

## PENGARUH TEMPERATURE, HOLDING TIME, DAN PENAMBAHAN Sn TERHADAP CACAT SHRINKAGE PADA PROSES SINTERING METAL INJECTION MOLDING AL-PP

Ahmad Rendi Maulana<sup>1</sup>, Danang Yudistiro<sup>2\*</sup>, Mochamad.Asrofi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumni Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: [\\*danang.ft@unej.ac.id](mailto:*danang.ft@unej.ac.id)

### ABSTRACT

*Metal Injection Molding (MIM) is a technological process widely used in the powder metallurgy industry. This technology is very efficient for manufacturing small metal components with complex shapes and in large quantities. MIM consists of four basic steps of mixing, injection molding, debinding, and sintering. The sintering process serves to increase the density and strength of metal powders. One of the problems in the sintering process is shrinkage. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of Sn (%), temperature (°C), and holding time (hours) on shrinkage defects. Another objective is to determine the optimal combination of these parameters to minimize shrinkage defects. This study uses the Taguchi experimental method. The contribution factor obtained is that the Sn parameter's addition has no significant effect on shrinkage with a percentage of 14.48%. At the same time, the temperature parameter has a significant impact on the proportion of shrinkage with a portion of 68.92%. The holding time parameter has a percentage of 6.27%, so it has no significant effect. The optimal combination in the process is the addition of 2% Sn, the temperature at 450°C and the holding time of 1 hour.*

*Keywords: Metal Injection Molding, Sintering, Shrinkage, Taguchi Method*

### PENDAHULUAN

*Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi yang menjanjikan untuk memproses serbuk logam menjadi beberapa bentuk yang diinginkan. Proses MIM menggabungkan pembuatan bentuk tradisional dari injeksi plastik dan fleksibilitas bahan metalurgi serbuk [1]. Keuntungan dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (near net shape), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir yang akan mengurangi biaya produksi. Selain itu material yang digunakan lebih efisien dari proses yang lainnya [2].*

MIM adalah proses teknologi yang relatif terbaru digunakan dalam industri metalurgi serbuk, yang sangat efisien dan bermanfaat untuk pembuatan komponen logam kecil dan rumit dalam jumlah besar. Proses MIM terdapat empat dasar langkah-langkah yang terdiri *mixing*, injeksi cetakan, *debinding*, dan *sintering* [3].

*Sintering* untuk memadatkan dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Proses *sintering* menghasilkan produk dengan densitas tinggi (95-99%) dengan porositas pada produk mencapai 1-5% dan penyusutan ukuran yang cukup besar terjadi pada produk yaitu sekitar 12- 20% [4] [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *temperature*, *holding time* dan penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding* menggunakan metode *Taguchi*.

### METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian yang diterapkan pada penelitian ini adalah *design eksperimental* dengan metode *Taguchi*. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Untuk pembuatan dan pengujian dilakukan di Laboratorium Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Maret – Mei 2020. Peralatan, bahan, Prosedur penelitian, dan Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1) Peralatan

- 1) Mesin *Injection Molding* dengan tipe *pneumatic*.
- 2) Kompor Listrik
- 3) *Mixer*
- 4) *Furnace*
- 5) *3d Scanner*
- 6) *Software Autodesk Meshmixer*
- 7) Timbangan digital

#### 2) Bahan

Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *powder* (serbuk Aluminium 45%-wt dan serbuk Timah) dicampur dengan *binder* (*polypropylene* (PP) 25%-wt, *paraffin wax* (PW) 28%-wt, dan *stearic acid* 2%-wt) dan larutan heksana digunakan pada proses *debinding*.

Gambar 1 adalah serbuk aluminium yang digunakan. Adapun spesifikasi karakteristik dari material Aluminium (Al) sebagai berikut:

- 1) Assay (Complexometric) : 90.0 %
- 2) Heavy metals (as Pb) : 0.03 %
- 3) As (Arsenic) : 0.0005 %
- 4) Fe (Iron) : 1.0 %
- 5) Fat : Passes test



Gambar 1. Serbuk Aluminium (Al)

c. Prosedur Penelitian

- 1) Mempersiapkan alat dan bahan.
- 2) Melakukan penimbangan material powder dan binder.
- 3) Melakukan proses mixing serbuk aluminium, variasi jumlah serbuk Sn, dan binder.
- 4) Melakukan proses penginjeksian untuk membentuk spesimen sebanyak 27 buah.
- 5) Melakukan proses debinding dengan dilarutkan dalam larutan heksana untuk menghilangkan binder.
- 6) Melakukan proses pemindaian spesimen setelah debinding dengan menggunakan mesin 3d scanner sebanyak 27 buah untuk mengetahui volume.
- 7) Mencatat volume (V1) spesimen setelah debinding menggunakan aplikasi Software Autodesk Meshmixer.
- 8) Menghidupkan mesin furnace untuk melakukan proses sintering.
- 9) Memasukkan spesimen kedalam mesin furnace dengan temperature dan holding time yang telah divariasikan.
- 10) Melakukan proses pemindaian spesimen setelah sintering dengan menggunakan mesin 3d scanner sebanyak 27 buah untuk mengetahui volume.
- 11) Mencatat volume (V2) spesimen setelah debinding menggunakan aplikasi Software Autodesk Meshmixer.
- 12) Menghitung persentase cacat shrinkage dengan menggunakan persamaan rumus [6]:  

$$S = (V1 - V2) / V1 \times 100 \%$$
- 13) Analisa cacat shrinkage dengan metode Anova dan Taguchi.
- 14) Mendapatkan kesimpulan dari data penelitian yang telah dilakukan.

d. Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan metode taguchi orthogonal array  $L_9(3^3)$  dan Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan tiga parameter

yang digunakan pada penelitian, dengan setiap parameter memiliki 3 level.

Tabel 1. Pengaturan level setiap parameter

Kode	Parameter	Lvl. 1	Lvl. 2	Lvl.3
A	Penambahan Sn (wt%)	0	1	2
B	Temp(°C)	450	550	650
C	Holding Time(Jam)	1	2	3

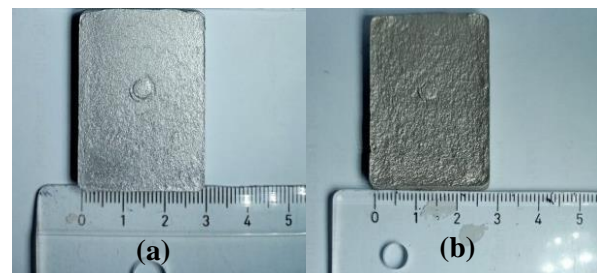
Tabel 2. Pengaturan level setiap parameter

Komb. Ke-	Parameter		
	Penambahan Sn (wt.%)	Temperature (°C)	Holding Time (Jam)
1	0	450	1
2	0	550	2
3	0	650	3
4	1	450	2
5	1	550	3
6	1	650	1
7	2	450	3
8	2	550	1
9	2	650	2

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Fenomena Cacat Eksperimen

Pada hasil penelitian ini mengalami fenomena cacat pada proses sintering metal injection molding yaitu cacat shrinkage seperti penyusutan pada produk yang tidak merata, distorsi, mengalami penyusutan geometri (volume dan dimensi) dan fenomena retak (crack). Cacat shrinkage adalah salah satu cacat yang terjadi pada proses MIM dimana spesimen yang dihasilkan mengalami penyusutan. adanya penyusutan sering ditandai dengan muncul perubahan geometri (volume dan dimensi) pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan dimensi produk (a) Sebelum Sintering dan (b) Setelah Sintering

Proses sintering menyatukan partikel bubuk dan menghilangkan pori-pori yang terbentuk selama debinding. Secara alami kejadian ini akan berdampak pada dimensi bagian-bagiannya [7]. Gambar 3 menjelaskan tentang cacat shrinkage yang ditandai dengan penyusutan tidak merata. Hal ini disebabkan paparan energi panas yang diserap

produk tidak merata [7].



Gambar 3. Penyusutan tidak merata

Gambar 4 menjelaskan tentang fenomena *distorsi* atau mengalami cekungan pada spesimen. Jika suhu terlalu tinggi cairan terbentuk kemudian gaya *gravitasi* menyebabkan *distorsi* atau bahkan merosot [8]. Gambar 5 menjelaskan tentang fenomena cacat retak pada spesimen. Pemanasan yang terlalu cepat adalah penyebab umum pembentukan retakan. Pembentukan *oksida* juga dapat menyebabkan bagian MIM mengalami retak [7].



Gambar 4. Distorsi



Gambar 5. Retak

## 2. Data Hasil Eksperimen

Data percobaan diperoleh berdasarkan rancangan percobaan teori metode *Taguchi* dengan menggunakan *matriks orthogonal*  $L_9(3^3)$ . Proses pengambilan data dilakukan secara acak dengan replikasi sebanyak 3 kali. Hasil percobaan kemudian disajikan dalam bentuk tabel Berikut ini merupakan data cacat *shrinkage* yang didapat pada eksperimen data dilihat pada Tabel 3.

## 3. Perhitungan S/N Rasio

Perhitungan S/N rasio digunakan untuk mengetahui kualitas spesimen yang diteliti sehingga didapat informasi parameter mana yang lebih berpengaruh terhadap respon yang ingin dicapai. Respon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan karakteristik respon semakin kecil, semakin baik dari setiap spesimen yang dihasilkan. Perhitungan nilai S/N rasio

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right)$$

Tabel 3. Data persentase cacat *shrinkage* dan S/N ratio

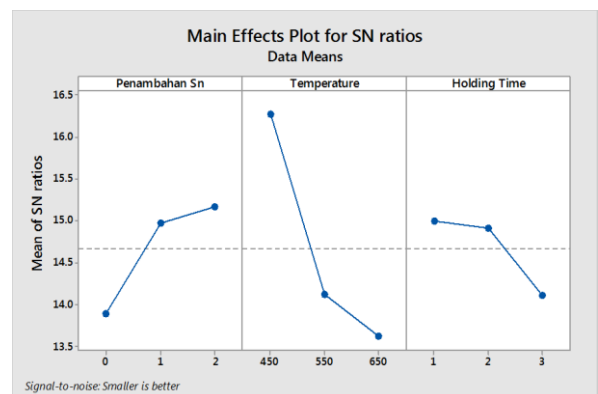
Kombinasi Ke-	Persentase Cacat <i>Shrinkage</i> (%)			Rata-Rata (%)	S/N Rasio
	Rep.I	Rep.II	Rep.III		
1	13,53	17,80	19,00	16,78	15,50
2	18,04	19,99	23,54	20,52	13,76
3	20,13	24,42	27,54	24,03	12,38
4	11,51	14,92	16,27	14,23	16,94
5	19,42	21,99	21,69	21,03	13,54
6	19,45	20,54	17,06	19,02	14,41
7	18,00	13,46	14,10	15,19	16,37
8	16,33	19,15	17,48	17,65	15,07
9	20,88	19,37	19,30	19,85	14,04

Nilai S/N Rasio terhadap cacat *shrinkage* di berbagai kombinasi ditunjukkan pada Tabel 3.

## 4. Kombinasi Variasi Optimal

Level parameter yang paling optimal ditunjukkan dengan nilai rata-rata S/N rasio tiap level cacat. Maka dari itu kombinasi level disetiap parameter optimal dari proses *sintering metal injection molding* terhadap cacat *shrinkage*. Berikut nilai yang paling optimal.

- Penambahan Sn : 2%
- Temperature : 450 °C
- Holding Time : 1 Jam



Gambar 6 Plot Rata-rata S/N Rasio

## 5. ANOVA, Uji F dan Persen Kontribusi

ANOVA digunakan untuk mengetahui kontribusi setiap parameter terhadap keluaran yang diteliti. ANOVA pada penelitian ini dihitung berdasarkan data S/N rasio yang mewakili nilai cacat *shrinkage* pada setiap kombinasi. Hasil perhitungan ANOVA didapatkan dari *software Minitb*. Berikut ini adalah hasil perhitungan ANOVA faktor kendali terhadap respon cacat

shrinkage secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.

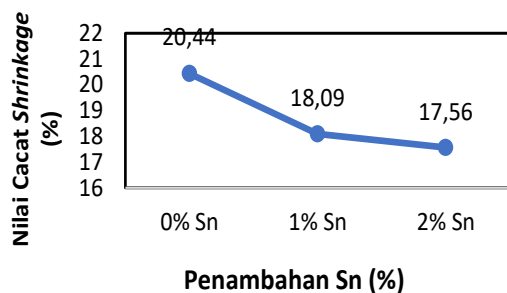
Tabel 4. Hasil ANOVA dengan S/N Rasio Cacat Shrinkage

Parameter	DF	SS	MS	F	$\rho$
Penambahan Sn	2	2,851	1,425	6,629	14,48 %
Temperature	2	11,947	5,974	27,783	68,92 %
Holding Time	2	1,477	0,739	3,436	6,27 %
Residual Error	2	0,430	0,215		10,33 %
Total	8	16,705			100 %

Dari hasil perhitungan ANOVA di atas dapat dilakukan proses uji F setiap parameter kendali terhadap persentase cacat shrinkage. Pada penelitian ini taraf signifikan yang digunakan sebesar 5% ( $\alpha = 0,05$ ) dan  $F_{Tabel}$  yang digunakan ( $F_{0,05;2;2}$ ) = 19,00. Hal ini diketahui parameter yang berpengaruh secara signifikan, apabila nilai nilai Fhitung > Ftabel. Dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa hanya temperature memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai persentase cacat shrinkage.

## 6. Pembahasan

### a. Penambahan Sn



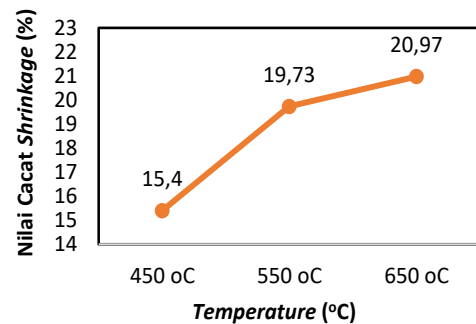
Gambar 7. Diagram Rata-rata nilai Shrinkage Pengaruh Penambahan Sn

Gambar 7 menunjukkan diagram rata-rata nilai shrinkage dengan pengaruh Sn. Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan Sn maka cacat shrinkage semakin menurun. Hal ini disebabkan penambahan Sn membantu pembentukan struktur mikro sehingga pada proses sintering Sn tidak hilang tetapi Sn membentuk struktur mikro, sehingga penyusutan lebih sedikit.

### b. Temperature

Temperature adalah suhu yang dibutuhkan untuk proses sintering yang bertujuan untuk membentuk struktur mikro antar partikel dan proses sintering akan mengubah produk yang dengan kepadatan tinggi. Apabila temperature yang ditetapkan di atas titik lelehnya maka mengakibatkan produk tersebut mengalami kerusakan struktur. Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperature

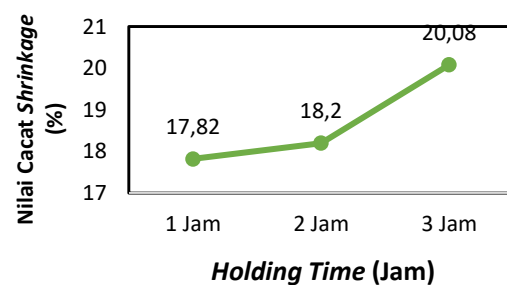
yang digunakan maka persentase cacat semakin meningkat [9]. Holding time adalah waktu yang dibutuhkan produk untuk membentuk struktur mikro antar partikel pada proses sintering metal injection molding. Gambar 9 menunjukkan hubungan antara nilai cacat shrinkage dengan Holding Time. Semakin tinggi Holding Time, akan berakibat peningkatan cacat shrinkage.. Hal tersebut disebabkan karena lamanya holding time sintering mempengaruhi proses pembentukan partikel sehingga berdampak penyusutan pada spesimen.



Gambar 8. Diagram Rata-rata nilai shrinkage pengaruh temperature

Hal ini disebabkan oleh perbedaan temperatur furnace yang diserap specimen. Perbedaan temperatur mengakibatkan antar partikel menyatu sehingga pori-pori hasil debinding berkurang. Perbedaan temperatur tersebut juga mengakibatkan binder yang tersisa hilang, sehingga berdampak pada penyusutan dimensi dan volume [10].

### c. Holding Time



Gambar 9. Diagram Rata-rata nilai Shrinkage Pengaruh Holding Time

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dipaparkan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil perhitungan distribusi F, didapatkan parameter penambahan Sn tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase cacat shrinkage dengan persentase kontribusi sebesar 14,48%. Sedang parameter temperatur memiliki pengaruh secara signifikan

- terhadap persentase cacat *shrinkage* dengan persentase kontribusi sebesar 68,92%. Parameter *holding time* tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap persentase cacat *shrinkage*, dengan persentase kontribusi sebesar 6,27%.
- b. Perhitungan parameter optimal dilakukan dengan metode *Taguchi* serta menggunakan bantuan *software minitab*. Parameter optimal yang didapat adalah, penambahan Sn 2%, temperatur 450 °C, dan *holding time* selama 1 jam akan menghasilkan cacat *shrinkage* paling rendah.

#### SARAN

Saran yang dapat diajukan agar penelitian berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: perlu adanya pengembangan parameter yang lain seperti *cooling time* agar mendapatkan produk yang lebih optimal sehingga cacat *shrinkage* dapat dikurangi seminimal mungkin dan juga pada penelitian selanjutnya dapat diharapkan menggunakan metode lain seperti *respon surface* sehingga dapat disbanding hasil persentasenya

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pachauri, P. dan M. Hamiuddin. 2016. *Effect of Sintering Process Parameters in Metal Injection Molding (MIM) Process on Impact Toughness of Sintered Parts. International Journal of Advanced Materials and Metallurgical Engineering*. 2(1): 23-33.
- [2] Virdhian, S. dan Pujiyanto. 2014. Pengembangan Komponen *Near Net Shape* Berbiaya Rendah Dengan proses *Metal Injection Molding*. *Jurnal Riset Industri*. 8(1): 11-21
- [3] Gelin, J.C., Th. Barriere, dan J. Song. 2010. *Processing Defects and Resulting Mechanical Properties After Metal Injection Molding. Engineering Materials and Technology*. 132: 1-9.
- [4] Afrilinda, E., S. Virdhian, M. Doloksaribu. 2017. Studi Awal Pembuatan *Feedstock Metal Injection Moulding* Menggunakan *Torque Rheometer*. *Metal Indonesia*. 39(1): 33-44.
- [5] A.Islam, N. Giannekas, D. M. Marhöfer, G. Tosello, H. N. Hansen., 2015. *The Shrinkage Behavior and Surface Topographical Investigation for Micro Metal Injection molding. AIP Conference Proceedings* 1664, 110007-1 - 5.
- [6] Krisnawan, I.H., B. Kusharjanta, dan W.P. Raharjo. 2012. Pengaruh Ukuran Riser Terhadap Cacat Penyusutan Dan Cacat Porositas Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir. *Mekanika*. 10(2): 125-130.
- [7] Engstrom, B. 2017. *Metal Injection Molding: A review of the MIM process and its optimization. Erland Nyroth (Arcada)* : 67.
- [8] Hwang, K.S., 2012. *Common Defects in Metal Injection Molding (MIM)*. Taiwan: *National Taiwan University*.
- [9] Tatt, T.K., Muhamad, N., Haron, C.H. C., dan Jamaludin, K.R., 2019. *Influences of Injection Pressure and Flow Rate to the Green Properties. International Journal of Engineering & Technology*. 8 (1.12) 51-54.
- [10] Koffi A, Koffi D, Aimin & Toubal L., 2016. *Injection Molding Parameters Influence on PE Composites Parts. International Journal of Engineering Research and Development* 12(10), 29-39.