel 4.23 Parameter proses optimum berdasarkan ANOVA

Rank	<i>Shrinkage</i> longitudinal	<i>Shrinkage</i> transversal	<i>Sinkmark</i> longitudinal atas	<i>Sinkmark</i> longitudinal bawah	<i>Sinkmark</i> transversal atas	<i>Sinkmark</i> transversal bawah
1	<i>Cooling time</i>	<i>Temperature</i>	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>
2	<i>Injection pressure</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Temperature</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Temperature</i>
3	<i>Temperature</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>	<i>Cooling time</i>	<i>Injection pressure</i>

Tabel 4.21 menunjukkan hasil parameter optimum berdasarkan SNR, parameter optimum yang dihasilkan berbeda untuk tiap cacat. Cacat *shrinkage* menghasilkan parameter optimum yang berbeda pada tiap bagian spesimen. Perbedaan juga terdapat pada cacat *sinkmark*, namun terdapat perbedaan di sisi atas yang berbeda. Sisi bawah untuk setiap parameter sama. Tabel 4.22 merupakan tabel level parameter optimum dengan menggunakan SNR. Hasil yang sering muncul adalah level *temperature* pada level 3 yaitu 200 °C, pada parameter *cooling time* berbeda antara 23 dan 33 *secons* saja, namun parameter *injection pressure* sangat berbeda di setiap percobaan.

Tabel 4.23 merupakan tabel hasil parameter optimum ANOVA. Percobaan *shrinkage* pada tabel berbeda tiap sisi, namun pada *rank* 2 sama yaitu parameter *injection pressure*. Percobaan *sinkmark* sama seperti SNR, yaitu di sisi yang sama parameter sama untuk tiap *rank*.

4.5 Prediksi Rasio SNR dan Interval Kepercayaan

Perhitungan SNR sudah diketahui untuk tiap percobaan, menghasilkan parameter dan level yang optimal untuk tiap percobaan, dan menghasilkan nilai interval kepercayaan. Nilai estimasi atau prediksi untuk mempunyai nilai kisaran nilai pada rata-rata sebenarnya. Parameter optimal yang dihasilkan untuk setiap percobaan ditunjukkan pada tabel 4.20, namun pada percobaan *shrinkage transversal*, *sink mark longitudinal* dan *transversal* pada bagian bawah. Hasil optimum yang dihasilkan dari perhitungan SNR akan diperoleh nilai prediksi dan nilai interval kepercayaan. Nilai interval kepercayaan merupakan batas nilai maksimum dan minimum yang diharapkan nilai rata-rata dengan persentase kepercayaan tertentu (Soejono, 2009). Berikut perhitungan μ prediksi

Diketahui: \bar{Y} : -0.42135

\bar{A}_1 : -0.3255

B_3 : 0.1567

C_2 : -0.1456

Penyelesaian: μ prediksi cacat *shrinkage longitudinal*

$$\mu_{prediksi} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{B}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_2 - \bar{Y}) \dots \dots \dots (4.1)$$

$$\begin{aligned}\mu_{prediksi} &= -0,4213 + (-0,3255 - (-0,4213)) \\ &\quad + (0,15677 - (-0,4213)) + (-0,1456 - (-0,4213)) \\ &= 0,5282\end{aligned}$$

Setelah menyelesaikan μ prediksi cacat *shrinkage longitudinal*, penyelesaian interval kepercayaan cacat *shrinkage longitudinal* sebagai berikut

$$\text{Diketahui: } F_{(0,05;2:4)} = 6,944$$

$$MS_e = 0,095$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}n_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata-rata}} \dots\dots\dots(4.2) \\ &= \frac{9 \times 10}{1 + (2 + 2 + 2)} \\ &= 12,857\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}CI &= \pm \sqrt{F_{(0,05;2:4)} \times V_e \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \dots\dots\dots(4.3) \\ &= \pm 0,2267\end{aligned}$$

Jadi, interval kepercayaan pada cacat *shrinkage longitudinal*:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{prediksi}} - CI &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI \dots\dots\dots(4.4) \\ 0,5282 - 0,2267 &\leq 0,5282 \leq 0,5282 + 0,2267 \\ 0,3015 &\leq 0,5282 \leq 0,7549\end{aligned}$$

Berikut μ_{prediksi} dan interval kepercayaan pada percobaan *sink mark longitudinal* atas:

$$\mu_{\text{prediksi}} = 25,082$$

$$CI = \pm 0,958$$

Berikut μ_{prediksi} dan interval kepercayaan pada percobaan *sink mark transversal* atas:

$$\mu_{\text{prediksi}} = 20,91$$

$$CI = \pm 1,0478$$

4.6 Eksperimen Konfirmasi

Hal yang didapat pada analisa sebelumnya bahwa hanya percobaan *shrinkage longitudinal* (Tabel 4.24 dan Tabel 4.25), *sink mark longitudinal* (Tabel

4.26 dan Tabel 4.27), dan transversal (Tabel 4.28 dan Tabel 4.29), pada bagian atas saja yang berbeda pada tabel *orthogonal array*. Berikut hasil yang didapat pada perhitungan eksperimen konfirmasi:

Tabel 4.24 Hasil konfirmasi pengukuran *shrinkage longitudinal*

Konfirmasi pengukuran <i>shrinkage</i> longitudinal							
1	2	3	4	5	Standar deviasi	Rata-rata	SNR
0,9211	0,9046	0,9211	0,8576	0,9046	0,02330	0,90178	0,89513

Tabel 4.25 Hasil konfirmasi percobaan *shrinkage longitudinal*

	Eksperimen Taguchi (SNR)	Eksperimen konfirmasi (SNR)
Prediksi	0,528	0,895
Optimasi	0,528±0,2267	0,895±1,355

Tabel 4.26 Hasil pengukuran konfirmasi *sink mark longitudinal atas*

Konfirmasi pengukuran <i>sink mark</i> longitudinal atas							
1	2	3	4	5	Standar deviasi	Rata-rata	SNR
0,055	0,0533	0,055	0,055	0,0525	0,001059434	0,05416	25,324765

Tabel 4.27 Hasil konfirmasi percobaan *sink mark longitudinal atas*

	Eksperimen Taguchi (SNR)	Eksperimen konfirmasi (SNR)
Prediksi	25,08	25,324
Optimasi	25,08±0,958	25,324±1,811

Tabel 4.28 Hasil pengukuran konfirmasi *sink mark transversal atas*

Konfirmasi pengukuran <i>sink mark</i> transversal atas							
1	2	3	4	5	Standar deviasi	Rata-rata	SNR
0,0717	0,0767	0,0833	0,0783	0,0650	0,0062	0,0750	22,4689

Tabel 4.29 Hasil konfirmasi percobaan sink mark transversal atas

	Eksperimen Taguchi (SNR)	Eksperimen konfirmasi (SNR)
Prediksi	20,91	22,46
Optimasi	20,91±1,04	22,46±1,98