

Analisis Pengaruh Parameter Mesin *Injection Molding* Terhadap Diameter *Housing Bearing Roller Conveyor* Dengan Metode *Response Surface*

Achmad Syawariquul Anwar¹, Farizi Rachman^{1*}, Dhika Aditya Purnomo¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Email: farizirachman@ppns.ac.id

Abstract – The roller conveyor bearing housing is one of the injection molded products from a plastic manufacturing company in Sidoarjo. During the production process, there is an issue concerning the mismatch of the bearing housing diameter with the specified tolerance limits, which also slows down the production process. This study aims to find the optimal process parameter combination on the injection molding machine used for producing roller conveyor bearing housings. The response variable observed is the bearing housing diameter. The material used is polypropylene. The varied parameters include injection pressure, injection time, and cooling time. Data analysis utilizes the response surface method with a Box-Behnken experimental design comprising 15 experiments and 3 replications. From the experimental results, the optimal combination for both the housing diameter and cycle time responses includes an injection pressure of 60 bar, injection time of 6 seconds, and cooling time of 30 seconds. Injection pressure contributes 8.4%, injection time contributes 38.43%, and cooling time contributes 14.85% to the overall response.

Keywords: *Injection Molding, Injection Pressure, Injection Time, Cooling Time, Response Surface*

Nomenclature

Nomenclature menyatakan simbol dan keterangan yang kita tampilkan dalam paper

IP	Injection Pressure
IT	Injection Time
CT	Cooling Time
Bar	Satuan nilai tekanan
S	Satuan nilai waktu

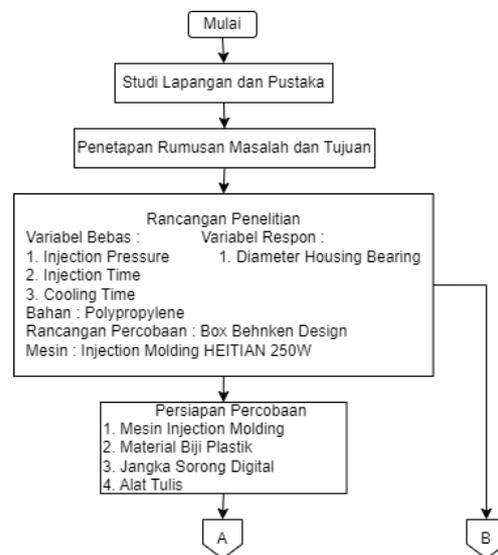
1. PENDAHULUAN

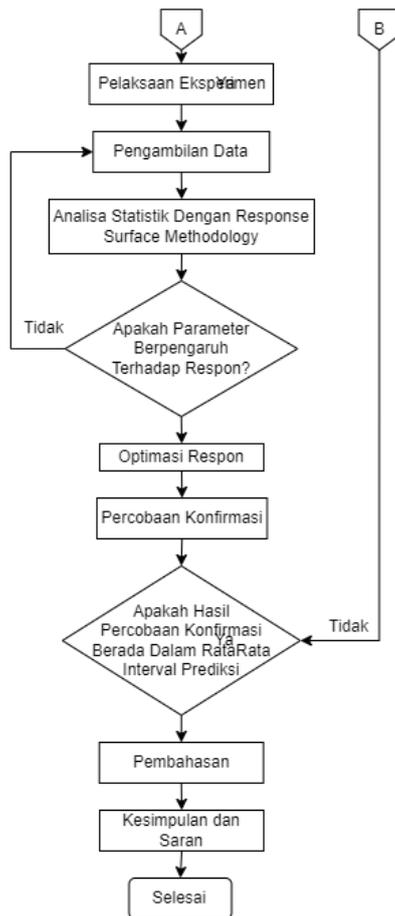
Injection Molding merupakan salah satu teknik dalam industri manufaktur untuk memproduksi produk yang berbahan plastik, karena dengan mesin ini dapat membuat produk berbahan plastik yang memiliki tingkat kerumitan tinggi dengan waktu cepat [1]. Dalam pengaplikasiannya mesin *injection molding* membutuhkan kombinasi parameter yang tepat agar mendapatkan hasil yang maksimal. Salah satu produk *injection molding* dari industri manufaktur plastik yang ada di Sidoarjo adalah *Housing Bearing Roller Conveyor*. Produk ini digunakan sebagai penutup yang didalamnya terdapat bearing dari roller conveyor. Produk ini dituntut untuk memiliki keakuratan dimensi yang tepat agar bearing dapat terpasang dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui besar pengaruh *injection pressure*, *injection time*, dan *cooling time* pada *injection molding* serta kombinasi parameter yang paling optimal terhadap diameter pada produk yang dihasilkan. Batasan masalah pada

penelitian ini yaitu material yang digunakan adalah polypropylene, mesin *injection molding* yang digunakan adalah HEITIAN 250W, *mold injection molding* diasumsikan dalam keadaan baik, parameter yang tidak diteliti dianggap konstan, biaya produksi pembuatan housing bearing tidak dibahas dan alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

2. METODOLOGI

Langkah-langkah penelitian dilakukan sesuai dengan diagram alir di bawah ini, agar penelitian lebih terfokus pada tujuan.





2.1 Pemilihan Variabel Bebas dan Respon

Variabel-variabel yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas
 - a. Injection Pressure
 - b. Injection Time
 - c. Cooling Time
2. Variabel Respon
 - a. Diameter *Housing Bearing*

2.2 Konsep Eksperimen

Untuk membuat desain eksperimen diperlukan variabel level dan parameter yang digunakan dalam penelitian, untuk variabel level dan parameter dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Variabel Bebas

Variabel Bebas	Satuan	Level		
IP	Bar	-1	0	1
IT	S	55	60	65
CT	s	28	30	32

Dalam Eksperimen ini menggunakan rancangan box behnken design dengan 15 percobaan dan 3 kali replikasi.

Tabel 2 Rancangan Eksperimen

No	Injection Pressure	Injection Time	Cooling Time
1	55	5	30
2	60	6,8	32
3	65	5	30

4	55	6	32
5	55	6,8	28
6	60	6,8	28
7	60	6	30
8	65	6	20
9	60	5	30
10	65	6,8	30
11	60	5	28
12	60	5	32
13	65	6	32
14	60	6	30
15	55	6,8	30

Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *injection molding* HAITIAN 250W
2. *Caliper* digital Mitutoyo
3. Laptop dilengkapi dengan software Minitab
4. Material biji plastic Polypropylene.

Percobaan dilakukan dengan mencetak material biji plastik menggunakan mesin *injection molding* sesuai dengan rancangan eksperimen yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil yang diperoleh akan diukur diameternya menggunakan *caliper* digital mitutoyo.

2.2 Analisis Data

Penelitian ini menerapkan metode Response Surface yang bertujuan untuk menganalisis hasil yang didapatkan dari percobaan. Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = 0,05$. Berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam proses analisis data menggunakan *response surface*:

1. Uji Lack Of Fit

Uji *lack of fit* digunakan untuk mengetahui ketidaksesuaian antara model yang diduga dengan model sebenarnya [2]
2. Uji Determinasi Berganda

Koefisien determinasi berganda (R^2) digunakan untuk mengetahui kesesuaian model regresi. Apabila nilai koefisien determinan berganda mendekati nilai 100%, maka model tersebut semakin baik [2].
3. Uji Koefisien Regresi

Pengujian koefisien regresi digunakan untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel. Kelebihan uji regresi adalah kemampuannya melakukan prediksi. Pengujian ini dilakukan secara individu dan serentak [2].
4. Countour Plot

Contour merupakan sebuah kurva yang digambarkan dalam x_i, x_j dengan respon berupa gradient. Setiap contour memiliki ketinggian berbeda sesuai respon yang dihasilkan [2]
5. Uji Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya. Apabila syarat-syarat terpenuhi maka estimasi parameternya tidak bias sehingga hasil dari pemodelannya dapat dipertanggung jawabkan. Asumsi yang harus dipenuhi pada

analisis antara lain residual harus identik, residual harus independen, dan residual berdistribusi normal [2]

6. Optimasi Respon

Optimasi dilakukan untuk mendapatkan nilai yang optimum sesuai dengan toleransi yang ditentukan yaitu $34,46 \pm 0,2$ mm. Dalam penelitian optimasi respon dilakukan dengan software Minitab 21 Menggunakan menu *Respon Optimizer* [3].

7. Persentase Kontribusi

Persen kontribusi adalah cara untuk mengindikasikan kekuatan relative dari sebuah faktor [4]. Dilakukan untuk mengetahui seberapa besar persentase variabel faktor mempengaruhi respon. Untuk menghitung besar pesen kontribusi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{SS'A}{SST} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan :

SS'A = Jumlah kuadrat murni untuk variabel faktor A

SST = Jumlah kuadrat total

P = Persentase kontribusi

8. Percobaan Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk validasi terhadap hasil optimasi respon sebelumnya. Percobaan konfirmasi dikatakan valid jika hasil optimasi respon memiliki interval grafik yang beririsan dengan optimasi respon [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses eksperimen pada mesin *injection molding*, maka langkah selanjutnya yaitu analisis data dengan tahapan di bawah ini:

3.1 Data Hasil Diameter Housing Bearing

Dari hasil eksperimen yang dilakukan, housing bearing akan dilakukan proses pengukuran menggunakan caliper digital dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Pengukuran Diameter Housing Bearing

Run	R1	R2	R3
1	34,11	34,14	34,16
2	34,44	34,44	34,49
3	34,53	34,53	34,50
4	34,25	34,21	34,22
5	34,48	34,47	34,45
6	34,34	34,32	34,34
7	34,41	34,41	34,42
8	34,52	34,50	34,50
9	34,52	34,50	34,45
10	34,36	34,34	34,34
11	34,59	34,53	34,55
12	34,41	34,42	34,42
13	34,49	34,45	34,48
14	34,50	34,49	34,49
15	34,42	34,49	34,49

3.2 Uji Lack Of Fit

Uji lack of fit dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

- H_0 : nilai *P-value* < 0,05 , berarti tidak ada *lack of fit* dalam model
- H_1 : *P-value* > 0,05 , berarti ada *lack of fit* dalam model.

Berikut hasil uji lack of fit diameter *housing bearing* pada software *minitab*

Tabel 4 Hasil Uji Lack Of Fit

Source	DF	Adj SS	F-Value	P-Value
Regression	9	0.456283	15,43	0.000
Linear	3	0.049071	4,98	0.006
Error	35	0.115015		
Lack Of Fit	5	0.100548	41,70	0.000
Pure Error	30	0.014467		
Total	44	0.571298		

Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = 0,05$. Pada tabel 4 nilai *P-value* < α , berarti H_0 diterima atau tidak terjadi *lack of fit* pada model, sehingga model ini memenuhi.

3.3 Uji Determinasi Berganda

Uji koefisien determinan didapat dari nilai *R-sq*, dan nilai *R-sq* didapatkan saat proses analisis menggunakan software *minitab*. Tabel 5 berikut menunjukkan hasil uji determinasi berganda

Tabel 5 Hasil Uji Determinasi Berganda

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0573249	79,87%	74,69%	68,07%

Pada tabel 5 menunjukkan bahwa pada penelitian ini presentase nilai koefisien determinasi berganda (R^2) pada diameter *housing bearing* adalah sebesar 79,87%. Dengan nilai tersebut maka nilai determinasi masuk ke dalam kategori kuat.

3.3 Uji Koefisien Regresi

1. Uji Koefisien Secara Individu

Hipotesis yang digunakan pada pengujian koefisien regresi secara serentak adalah sebagai berikut :

- H_0 : nilai *P-value* < 0,05 , Terdapat parameter yang berpengaruh terhadap respon
- H_1 : nilai *P-value* > 0,05 , Tidak ada parameter yang berpengaruh terhadap respon

Nilai pengujian yang digunakan adalah nilai *P-value* yang didapat dari ANOVA output *minitab* sebagai berikut :

Tabel 6 Hasil Uji Koefisien Secara Serentak

Source	DF	Adj SS	P-Value
Regression	9	0.456283	0.000

Pada tabel 6 nilai *P-value* < α , yang berarti H_0 diterima. Disimpulkan bahwa terdapat parameter yang berpengaruh terhadap respon.

2. Uji Koefisien Secara Individu

Hipotesis yang digunakan pada pengujian regresi secara individu adalah
 - H_0 : nilai *P-value* < 0,05 , Terdapat parameter yang berpengaruh terhadap respon
 - H_1 : nilai *P-value* > 0,05 , Tidak ada parameter yang berpengaruh terhadap respon

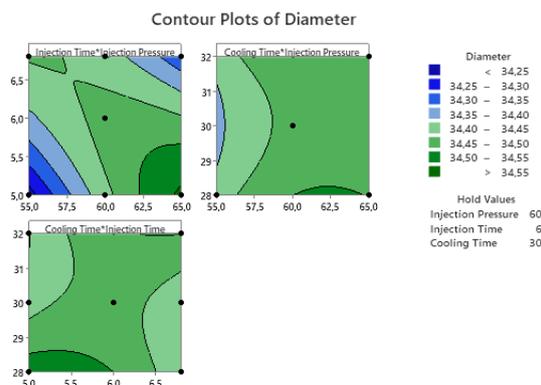
Tabel 7 Hasil Uji Koefisien Secara Individu

Term	Coef	P-Value
Constant	34.4628	0.000
Injection Pressure	0.0474	0.001
Injection Time	-0,0054	0.602
Cooling Time	-0.0114	0.363

Pada tabel 6 nilai terdapat nilai *P-value* < α , yang berarti H_0 diterima. Disimpulkan bahwa secara individu *injection pressure* berpengaruh terhadap respon.

3.4 Contour Plot Dan Surface Plot

Pada setiap *contour plot* memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai dengan parameter yang dibandingkan [6]. Gambar 1 berikut adalah hasil *contour plot* dari *diameter housing bearing*.



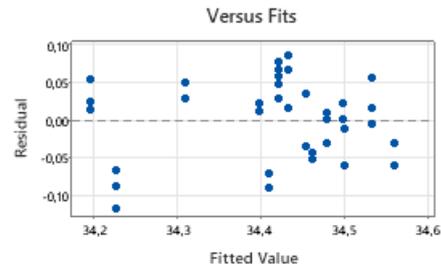
Gambar 1 Contour Plot Diameter Housing Bearing

Pada Gambar 1 contour plot dapat dilihat bahwa warna dan hasil dari diameter *housing bearing* sesuai dengan parameter yang dibandingkan. Dari ketiga gambar diatas dapat disimpulkan saat nilai *hold values injection pressure* berada di 60 bar, *injection time* di 6 detik dan *cooling time* berada di 30 detik diprediksi mendapatkan diameter housing bearing sebesar 34,45 – 34,5 mm.

3.5 Uji Asumsi Residual

1. Uji Asumsi Identik

Uji identik adalah plot antara nilai residual dari tiga variabel dengan nilai estimasi diameter *housing bearing*. Apabila dalam plot nilai estimasi diameter *housing bearing* tidak menunjukkan naik turun itu berarti nilai residual menyebar secara acak yang dapat diartikan bahwa nilai residual bersifat identik. Gambar 2 berikut merupakan hasil uji asumsi identik.

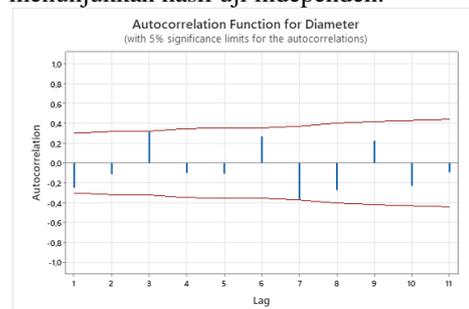


Gambar 2 Plot Hasil Uji Identik

Pada gambar 2 di atas, data terdistribusi menyebar disekitar garis diagonal dan searah mengikuti garis diagonal dengan nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun, sehingga residual pada diameter *housing bearing* bersifat identik.

2. Uji Asumsi Independen

Uji Independen adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya ketergantungan diantara nilai residual tiga variabel yang diteliti. Hasil pengujian dikatakan independen apabila tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan, hal ini menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Gambar 3 berikut menunjukkan hasil uji independen.



Gambar 3 Hasil Uji Independen

Pada Gambar 3 merupakan hasil uji independen dari variabel yang diteliti. Di mana terdapat garis biru yang merupakan lag, dan garis merah merupakan batas signifikan. Dari data diatas tidak terdapat lag yang melewati batas signifikan, sehingga uji asumsi independen pada diameter *housing bearing* dinyatakan memenuhi.

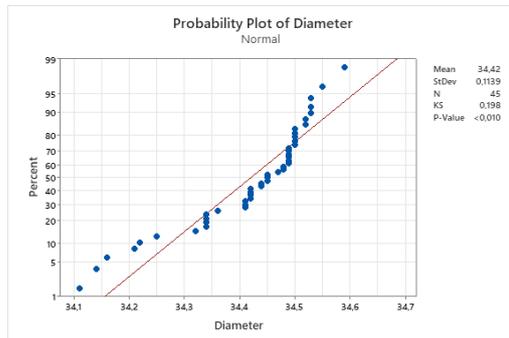
3. Uji Normalitas

Pada penelitian ini uji normalitas yang digunakan adalah uji *kolmogorov – smirnov*. Jika nilai *p-value* lebih besar dari α maka data dinyatakan berdistribusi normal, jika nilai *p-value* < α maka data dinyatakan berdistribusi tidak normal [7]. Hipotesis dalam uji distribusi normalitas sebagai berikut :

- $H_0 = P\text{-value} < 0,05$, maka residual tidak berdistribusi normal

- $H_1 = P\text{-value} > 0,05$, maka residual berdistribusi normal

Gambar 4 berikut menunjukkan hasil uji normalitas.



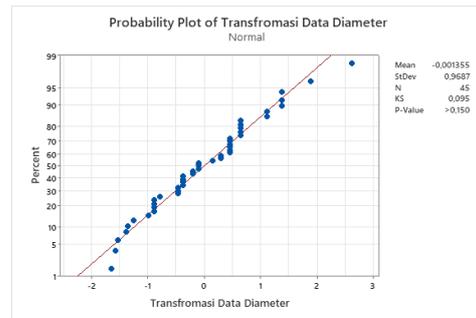
Gambar 4 Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa uji normalitas menghasilkan $P\text{-value}$ sebesar 0,010. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai $P\text{-value} < \alpha$, sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 diterima yang berarti residual tidak berdistribusi normal. Dikarenakan pada uji normalitas residual tidak berdistribusi normal maka akan dilakukan transformasi data untuk mengatasi permasalahan tersebut [8]. Transformasi data dilakukan langsung di *software* minitab dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 8 Hasil Transformasi Data

Transformasi Data		
-1.64904	-1.57786	-1.52733
-0.20090	-0.20090	0.46000
1.38000	1.38000	0.65088
-1.26037	-1.38814	-1.35773
0.29363	0.14771	-0.09685
-0.89146	-0.98629	-0.89146
-0.46185	-0.46185	-0.38207
1.11546	0.65088	0.65088
1.11546	0.65088	-0.09685
-0.78650	-0.89146	-0.89146
2.62917	1.38000	1.89484
-0.46185	-0.38207	-0.38207
0.46000	-0.09685	0.29363
0.65088	0.46000	0.46000
-0.38207	0.46000	0.46000

Kemudian dari hasil transformasi pada tabel 8 akan dilakukan uji normalitas kembali. Gambar 5 berikut merupakan hasil uji normalitas dari hasil transformasi data yang dilakukan.

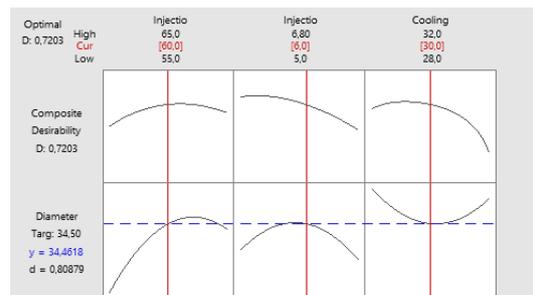


Gambar 5 Hasil Uji Normalitas Transformasi Data

Berdasarkan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa uji normalitas transformasi data menghasilkan $P\text{-value}$ sebesar 0,150. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai $P\text{-value} > 0,05$, dengan keputusan yang dapat diambil adalah H_0 ditolak yang berarti residual berdistribusi normal.

3.6 Optimasi respon

Optimasi respon dilakukan untuk mendapatkan setting optimum dari variabel bebas yang diteliti. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka digunakan pendekatan *desirability*. Fungsi pendekatan *desirability* yaitu untuk mengetahui nilai kombinasi variabel bebas yang akan menghasilkan nilai respon yang optimum [9]. Gambar 6 Berikut merupakan hasil eksperimen konfirmasi.



Gambar 6 Hasil Respon Optimizer

Pada gambar 6 berdasarkan hasil optimasi respon, didapatkan *setting Injection Pressure* 60 bar, *Injection Time* 6 detik dan *Cooling Time* 30 detik. Dari kombinasi parameter tersebut, diprediksi akan menghasilkan respon yang optimal yaitu diameter *housing bearing* sebesar 34.46 mm.

3.7 Persentase Kontribusi

Besar kontribusi setiap variable bebas dihitung menggunakan persen kontribusi. Untuk mengetahui persen kontribusi dilakukan dengan melihat hasil analisa menggunakan *software* Minitab pada tabel 4.14 sebagai berikut:

Tabel 9 Output ANOVA

Source	DF	Adj SS	P-Value
Regression	9	0,456283	0,000
Injection Pressure	1	0,048090	0,001
Injection Time	1	0,000912	0,602
Cooling Time	1	0,002787	0,363
Total	44	0,571298	

Berikut adalah nilai prosentase pengaruh parameter pada respon diameter *housing bearing*.

1. *Injection Pressure* : $\frac{0,048090}{0,571298} \times 100 \% = 8,4\%$
2. *Injection Time* : $\frac{0,000912}{0,571298} \times 100 \% = 0,15$
3. *Cooling Time* : $\frac{0,002787}{0,571298} \times 100 \% = 0,48 \%$

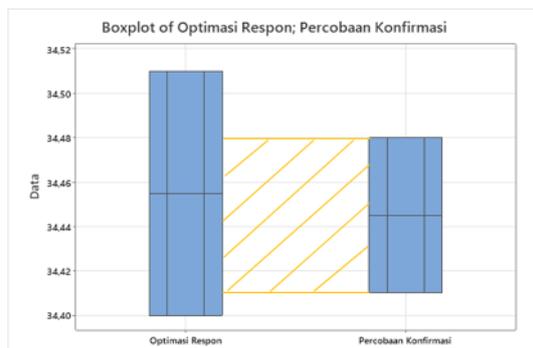
3.8 Percobaan Konfirmasi

Dari hasil kombinasi parameter pada gambar 6, dilakukan percobaan ulang pada mesin *injection molding* dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 10 Hasil Percobaan Konfirmasi

Replikasi	Diameter Housing Bearing
1	34,48 mm
2	34,45 mm
3	34,41 mm

Untuk mengetahui kebenaran hasil percobaan konfirmasi akan dilakukan perbandingan dengan hasil optimasi respon melalui grafik perbedaan interval [10]. Data dikatakan sesuai apabila nilai percobaan konfirmasi dengan optimasi respon beririsan yang dapat dilihat dari gambar 7 berikut:



Gambar 7 Grafik Interval Optimasi Respon dan Percobaan Konfirmasi

Berdasarkan grafik interval optimasi respon dengan percobaan konfirmasi pada gambar 7 dapat diketahui bahwa kedua interval kepercayaan memiliki nilai yang beririsan. Maka hasil prediksi dinyatakan berhasil dengan adanya bukti pelaksanaan eksperimen konfirmasi [1].

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data dengan *response surface* diketahui bahwa *injection pressure* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap diameter *housing bearing* dibuktikan dengan nilai *p-value* < α . Sedangkan untuk *injection time* dan *cooling time* tidak memberikan pengaruh yang signifikan tetapi tetap memberikan persentase kontribusi sebesar 0,15 % dan 0,48 %. Kombinasi setting parameter yang optimum yaitu *injection pressure* 60 bar, *injection time* 6 detik dan *cooling time* 30 detik diprediksi akan mendapatkan nilai diameter *housing bearing* sebesar 34,46 mm. Untuk hasil tersebut masih

berada dalam batas toleransi ukuran dimensi *housing bearing roller conveyor* yaitu $34,5 \pm 0,2$ mm.

7. PUSTAKA

- [1] Al Amin ,M.A., (2018). Studi Eksperimen Pengaruh Parameter Proses Injeksi Molding Terhadap Shrinkage Material Biokomposit Serat Sisal Menggunakan *Response Surface Methodology* (Rsm). *Undergraduate Thesis*, 1–26
- [2] Perdana, Y. K., Purwanti, E. P., & Karuniawan, B. W. (2020). *Analisa Pengaruh Parameter Injection Moulding pada Produk Head Travel Kit Terhadap Cycle Time dan Netto Menggunakan Metode Response Surface*. 2654, 168–174.
- [3] Fadillansyah, D., Sidi, P., & Arumsari, N. (2021). *Optimasi Parameter Proses Injection Molding Terhadap Inner Snap Diameter dan Netto Produk Pot Cream 10 Gram Metode Response Surface*. 2654, 1–4.
- [4] Damayanti, K. A., Rachman, F., Dhika, D., & Purnomo, A. (2023). Optimasi Parameter Proses Wax Pattern Injection Terhadap Produk Casing Pump Vs 2/4/6 X Menggunakan Metode Response Surface. *Design And Manufacture Engineering And Its Application*.
- [5] Pramestiani, I., Karuniawan, B. W., & Rachman, F. (2023). Penerapan Metode Taguchi Dalam Pengoptimalan Parameter Injection Moulding Terhadap Netto Produk Bioring Cone Cup. *Design and Manufacture Engineering and Its Application*.
- [6] Azharini, R., & Widyasanti, S. N. (n.d.). *Penentuan Setting Parameter Pembuatan Botol DK 8251 B pada Proses Blow Moulding dengan Menggunakan RSM (Response Surface Methodology) Studi Kasus di PT. Rexam Packaging Indonesia Ariezal Musthofa*.
- [7] Wahyudi, U. (2017). Pengaruh Injection Time Dan Backpressure Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Kemasan Toples Dengan Injection Molding Menggunakan Material Polystyrene. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(3), 15.
- [8] Widiastuti, H., Surbakti, S. E., Restu, F., Albana, M. H., & Saputra, I. (2019). Identifikasi Cacat Produk Dan Kerusakan Mold Pada Proses Plastic Injection Molding. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(2), 76–80.
- [9] Muhammad, K. (2017). Komparasi Parameter Injeksi Optimum Pada Hdpe Recycled Dan Virgin Material. *JMPM: Jurnal Material Dan Proses Manufaktur - Vol.1, No.1*, 11-20.
- [10] Rinanto, A. (2012). Desain Ulang Unit Pemanas dan Pengendali Kecepatan Injeksi Mesin Molding. *Skripsi*, 1–60.