

OPTIMASI PARAMETER PROSES WAX PATTERN INJECTION TERHADAP PRODUK CASING PUMP VS 2/4/6 X MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Kholish Adilah Damayanti^{1*}, Farizi Rachman¹, dan Dhika Aditya Purnomo¹

¹ Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan
Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia – Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 6011, Indonesia

Email: adilahshierly24@gmail.com

Abstrak

Mesin wax injection adalah satu – satunya teknik untuk menghasilkan banyak produk yang ideal dalam volume besar yang merupakan metode paling umum dalam proses investment casting. Salah satu produk yang memiliki paling banyak jumlah order di perusahaan pengecoran logam dengan teknik investment casting adalah produk pump casing VS 2/4/6 X. Produk pump casing VS 2/4/6 X terdiri dari 4 komponen, masing – masing komponen diinjeksikan dalam cetakan yang berbeda-beda dan pada akhirnya akan dirakit menjadi sebuah produk. Beberapa permasalahan yang dijumpai pada hasil wax pattern injection adalah keakuratan dimensi dan cacat produk. Beberapa parameter yang akan dianalisa terhadap keakuratan dimensi dan cacat produk yaitu injection time, injection pressure, dan holding time. Pada penelitian ini menggunakan metode response surface dengan 15 run order dengan 3 kali replikasi dan mengaplikasikan Box-Behnken Design untuk desain eksperimen penelitian serta ANOVA untuk menganalisis data.. Berdasarkan hasil analisis. Ditemukan bahwa kombinasi parameter yang optimal adalah nilai injection time sebesar 80 detik, injection pressure sebesar 35 bar, dan holding time sebesar 50 detik. Dari konfigurasi tersebut didapatkan nilai keakuratan dimensi sebesar 146.230 mm.

Kata kunci: wax pattern, wax injection, keakuratan dimensi, cacat produk, respon surface, investment casting

Abstract

Wax injection machining is the only technique to produce many ideal products in large volumes, which is the most common method in the investment casting process. One of the products that has the highest number of orders in metal casting companies using investment casting techniques is the pump casing VS 2/4/6 X product. The VS 2/4/6 X pump casing product consists of 4 components, each of which is injected into a different mold and eventually assembled into a product. Some of the problems encountered in the wax pattern injection results are dimensional accuracy and product defects. Some parameters that will be analyzed for dimensional accuracy and product defects are injection time, injection pressure, and holding time. This research uses response surface method with 15 run orders with 3 replications and applies Box-Behnken Design for research experimental design and ANOVA to analyze the data. Based on the analysis results. It was found that the optimal parameter combination is the value of injection time of 80 seconds, injection pressure of 35 bar, and holding time of 50 seconds. From this configuration, the dimensional accuracy value is 146.230 mm.

Keywords: wax pattern, wax injection, dimension accuracy, product defect, respon surface, investment casting

1. Pendahuluan

Teknologi pengecoran *investment casting* modern sering digunakan untuk memproduksi benda coran yang kompleks, mempunyai geometri yang kompleks, toleransi yang ketat dan permukaan akhir yang bagus. Proses *investment casting* atau dikenal juga dengan nama “*lost-wax*” dalam prosesnya diawali dengan pembuatan pola dengan material lilin

yang kemudian nantinya dari pola lilin (*wax pattern*) tersebut pada proses selanjutnya akan membentuk pola keramik (*shell ceramic*). Salah satu faktor yang memengaruhi kepresisian produk *investment casting* adalah pola (*pattern*). Dalam proses ini pola lilin (*wax pattern*) harus dibuat untuk setiap bagian pengecoran dan *gating system*. Pola lilin dan *gating system* diproduksi dari *metal dies* dengan *injection*. Lilin yang

^{1*} Kholish Adilah Damayanti

digunakan merupakan campuran *beeswax*, *carnauba*, *ceresin*, *aerowax*, *paraffin* dan resin lainnya yang biasanya diperoleh sebagai campuran eksklusif. Adapun kualitas pola ini sangat bergantung pada karakteristik *wax* terhadap penyusutan, kekuatan, dan reaksi dengan *slurry*. Pola lilin merupakan bagian yang mempunyai peran penting dimana pada proses lanjutannya dilelehkan dengan melalui cara menuangkan lelehan. Pola lilin dibuat oleh mesin *wax injection*.

Mesin *wax injection* adalah satu – satunya teknik untuk menghasilkan banyak produk yang ideal dalam volume besar yang merupakan metode paling umum dalam bagian manufaktur. Pada proses *wax injection* diawali dengan pengisian material (*mold filling*), Bahan lilin yang telah berada didalam *cavity* akan ditahan didalam *mold* untuk menjaga tidak adanya *shrinkage* selama produk mengalami pendinginan. Tekanan *holding* akan diberikan hingga bahan lilin yang berada di *gate* membeku, Setelah injeksi selesai katup *diverter* bergeser. Langkah terakhir yaitu pengeluaran produk (*Part Ejection*) dimana *mold* akan membuka dan produk yang telah membeku tadi akan didorong keluar dari *cavity* oleh *ejector*.

Salah satu produk yang memiliki paling banyak jumlah *order* di perusahaan pengecoran logam dengan teknik *investment casting* adalah produk *pump casing* VS 2/4/6 X. Produk ini merupakan salah satu produk yang dibuat untuk sektor industri pipa dan *valve*. Produk *pump casing* VS 2/4/6 X ini dituntut untuk memiliki keakuratan dimensi yang tepat agar tiap komponen penyusun dapat menyatu satu sama lain pada saat penyambungan atau perakitan

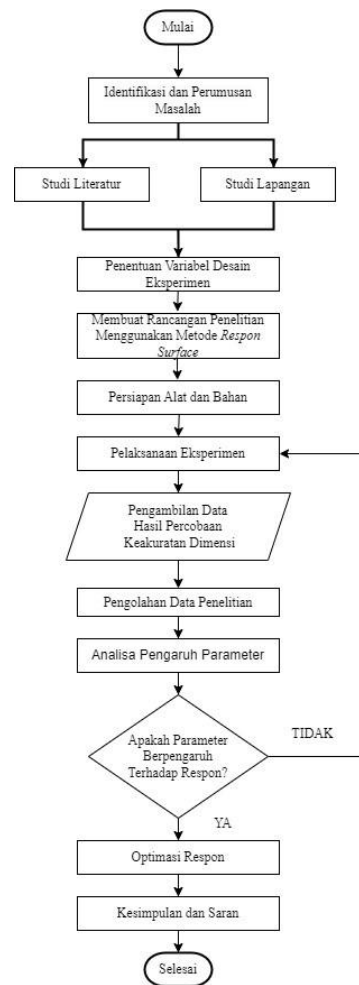
Seiring berkembangnya penelitian mengenai *wax injection* ditemukan bahwa proses *injection* bukan hanya mengenai pengaruh variabel proses terhadap variabel respon, namun juga optimasi pada parameter

– parameter yang digunakan. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan hasil kombinasi variabel proses yang tepat pada *wax injection*, sehingga dapat menghasilkan respon yang optimum. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk optimasi pada proses *injection* adalah *response surface methodology* (RSM), metode Taguchi dan *genetic algorithm* (GA). Oleh karena itu, pada penelitian ini membahas tentang keakuratan dimensi terhadap *wax injection* yang tujuannya digunakan sebagai bahan referensi pada penelitian selanjutnya tentang pengembangan *wax injection*.

Proses analisis digunakan untuk mendapatkan produk *casing pump* VS 2/4/6 X dengan nilai keakuratan dimensi sekitar $146.2 \pm 0,5$ mm dan kombinasi parameter yang tepat. Material lilin yang digunakan pada penelitian ini adalah *casting wax* dengan variabel bebas yang diteliti yaitu *injection pressure*, *injection time* dan *holding time*.

2. Metode Penelitian

Tahap penelitian dilakukan berdasarkan diagram alir di bawah ini agar penelitian lebih terarah sesuai dengan tujuan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Penentuan Variabel Bebas dan Variabel Respon

a. Variabel Bebas

1. Injection Pressure

Injection pressure merupakan besarnya tekanan yang dibutuhkan untuk menginjeksikan cairan lilin ke dalam cetakan.

2. Injection Time

Injection time merupakan waktu yang dibutuhkan *screw* untuk menekan material lilin yang telah dilelehkan masuk ke dalam *mold cavity*.

3. Holding Time

Holding time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk secara keseluruhan rongga cetak setelah terisi penuh, sampai tekanan akhir selesai dilakukan membentuk produk.

b. Variabel Respon

Keakuratan dimensi dipilih menjadi variabel respon dikarenakan sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir produk *casing pump* VS 2/4/6 X, dengan memiliki keakuratan dimensi yang tepat tiap komponen penyusun dapat menyatu satu sama lain pada saat penyambungan atau perakitan.

2.2. Rancangan Percobaan

Sebelum dilaksanakan eksperimen percobaan, maka perlu ditentukan nilai untuk variabel parameter atau variabel faktor pada setiap level yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Bebas dan Level Kendali

Variabel Bebas	Level -1	Level 1	Level 0
<i>Injection Time</i> (detik)	40	60	80
<i>Injection Pressure</i> (bar)	25	30	35
<i>Holding Time</i> (detik)	30	40	50

Berdasarkan desain eksperimen *Box Behnken Design* dengan 3 jenis variabel bebas dan 2 variabel respon yang diteliti, maka dilakukan 15 *run order* 3 kali replikasi terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rancangan Percobaan

Percobaan Ke -	Variabel Bebas		
	<i>Injection Time</i> (detik)	<i>Injection Pressure</i> (bar)	<i>Holding Time</i> (detik)
1	40	25	40
2	80	25	40
3	40	35	40
4	80	35	40
5	40	30	30
6	80	30	30
7	40	30	50
8	80	30	50
9	60	25	30
10	60	35	30
11	60	25	50
12	60	35	50
13	60	30	40
14	60	30	40
15	60	30	40

2.3. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang diperulakan adalah mesin *wax injection* tipe *double position vertical hydraulic* model JS2L-6T-1.8L, dengan spesifikasi dimensi 2500 × 1500 × 2000 mm, kapasitas oli hidrolik 100 L, Sistem pendingin oli hidrolik yaitu air pendingin, kapasitas penyimpanan barrel wax sebesar 80 L. Dimana mesin tersebut nantinya yang akan digunakan untuk proses percobaan untuk membentuk produk *casing pump* VS 2/4/6 X sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Serta material lilin yang digunakan dalam proses *wax injection* ini adalah 80% *casting wax* dan 20% *paraffin wax*. Untuk pengujian, menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0.01 mm untuk pengukuran dimensi dan benang, penggaris besi dengan panjang 30 cm serta *taper gauge* dengan panjang 15 mm untuk mengukur panjang buritan cacat produk dan kedalam cacat produk.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pada penelitian ini tahap pengambilan data yang dilakukan adalah data keakuratan dimensi. Selanjutnya tahap pengolahan data diawali dengan perhitungan rata-rata dari ketiga replikasi, pengukuran keakuratan dimensi pada produk *casing pump VS 2/4/6 X* menggunakan kaliper digital untuk mengukur diameter luar produk. Tabel 3 di bawah ini merupakan data perhitungan rata-rata dari setiap kombinasi pada variabel respon.

Tabel 3. Data Mean Percobaan

Percobaan Ke -	Keakuratan Dimensi (mm)
1	146.59
2	146.59
3	146.51
4	146.27
5	146.61
6	146.51
7	146.62
8	146.58
9	146.19
10	146.21
11	146.89
12	146.31
13	146.50
14	146.50
15	146.51

3.2. Analisis Data Keakuratan Dimensi

A. Uji *Lack of fit* dan *Surface Regression*

Hasil data rata – rata dari percobaan eksperimen mengenai keakuratan dimensi selanjutnya dianalisis menggunakan *software* *minitab*. Pengujian pertama dilakukan analisis uji *lack of fit* untuk mengetahui ketidaksesuaian antara model yang diduga dengan model sebenarnya (Purwanti & Pilarian, 2013). Nilai *interval confidence* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,1, dengan hipotesa sebagai berikut : H_0 : nilai $P < \alpha$, berarti tidak ada *lack of fit* dalam model dan H_1 : nilai $P \geq \alpha$, berarti ada *lack of fit* dalam model. Output dari *minitab* dapat diketahui bahwa terdapat nilai *Pvalue* yang lebih kecil dari α , seperti ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan ANOVA Keakuratan Dimensi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F Value	P - Value
Regression	3	0.22	0.07	3.33	0.060
Injection Time (detik)	1	0.02	0.02	0.81	0.387
Injection Pressure (bar)	1	0.11	0.11	4.97	0.048
Holding Time (detik)	1	0.09	0.09	4.22	0.064
Error	11	0.24	0.22		
Lack of-Fit	9	0.24	0.27	814.9 4	0.001
Pure Error	2	0.000 07	0.00 003		

B. Surface Regression

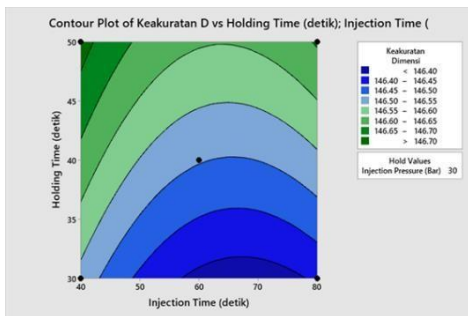
Pengujian analisis *surface regression* dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap respon. Nilai *interval confidence* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,1. *Pvalue* harus kurang dari α . Output dari minitab dapat diketahui bahwa nilai *Pvalue* pada parameter *injection pressure* adalah 0,048 dan *holding time* adalah 0.064 yang berarti kedua parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap respon seperti terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Data *Surface Regression*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F Value	P - Value
Regression	3	0.22	0.07	3.33	0.060
Injection Time (detik)	1	0.02	0.02	0.81	0.387
Injection Pressure (bar)	1	0.11	0.11	4.97	0.048
Holding Time (detik)	1	0.09	0.09	4.22	0.064
Error	11	0.24	0.22		
Lack of-Fit	9	0.24	0.27	14.94	0.001
Pure Error	2	0.0007	0.0003		

C. Contour Plot dan Surface Plot

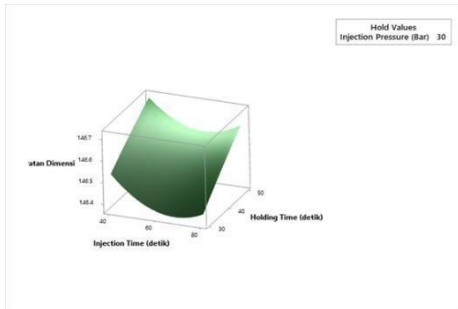
Respon dapat ditampilkan dengan grafik maupun dalam bentuk 3 dimensi yang memiliki tujuan untuk memberikan hasil visualisasi bentuk dari respon. Pada setiap *contour plot* memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai dengan parameter yang dibandingkan. Sedangkan pada *surface plot* merupakan proyeksi dari bentuk *contour plot* yang diubah dalam bentuk 3 dimensi. Hasil *output contour plot* variabel respon terhadap keakuratan dimensi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. *contour plot* antara *injection time* dan *holding time* pada respon keakuratan dimensi

Pada *contour plot* menunjukkan kontur melengkung karena model mengandung istilah kuadrat yang signifikan secara statistik. Pada gambar 2. menunjukkan bahwa keakuratan dimensi akan tercapai jika *holding time* berada diantara 30 detik sampai 40 detik dan *injection time* berada diantara 40 detik sampai 60 detik, sedangkan *injection bar* berada pada 30 bar. Dengan setting parameter pada level

tersebut, kita akan memperoleh nilai keakuratan dimensi sebesar kurang dari 146.40 mm sampai 146.55 mm.



Gambar 3. Surface Plot antara Injection Time dan Holding Time pada Respon Keakuratan Dimensi

Pada gambar 3. menunjukkan bahwa semakin besar pengaturan parameter yang dilakukan maka nilai keakuratan dimensi yang dihasilkan akan semakin besar. Dimana pada gambar ditunjukkan konfigurasi parameter yang menghasilkan respon tertinggi ada pada pengaturan *injection time* sebesar 80 detik, *holding time* sebesar 30 detik dan *injection pressure* sebesar 30 bar. Dengan settingan tersebut dapat menghasilkan keakuratan dimensi sebesar 146.54 mm.

D. Uji Koefisien Determinan Berganda (R^2) pada Keakuratan Dimensi

Koefisien determinasi berganda (R^2) digunakan untuk mengetahui kesesuaian model regresi. Nilai koefisien determinan berganda (R^2) berada pada rentang nilai 0 – 100%. Apabila nilai koefisien determinan berganda mendekati nilai 100%, maka model tersebut semakin baik. Uji koefisien determinan didapat dari nilai R-sq. Tabel 6 menunjukkan hasil analisis model pada *software* minitab sebagai berikut.

Tabel 6 Model Summary Keakuratan Dimensi

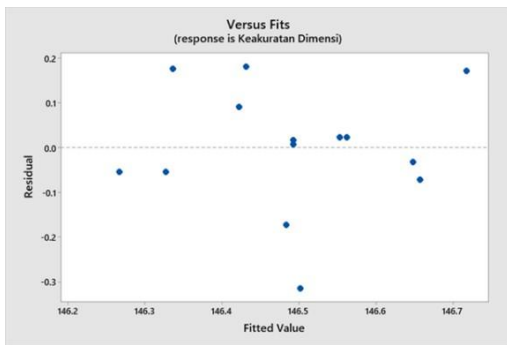
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.120009	84.58%	56.82%	0.00%

Tabel 6. menunjukkan bahwa pada penelitian ini prosentase nilai koefisien determinasi berganda (R^2) pada keakuratan dimensi adalah sebesar 84,58% yang berarti dengan nilai tersebut model memiliki nilai prosentase yang mendekati 100% sehingga model tergolong sebagai model yang baik atau sangat kuat.

E. Uji Asumsi Identik

Uji identik adalah plot antara nilai residual dari tiga variabel dengan nilai \hat{y} estimasi keakuratan dimensi. Apabila dalam plot tersebut nilai residual dari tiga variabel dengan nilai \hat{y} estimasi keakuratan dimensi tidak menunjukkan naik atau turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat diartikan

bahwa nilai residual bersifat identik. Hasil analisis identik pada keakuratan dimensi ditunjukkan pada gambar 4.

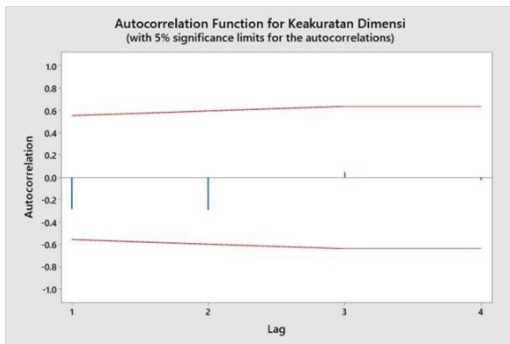


Gambar 4. Residual-fitted Value (Uji Identik) pada Keakuratan Dimensi

Gambar 4. di atas dapat dijelaskan bahwa gambar terdistribusi dengan titik-titik data menyebar disekitar garis diagonal dan searah mengikuti garis diagonal dengan nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun sehingga residual pada keakuratan dimensi bersifat identik.

F. Uji Asumsi Independen

Uji Independen adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya ketergantungan diantara nilai residual tiga variabel yang diteliti. Jika ada, maka plot residual dengan \hat{y} estimasi akan akan menunjukkan penyebaran yang tidak merata. Hasil pengujian dikatakan independen apabila tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan, hal ini menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



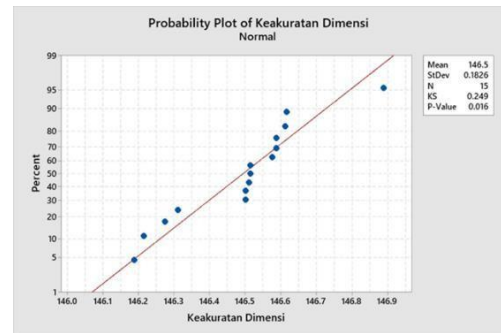
Gambar 5. Uji Asumsi Independen pada keakuratan dimensi

Gambar 5. menunjukkan bahwa tidak terdapat lag (garis berwarna biru) yang tidak melewati batas signifikan (garis berwarna merah) sehingga asumsi independen dinyatakan terpenuhi.

G. Uji Distribusi Normal

Pada penelitian ini pengujian residual distribusi normal 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 (Herawati, 2016). Dalam penelitian ini menggunakan nilai α (taraf signifikansi) adalah 0,1 . Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Uji Distribusi Normalitas pada Keakuratan Dimensi

Pada gambar 6. dapat dilihat bahwa pengujian *Kolmogorov-smirnov* menghasilkan *Pvalue* sebesar 0,016 . Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai *Pvalue* lebih kecil dari α sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 ditolak yang berarti residual tidak berdistribusi normal.

G. Uji multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas. Model regresi yang baik seharusnya tidak terjadi korelasi diantara variabel independen. Pendeteksian ada atau tidaknya multikolinieritas dilakukan dengan melihat nilai VIF. Apabila nilai VIF < 10, maka model tersebut bebas dari multikolinieritas. Berikut adalah nilai VIF yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Uji multikolinearitas

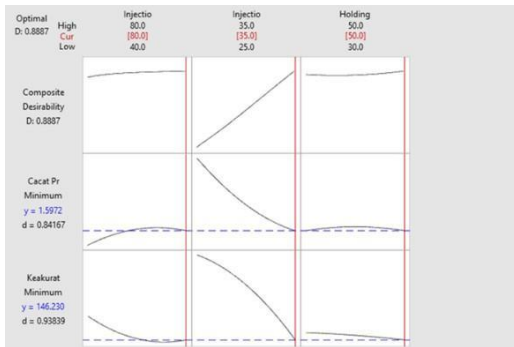
Predictor	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	146.907	0.414	355.26	0.000	
Injection Time	-0.00238	0.00264	-0.90	0.387	1.00
Injection Pressure	-0.0235	0.0105	-2.23	0.048	1.00
Holding Time	0.01083	0.00527	2.06	0.064	1.00

Tabel 7. hasil analisis diperoleh bahwa nilai VIF untuk variabel injection time, injection pressure, dan holding time berturut-turut adalah 1 dimana nilai VIF tersebut kurang dari 10. Maka dapat disimpulkan bahwa data tersebut tidak mengandung multikolinearitas.

3.3. Optimasi Respon

Optimasi respon dilakukan untuk memperoleh nilai – nilai parameter (nilai variabel bebas) yang diteliti yaitu : *injection time, injection pressure* dan

holding time yang menghasilkan keakuratan dimensi yang optimal maka digunakan pendekatan *desirability*.



Gambar 7. Hasil Konfigurasi Optimasi Respon (*Response Optimization*)

Berdasarkan hasil input data *software* minitab didapatkan kombinasi parameter yang optimal pada gambar 7 dengan kombinasi *injection time* sebesar 80 detik, *injection pressure* sebesar 35 bar dan *holding time* sebesar 50 detik. Dari kombinasi parameter tersebut, maka dapat menghasilkan respon yang optimal yaitu keakuratan dimensi sebesar 146.230 mm dan cacat produk minimum 1.5972 buah.

4. Kesimpulan

- Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa dalam proses *Injection Molding Wax Pattern* terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap respon. Pada Penelitian ini menggunakan *interval confidence* (α) 10% atau 0,1. Dengan nilai α tersebut pada respon keakuratan dimensi terdapat dua parameter yang memiliki pengaruh, yaitu parameter *injection pressure* dan *holding time*, untuk nilai *Pvalue* pada parameter *injection pressure* sebesar 0,048 dan nilai *Pvalue* pada parameter *holding time* sebesar 0,064. Untuk parameter *injection time* memiliki nilai *Pvalue* sebesar 0,387. Sedangkan pada respon cacat produk terdapat satu parameter yang memiliki pengaruh terhadap respon yaitu parameter *injection pressure* dengan nilai *Pvalue* 0,000. Untuk parameter *injection time* dan *holding time* memiliki nilai *Pvalue* sebesar 0,535 dan 1,000, sehingga dinyatakan dua parameter tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap respon cacat produk.
- Konfigurasi parameter yang optimum pada proses *injection molding wax pattern* pada produk *casing pump VS 246 X* adalah *injection time* sebesar 80 detik, *injection pressure* sebesar 35 bar dan *injection time* sebesar 50 detik yang menghasilkan nilai keakuratan dimensi sebesar 146.230 mm. Untuk hasil tersebut masih berada didalam batas toleransi ukuran dimensi *casing pump VS 246 X* yaitu $146,2 \pm 0,5$ mm.

Sedangkan konfigurasi parameter yang optimum pada proses *injection molding wax pattern* tersebut menghasilkan cacat produk minimum 1.5972 buah. Hasil tersebut sesuai dengan target dari perusahaan untuk jenis cacat produk pada 1 produk hanya terdapat maksimal 2 jenis cacat produk.

Daftar Pustaka

Heine, R. W., Loper, C. R., & Rosenthal, P. C. (2014). **Principles of metal casting** (Eight edition).

Sahoo, M., & Sahu, S. (2014). **Principles of metal casting** (3rd ed.). McGraw-Hill Education.

Montgomery, D. C. (2012). **Design and analysis of experiments**. Wiley.

Bansode, S. N., Phalle, V. M., & Mantha, S. S. (2019). Optimization of process parameters to improve dimensional accuracy of investment casting using Taguchi approach. **Advances in Mechanical Engineering**,

Yanto, H., Saputra, I., & Satoto, S. W. (2018). Analisa Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Injeksi moulding terhadap Cacat Produk. **JURNAL INTEGRASI**, 10(1), 1-6.

Uji Asumsi residual. (2017, March 28). *Analysis of Statistics*. URL:<https://aviolla-terza.blogspot.com/2017/03/uji-asumsi-residual.html>

Callister, W. D. (1999). **Materials science and engineering: An introduction**. Wiley.

Singh, B., Kumar, P., & Mishra, B. (2006). C-22 optimization of injection parameters for making wax patterns to be used in ceramic

shell investment CASTING(Session: Cutting). **The Proceedings of the Asian Symposium on Materials and Processing, 2006(0)**, 69.

Beeley, P. R., & Smart, R. F. (1995). **Investment casting**. Maney Pub.

Dharu Fadillansyah Putra (2018). Optimasi Parameter Proses Injection Molding Terhadap Produk Pot Cream 10 Gram Menggunakan Metode Respon Surface. **Penelitian**, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

E. Barati and J. Akbari. (2019). The Effect of injection parameters on dimensional accuracy of wax patterns for investment casting. **Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering**, Vol. 9, No.2, pp. 313-322.

Harshit P. bhavsar, Ajay kumar kaviti. (2013). *Optimization of Wax Tank Parameter to Improve the Quality of Wax Pattern in Investment Casting*. **International Journal of Engineering Research and Development**. 8(12), pp. 49 - 54. Bhopal.

Herman, A., Česal, M., & Mikeš, P. (2012). The deformation of wax patterns and castings in investment casting technology. **Archives of Foundry Engineering**, 12(1).

Er. Keshav Kamboj. (2017). Optimization of process parameters of wax pattern in the investment casting process by using different form of waxes. **International Journal for Innovative Research in Science & Technolog**, .3(08). India.

M. Rosiawan, Bella Alviana D.C., dan M. Arbi Hidayat. (2011). Optimasi Parameter Vertical Injection Moulding Menggunakan Metode Taguchi untuk Data Prosentase Cacat. **Proceedings 6th National Industri**

Engineering Conference (NIEC-6). Surabaya

Farizi Rachman, Bayu Wiro Kurniawan, Oktaviana Vara IP. (2021). Implementation of Response Surface Methods For Process Parameters Optimization In Laminated Wood Manufacturing.
<https://doi.org/10.2991/aer.k.211129.077>

Isanda Ika Damayanti, Bayu Wiro Karuniawan, Farizi Rachman. (2022). Optimasi Parameter Edm Sinking Pada Material Baja Sks3 Menggunakan Metode Response Surface.

Ridhani Anita Fajardini, Dhika Aditya Purnomo, Farizi Rachman. (2020). Optimasi Multirespon Proses Permesinan EDM Sinking pada Material AISI P20 Menggunakan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis.