

Penerapan Metode Taguchi Dalam Optimasi Parameter Proses *Solvent Debinding* Pada Proses *Metal Injection* *Molding*

Mirantie Dwiharsanti^{*1)}, Winda Sri Jaman²⁾, dan Shinta Virhdhian³⁾

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian,

Jl. Sangkuriang No.12, Bandung, 40135, Indonesia

Email: rantie_25@yahoo.com, windasrijaman@gmail.com, shinta-v@kemenperin.go.id

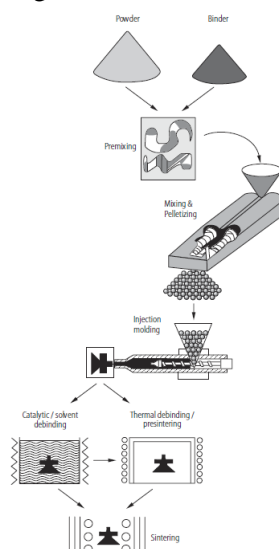
ABSTRAK

Metal Injection Molding (MIM) adalah proses pembentukan yang berfokus pada *forming* dan *sintering* serbuk logam. Salah satu proses dalam MIM adalah *debinding* yaitu menghilangkan pengikat pada *feedstock* yang telah diinjeksi. Pada proses *debinding*, *feedstock* dicelupkan ke dalam *solvent* yang dipanaskan selama waktu tertentu. Berat *feedstock* akan berkurang dikarenakan pengikatnya yaitu *paraffin wax* telah terlarut. Untuk memperoleh proses *debinding* yang optimal digunakan metode Taguchi. *Orthogonal Array* yang digunakan adalah $L_{18}(2^13^2)$. Setelah dilakukan 18 kali eksperimen dengan faktor respon adalah persentase penurunan berat, diperoleh parameter yang optimum dari proses *debinding* adalah jenis *solvent* yaitu heptane; suhu pemanasan 60°C ; dan waktu proses *debinding* selama 2 jam. Sedangkan hasil dari analisis ANOVA diperoleh bahwa pengaruh jenis *solvent* sebesar 6,485%, suhu pemanasan sebesar 13,23%, dan waktu proses *debinding* sebesar 13,047%.

Kata kunci: *Metal Injection Molding*, Taguchi, *Solvent debinding*

1. Pendahuluan

Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi pembentukan logam yang menggabungkan proses injeksi dengan proses metalurgi serbuk. MIM merupakan proses pembentukan yang berfokus pada *forming* dan *sintering* serbuk logam (German, 2011). MIM merupakan teknik yang dapat menghemat biaya dalam memproduksi komponen yang kecil, rumit, dan presisi dalam jumlah yang banyak (Nor dkk., 2011). MIM terdiri dari 4 tahapan proses yang utama yaitu: (1) *mixing*- menggabungkan serbuk logam dan pengikat ke dalam *feedstock*, (2) *molding*- membentuk komponen dari *feedstock* seperti *plastic injection molding*, (3) *debinding*-pelarutan komponen pengikat (*binder*), dan (4) *sintering*- memadatkan komponen hingga mencapai kepadatan akhir yang tinggi (Ji, Loh, Khor, & Tor, 2001). Gambar proses MIM dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Proses MIM (German 2011)

Penelitian ini hanya berfokus pada proses *debinding* saja yaitu mencari optimasi parameter pada proses *debinding*. Proses *debinding* bertujuan untuk menghilangkan pengikat pada *feedstock* yang telah dicetak pada proses injeksi. Bahan pengikat *feedstock* terdiri dari *paraffin wax* dan polimer. Proses *debinding* ini akan melarutkan *paraffin wax*. Metode *debinding* yang digunakan yaitu dengan memasukkan *feedstock* yaitu Fe2Ni ke dalam *solvent* kemudian dipanaskan pada temperatur tertentu, dimana *solvent* ini akan melarutkan *paraffin wax* yang ada di dalam komponen. Setelah proses *debinding*, berat *feedstock* akan mengalami penurunan dikarenakan pengikatnya sudah terlarut.

Untuk memperoleh parameter yang optimal dalam proses *debinding* diperlukan serangkaian eksperimen. Hasil eksperimen yang baik dapat dicapai apabila perancangan eksperimen dikembangkan dan dilaksanakan secara statistik (Borror 2008). Taguchi merupakan salah satu metode perancangan eksperimen dalam menentukan optimasi parameter proses. Taguchi mengembangkan metode desain eksperimen dengan memanfaatkan sifat desain kokoh atau *robust design* (Hartono 2001). Metode Taguchi juga merupakan alat yang kuat untuk perancangan sistem kualitas tinggi (Nor, et al. 2013).

2. Metode

Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Taguchi Genichi pada tahun 1949. Taguchi termasuk ke dalam *off line quality control* yaitu pengendalian kualitas yang preventif sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor* (Sidi dan Wahyudi 2013). Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, sehingga metode Taguchi dikenal juga dengan metode *robust design*. Prinsip dasar dari *robust design* adalah mereduksi kerugian dengan menetapkan faktor kontrol agar produk yang dihasilkan *robust* atau tangguh terhadap *noise* (Wawolumaja dan Lindawati, 2009). Taguchi mengembangkan matriks *fractional factorial experiment* yang kemudian dimodifikasi menjadi susunan *orthogonal array*. Keuntungan dari *Orthogonal Array* adalah kemampuan untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum (Hartono, 2001).

Tahapan awal dalam penelitian ini yaitu pemilihan faktor dan interaksi yang akan dievaluasi dengan menggunakan diagram sebab akibat (*fishbone diagram*). Pada tahapan ini dilakukan analisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses *debinding* yang optimum. Setelah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh, kemudian dilakukan pemilihan jumlah level faktor yang berpengaruh berdasarkan studi literatur. Setelah itu barulah menentukan *orthogonal array* dimana dalam menentukan *orthogonal array* berdasarkan nilai *degree of freedom*. Total *degree of freedom* yang tersedia pada *orthogonal array* sama dengan jumlah percobaan dikurangi 1.

$$V_{LN} = N - 1 \quad (1)$$

Sehingga dalam menentukan *orthogonal array* harus memenuhi persyaratan bahwa *degree of freedom* dari *orthogonal array* harus lebih besar sama dengan *degree of freedom* faktor dan interaksi:

$$V_{LN} \geq V_{\text{faktor dan interaksi}} \quad (2)$$

Langkah selanjutnya adalah menempatkan faktor/interaksi ke dalam kolom *orthogonal array* yang telah ditentukan dan melaksanakan percobaan yaitu proses *debinding* pada *feedstock* berdasarkan kolom *orthogonal array* tersebut. *Feedstock* hasil *debinding* kemudian ditimbang dan dihitung persentase penurunan berat antara sebelum dan sesudah proses *debinding*.

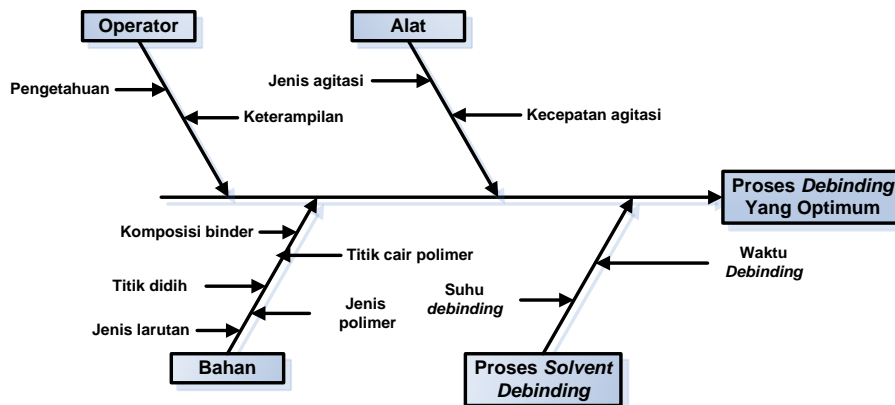
Hasil dari percobaan yang telah dilakukan kemudian dianalisis dengan metode Taguchi dan ANOVA untuk mengetahui faktor yang berpengaruh serta level faktor yang optimum pada proses *debinding*. ANOVA dikembangkan oleh Sir Ronald Fisher pada tahun 1930-an,

merupakan metode statistik yang digunakan untuk menjelaskan data eksperimen dan membuat keputusan yang sesuai (Ross, 1989).

3. Hasil dan Pembahasan

Pemilihan Faktor Yang Akan Dievaluasi

Tujuan dalam proses *debinding* adalah melarutkan pengikat *feedstock* yaitu *paraffin wax* yang bisa diukur dengan berkurangnya berat *feedstock* setelah melalui proses *debinding*. Faktor yang akan dievaluasi adalah faktor berpengaruh terhadap proses *debinding*. Berdasarkan hasil disuksi tim penelitian diperoleh analisis faktor penyebab proses *debinding* yang optimum pada *fishbone diagram* di bawah ini.



Gambar 2. Fishbone Diagram Proses Debinding

Faktor yang terkontrol pada proses *debinding* adalah jenis larutan disebut juga dengan *solvent*, suhu *debinding*, dan waktu proses *debinding*. Faktor terkontrol adalah parameter-parameter yang nilainya dapat dikendalikan (Hartono, 2001).

Pemilihan Jumlah Level Faktor

- Level jenis *solvent* yaitu hexane dan heptane. Ada beberapa jenis *solvent* untuk melarutkan *wax*, namun kedua jenis *solvent* ini biasa digunakan dalam proses MIM
- Level suhu yang digunakan yaitu: 50°C, 55°C, dan 60°C. Titik leleh *wax* berkisar antara 46°C -68°C (Nasser, 1999), namun level yang digunakan diambil tengahnya karena menjaga agar *wax* juga tidak menguap.
- Level waktu yang digunakan yaitu: 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Proses *debinding* dibuat tidak terlalu lama karena untuk menghindari penyusutan

Dalam eksperimen ini digunakan 3 faktor dimana faktor *solvent* 2 level sedangkan level faktor suhu dan waktu adalah 3 level. Rancangan eksperimen ini bisa dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Rancangan Eksperimen

Faktor	Level		
	1	2	3
<i>Solvent</i>	Hexane	Heptane	-
Suhu	50°C	55°C	60°C
Waktu	2 jam	3 jam	4 jam

Nilai *degree of freedom* setiap faktor diperoleh dari nilai level dikurangi 1. Sehingga *degree of freedom* untuk eksperimen ini adalah $(2-1) + (3-1) + (3-1) = 5$

Pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai

Berdasarkan rancangan eksperimen yang terdiri dari 3 faktor dimana 2 faktor memiliki 3 level dan 1 faktor memiliki 2 level, maka OA yang digunakan adalah $L_{18}(2^13^2)$. Matriks OA dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Matriks *Orthogonal Array*

Percobaan	<i>Solvent</i>	Suhu	Waktu
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

Pelaksanaan Percobaan

Percobaan dilaksanakan berdasarkan OA yang telah ditentukan dengan pengulangan sebanyak 1 kali dikarenakan biaya percobaan yang cukup mahal dan waktu yang lama. Walaupun pengulangan lebih dari satu kali dapat meningkatkan sensitivitas eksperimen tetapi jika percobaan membutuhkan biaya yang tinggi maka gunakan satu kali pengulangan saja (Ross 1989). Hasil dari percobaan proses *debinding* dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Percobaan *debinding*

Percobaan	<i>Solvent</i>	Suhu °C	Waktu (jam)	Persentase Penurunan Berat
1	Hexane	50	2	4,327
2	Hexane	50	3	4,137
3	Hexane	50	4	4,431
4	Hexane	55	2	4,395
5	Hexane	55	3	4,450
6	Hexane	55	4	4,503
7	Hexane	60	2	4,511
8	Hexane	60	3	4,507
9	Hexane	60	4	4,547
10	Heptane	50	2	4,425
11	Heptane	50	3	3,402
12	Heptane	50	4	5,456
13	Heptane	55	2	4,673

Tabel 3. Hasil Percobaan *debinding* (lanjutan)

14	Heptane	55	3	4,405
15	Heptane	55	4	4,455
16	Heptane	60	2	9,744
17	Heptane	60	3	4,537
18	Heptane	60	4	4,506

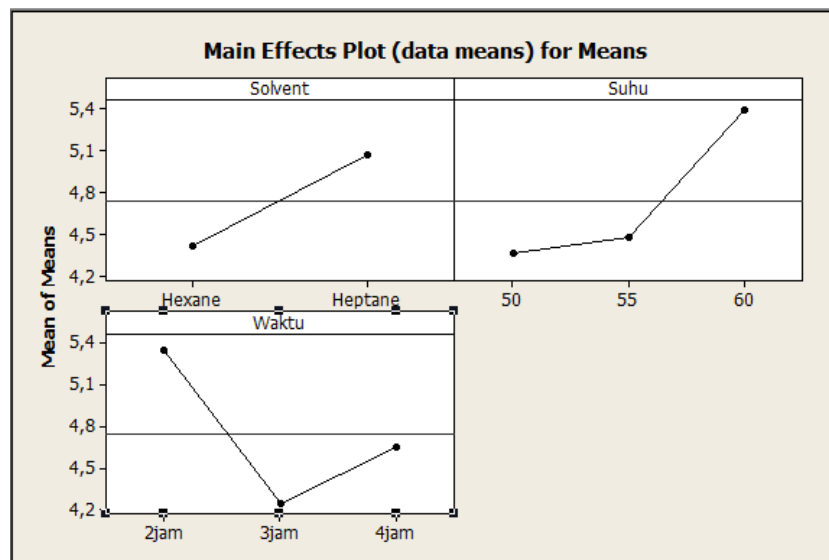
Analisis Hasil

Perhitungan *main effect* dengan *software* Minitab14 diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Response Table for Means

Level	Solvent	Suhu	Waktu
1	4,423	4,363	5,346
2	5,067	4,480	4,240
3		5,392	4,650
Delta	0,644	1,029	1,106
Rank	3	2	1

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi proses *debinding* secara berurutan adalah waktu proses, suhu, dan jenis *solvent*.



Gambar 3. Grafik *Main effect for Means* terhadap persentase penurunan berat

Berdasarkan grafik *Main Effect for Means* level faktor yang optimum dalam proses *debinding* dilihat dengan nilai yang paling tinggi pada gambar 3, yaitu *solvent* yang digunakan adalah heptane, suhu dengan nilai 60°C, dan waktu proses selama 2 jam.

Hasil analisis ANOVA menggunakan *software* Minitab14 diperoleh hasil seperti pada tabel 5 di bawah ini

Tabel 5. Hasil ANOVA

Source	Df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Kontribusi
Solvent	1	1,866	1,866	1,866	1,16	6,485
Suhu	2	3,807	3,807	1,903	1,18	13,23
Waktu	2	3,754	3,754	1,877	1,16	13,047
Error	12	19,346	19,346	1,612		

Total	17	28,772				
-------	----	--------	--	--	--	--

Berdasarkan hasil ANOVA, jenis *solvent* memiliki kontribusi sebesar 6,485%, suhu 13,23%, dan waktu 13,047% terhadap proses *debinding*.

4. Simpulan

Penerapan metode Taguchi dalam optimasi proses *debinding* menghasilkan 3 faktor terkontrol yaitu *solvent*, suhu, dan waktu dan faktor respon adalah persentase penurunan berat *feedstock*. Berdasarkan analisis Taguchi urutan faktor yang mempengaruhi proses *debinding* yaitu waktu, suhu, dan *solvent*. Sedangkan nilai optimum dalam proses *debinding* yaitu *solvent* dengan jenis heptane, suhu sebesar 60°C, dan waktu selama 2 jam. Dimana faktor *solvent* memiliki kontribusi sebesar 6,485%, suhu memiliki kontribusi sebesar 13,23%, dan waktu memiliki kontribusi sebesar 13,047%. Penerapan metode Taguchi tidak sampai dengan eksperimen konfirmasi dikarenakan keterbatasan biaya dan bahan dalam proses *debinding*.

Daftar Pustaka

- Borror, Connie M. (2008) *The Certified Quality Engineer Handbook*. Milwaukee: American Society for Quality.
- German, Randall M. (2011) *Metal Injection Molding A Comprehensive MIM Design Guide*. New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- Hartono, Moh. (2001). Quality by Design Dengan Metode Taguchi, Konsep dan Perkembangannya. *Optimumm*. Vol.2 No.1, pp. 95-107.
- Ji, C.H, N.H Loh, K.A Khor, dan S.B Tor. (2001). Sintering Study of 316L Stainless Steel Metal Injection Molding Parts Using Taguchi Method: Final Density. *Elsevier*, Vol. 311. pp. 74-82.
- Nasser, William E. *Waxes, Natural, and Synthetic*. New York: Marcel Dekker.
- Nor, N.H. Mohamad, N Muhamad, dkk. (2013) Sintering Parameter Optimization of Ti-6Al-4V Metal Injection Molding for Highest Strength Using Palm Stearing Binder. *Procedia Engineering*, Vol. 68, pp. 359-364.
- Nor, N.H.M, N Muhammad, dkk. (2011). Optimization of Injection Molding Parameter of Ti-6Al-4V Powder Mix With Palm Stearin and Polyethylene for The Highest Green Strength by Using Taguchi Method. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMEE)*, Vol 6, pp. 126-132.
- Ross, Phillip J. (1989). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. Singapore: McGraw Hill.
- Sidi, Pranowo, dan Muhammad Thoriq Wahyudi. (2013). Metode Taguchi Untuk mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut CNC. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.4, No.2, pp. 101-108.
- Wawolumaja, Rudy, dan Lindawati. (2009). Rekayasa Kualitas Dalam Penentuan Setting Mesin Dengan Metode Taguchi (Produk Kain Polyester). *Majalah Ilmiah Maranatha*, Vol 16, no.2, pp. 6-17.