

Seminar I - AMReG 08, 12 Jun 2008, Seremban, Malaysia

## KAJIAN PRESTASI PENYAHIKATAN LARUTAN DENGAN MENGUNAKAN KAEDAH TAGUCHI

Khairur Rijal Jamaludin, Norhamidi Muhamad, Mohd Nizam Ab. Rahman, Sri  
Yulis M. Amin, Sufizar Ahmad, Mohd Halim Irwan Ibrahim,  
Murtadhahadi dan Nor Hafiez Mohamad Nor

Kumpulan Penyelidikan Proses Persisan,  
Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor  
Email: khairur@vlsi.eng.ukm.my

### ABSTRAK

Proses penyahikatan larutan telah diterima secara meluas dalam proses pengacuan suntikan logam (MIM) berdasarkan kepada kemampuannya yang dapat mempercepatkan proses penyahikatan. Kertas kerja ini akan membentangkan pengoptimuman proses tersebut dengan menggunakan kaedah Taguchi. Selain daripada itu juga, pengaruh faktor-faktor yang digunakan dalam kajian ini seperti suhu larutan, taburan saiz partikel, beban serbuk dan tekanan penyuntikan akan dibincangkan. Dua jenis serbuk logam akan digunakan dalam kajian ini iaitu serbuk SS316L pengatoman gas dan SS316L pengatoman air. Keputusan kajian ini mendapati bahawa suhu larutan yang digunakan untuk merendam jasad anum semasa proses penyahikatan larutan memainkan peranan yang besar sebanyak 91.602 % (serbuk SS316L pengatoman gas) dan sebanyak 84.978 % (serbuk SS316L pengatoman air) ke atas kadar penyahikatan larutan. Bagaimanapun, taburan serbuk logam hanya menyumbangkan sebanyak 6.638 % dan 12.228 % masing-masing bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air terhadap kadar penyahikatan tersebut. Suhu larutan untuk merendam jasad anum ini juga mempunyai tahap signifikan yang amat tinggi iaitu sebanyak 0.5% bagi kedua-dua jenis serbuk SS316L tersebut. Akan tetapi, taburan saiz partikel serbuk SS316L menunjukkan tahap signifikan yang sederhana tinggi iaitu 2.5% dan 1% bagi serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air masing-masing.

**Katakunci:** Penyahikatan larutan, Taguchi, kadar penyahikatan

### PENGENALAN

Secara umumnya, kadar penyahikatan dipengaruhi oleh saiz liang dalam padatan berkenaan, dan ianya juga dipengaruhi oleh saiz partikel serbuk logam yang

digunakan (German dan Bose 1997). Bagaimanapun, dalam kebanyakan kes yang telah dikaji bagi penyahikatan larutan, kadar penyahikatan lebih banyak dipengaruhi oleh kadar resapan bahan pengikat boleh larut tersebut ke dalam larutan yang digunakan, dan ianya tidak berkaitan dengan saiz liang atau saiz partikel serbuk logam yang digunakan. Bagaimanapun, bagi kes penyahikatan termal, umum percaya bahawa kadar penyahikatan termal akan meningkat apabila saiz partikel meningkat (Lee et al. 2004).

Kajian yang dilaporkan oleh Lee et al. (2004) mendapati bahawa saiz partikel tidak banyak mempengaruhi kadar penyahikatan larutan. Beliau juga mendapati bahawa padatan yang menggunakan serbuk halus mempunyai kadar penyahikatan larutan yang lebih cepat. Ini disebabkan bahan pengikat yang mudah terserak di dalam matrik padatan serbuk halus. Selain itu juga, faktor utama yang mempengaruhi kadar penyahikatan ini adalah jumlah bukaan pada bahagian antaramuka di antara partikel serbuk logam dan bahan pengikat di mana, komponen bahan pengikat akan mula untuk melarut dalam larutan tersebut.

Selain daripada itu juga, perubahan saiz jasad anum juga akan berlaku disebabkan oleh proses penyahikatan larutan ini. Wescot et al. (2002) telah mengkaji tentang kesan perubahan saiz jasad anum ini semasa dilakukan penyahikatan larutan dengan menggunakan peralatan yang dikenali sebagai dilatometer laser tanpa sentuh. Kajian beliau mendapati bahawa alat ini berupaya untuk mengukur perubahan saiz padatan tersebut semasa dilakukan penyahikatan larutan secara *insitu*. Beliau mendapati bahawa terdapat hubungan di antara perubahan saiz secara *insitu* dengan kadar penyahikatan larutan. Pengurangan kadar penyahikatan adalah seiring dengan pembesaran saiz padatan. Ini terjadi disebabkan oleh pengampulan polimer boleh larut pada jasad anum tersebut.

Tujuan kajian ini adalah untuk mengkaji mengenai pengaruh suhu larutan, taburan partikel serbuk, beban serbuk dan tekanan penyuntikan ke atas kadar penyahikatan larutan. Selain daripada itu juga, kajian ini bertujuan untuk melihat signifikan faktor-faktor tersebut di samping mendapatkan prestasi proses penyahikatan yang optimum.

## KAEDAH KAJIAN

Serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air digunakan dalam kajian ini. Serbuk pengatoman gas dibekalkan oleh ANVAL, Sweden dengan saiz partikel median,  $D_{50}$  bagi serbuk kasar dan halus masing-masing 19.521  $\mu\text{m}$  dan 11.252  $\mu\text{m}$ , manakala serbuk pengatoman air pula dibekalkan oleh Atmix, Jepun bersaiz partikel median,  $D_{50}$  15.052  $\mu\text{m}$  dan 7.157  $\mu\text{m}$  bagi serbuk kasar dan halus masing-masing. Adunan PEG dan PMMA digunakan sebagai bahan pengikat dengan peratusan isipadu sebanyak 73% PEG; 25% PMMA; dan sebanyak 2% asid sterik telah digunakan untuk memudahkan proses pengacuan. Jasad anum tersebut dihasilkan dengan menggunakan mesin pengacuan suntikan logam Battenfeld BA 250 CDC.

Bagi proses penyahikatan larutan, air suling digunakan sebagai medium penyahikatan larutan serta pemanas larutan jenis Memmert akan digunakan. Suhu penyahikatan larutan akan dilaraskan berdasarkan kepada Jadual 1. Tatacara

ortogonal Taguchi  $L_9(3^4)$  digunakan dalam kajian ini, dan sebanyak tiga sampel digunakan bagi setiap ulangan eksperimen untuk mendapatkan nisbah isyarat hingar (S/N) tempoh penyahikatan larutan. Dalam eksperimen ini, proses penyahikatan larutan akan terus dilakukan ke atas jasad anum tersebut sehingga tiada lagi perubahan berat jasad anum tersebut direkodkan.

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Jadual 1 menunjukkan maklumat-maklumat yang digunakan dalam eksperimen ini. Suhu air bagi tujuan penyahikatan larutan adalah dari 55°C ke 65°C manakala taburan bagi serbuk SS316L yang digunakan adalah dalam taburan monomodal serbuk halus, monomodal serbuk kasar dan bimodal (30 % jisim serbuk halus). Bagaimanapun, nilai beban serbuk yang digunakan adalah berbeza dengan serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air. Ini disebabkan oleh nilai beban serbuk kritikal serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air yang berbeza. Disebabkan oleh bentuk partikel serbuk SS316L pengatoman air yang berligamen dan tidak sekata, serbuk pengatoman air yang bersaiz halus hanya dapat menghasilkan jasad anum pada beban serbuk maksimum, pada 62.5 % isipadu sahaja. Manakala, bagi serbuk monomodal kasar dan bimodal pula dapat menghasilkan jasad anum pada beban serbuk yang lebih tinggi. Keadaan yang sama juga berlaku ke atas tekanan penyuntikan untuk menghasilkan jasad anum bagi tujuan kajian ini. Tekanan yang lebih tinggi diperlukan bagi menghasilkan sampel untuk kajian ini.

Berdasarkan kepada kajian sebelum ini oleh Khairur Rijal Jamaludin et al. (2007), suhu penyuntikan bagi menghasilkan jasad anum tidak memberikan sebarang kesan ke atas prestasi proses penyahikatan larutan. Tetapi, daripada kajian oleh Sri Yulis M. Amin et al. (2007) yang mengkaji prestasi penyahikatan terhadap jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L pengatoman gas mendapati, beban serbuk memberikan kesan ke atas prestasi penyahikatan larutan ini. Kajian beliau mendapati bahawa proses penyahikatan larutan akan menjadi semakin perlahan apabila beban serbuk jasad anum tersebut ditingkatkan. Bagaimanapun, beliau tidak mengkaji mengenai proses penyahikatan larutan jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L pengatoman air.

Jadual 2 menunjukkan nisbah isyarat hingar (S/N) bagi tempoh penyahikatan larutan yang dilakukan berdasarkan kepada tatacara ortogonal Taguchi yang telah dijelaskan sebelum ini. Nilai S/N yang ditunjukkan oleh Jadual 2 di atas adalah berdasarkan kepada yang terkecil terbaik (Khairur Rijal Jamaludin et al. (2007)). Selanjutnya, analisis varian (ANOVA) bagi nilai-nilai S/N yang ditunjukkan oleh Jadual 2 adalah seperti ditunjukkan oleh Jadual 3.

JADUAL 1 Rekabentuk eksperimen bagi kajian penyahikatan larutan

a. Eksperimen bagi penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas

Faktor	Paras		
	0	1	2
A Suhu air (°C)	55	60	65
B Taburan partikel	Monomodal halus	Monomodal kasar	Bimodal (30 % halus)
C Beban serbuk (% isipadu)	63	64	65
D Tekanan Penyuntikan (bar)	350	450	550

b. Eksperimen bagi penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air

Faktor	Paras		
	0	1	2
A Suhu air (°C)	55	60	65
B Taburan partikel	Monomodal halus	Monomodal kasar	Bimodal (30 % halus)
C Beban serbuk** (% isipadu)	rendah	sederhana	tinggi
D Tekanan Penyuntikan (bar)	550	650	750

\*\* Nota: Beban serbuk (% isipadu)

	rendah	sederhana	tinggi
Monomodal Halus	61.5	62	62.5
Monomodal Kasar	63	63.5	64
Bimodal (30 % halus)	63	63.5	64

JADUAL 2 Nisbah isyarat hingar (S/N)

Ulangan	Pengatoman	
	gas	air
1	-51.37	-51.84
2	-51.60	-52.47
3	-51.13	-52.26
4	-50.37	-51.84
5	-50.37	-52.47
6	-50.11	-52.27
7	-50.37	-50.69
8	-50.37	-50.99
9	-50.11	-51.15
Median,	-50.65	-51.77
$\bar{T}$		

ANOVA yang ditunjukkan oleh Jadual 3, bagi serbuk SS316L pengatoman gas menunjukkan signifikan dan pengaruh faktor-faktor tersebut ke atas tempoh penyahikatan larutan jasad anum tersebut. Seperti ditunjukkan oleh jadual tersebut, suhu larutan yang digunakan untuk merendam jasad anum bagi tujuan penyahikatan larutan amat mempengaruhi tempoh penyahikatan. Ini boleh dilihat dalam jadual tersebut bahawa suhu larutan yang digunakan untuk merendam jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas mempunyai pengaruh sebanyak 91.602 % berbanding serbuk SS316L pengatoman air, sebanyak 84.978 %. Bagaimanapun, taburan serbuk hanya menyumbang sebanyak 6.638 % dan 12.228 % masing-masing bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas dan air.

Selanjutnya, ANOVA yang ditunjukkan oleh Jadual 3 menunjukkan bahawa suhu air yang digunakan untuk merendam jasad anum bagi tujuan penyahikatan larutan mempunyai tahap signifikan yang amat tinggi iaitu sebanyak 0.5% bagi kedua-dua jenis serbuk SS316L. Akan tetapi, taburan saiz partikel serbuk SS316L menunjukkan tahap signifikan yang sederhana tingginya iaitu 2.5% dan 1% bagi serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air masing-masing. Bagaimanapun, faktor-faktor lain dalam jadual tersebut seperti beban serbuk dan tekanan penyuntikan hanya menunjukkan nilai varian yang amat rendah berbanding suhu larutan dan taburan serbuk logam. Ini menyebabkan faktor-faktor tersebut dikumpulkan sebagai ralat. Seperti yang pernah dibincangkan oleh Sri Yulis et al. (2007), beban serbuk memang memberikan kesan terhadap tempoh penyahikatan larutan ini, tetapi kesannya adalah kecil.

Respon bagi median nisbah S/N bagi faktor-faktor yang dikaji dalam kertas kerja ini ditunjukkan oleh Rajah 1. Titik yang berada di kedudukan teratas merupakan paras yang optimum bagi faktor berkenaan. Rajah tersebut menunjukkan bahawa faktor A pada paras 1 dan faktor B pada paras 2 merupakan yang optimum bagi tempoh penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas. Plot bagi median S/N untuk faktor C dan D tidak menunjukkan perubahan yang ketara di antara paras-paras yang ditunjukkan oleh

Rajah 1. Ini adalah selari dengan ANOVA yang ditunjukkan oleh Jadual 3, bahawa faktor-faktor tersebut mempunyai nilai varian yang rendah.

JADUAL 3 Analisis varian (ANOVA)

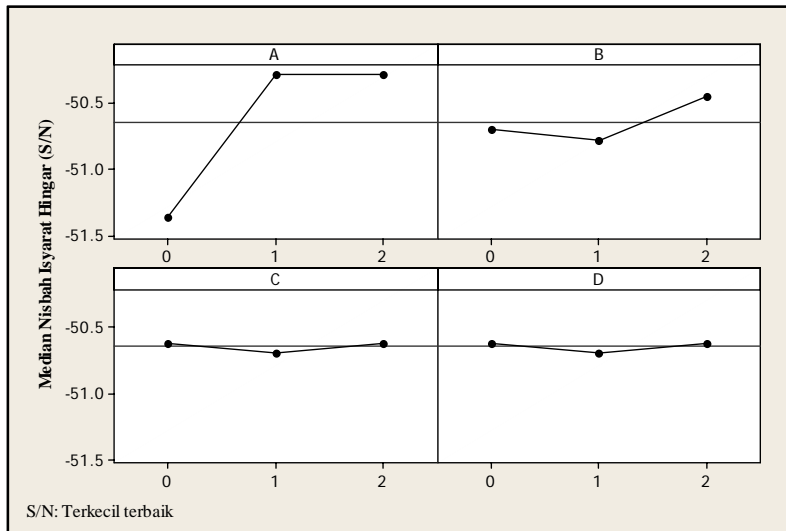
a. ANOVA bagi penyahikatan jasad anum SS316L pengatoman gas

Faktor	Darjah Kebebasan, $f_n$	Jumlah Kuasa Dua, $S_n$	Varian, $v_n$	Jumlah Kuasa Dua tulen, $S_n'$	Nisbah varian, $F_n$	F statistik	Peratus sumbangan, $P_n$
A	2	2.342	1.171	2.330	209.255	F(0.005)= 26.284	91.602
B	2	0.1801	0.090	0.169	16.091	F(0.025)= 10.649	6.638
C	2	(0.0112)	(0.006)	Di kumpulkan			
D	2	(0.0112)	(0.006)	Di kumpulkan			
ralat	4	0.022	0.006				
Jumlah	8	2.544					

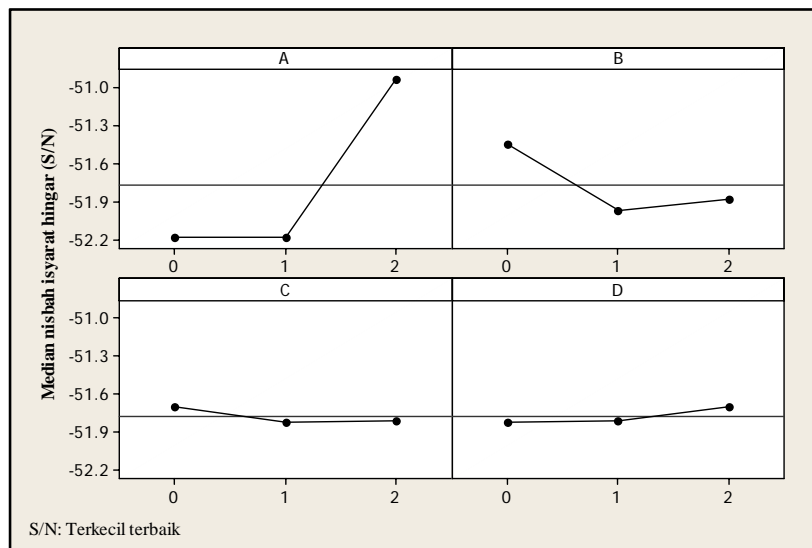
b. ANOVA bagi penyahikatan jasad anum SS316L pengatoman air

Faktor	Darjah Kebebasan, $f_n$	Jumlah Kuasa Dua, $S_n$	Varian, $v_n$	Jumlah Kuasa Dua tulen, $S_n'$	Nisbah varian, $F_n$	F statistik	Peratus sumbangan, $P_n$
A	2	3.113	1.557	3.088	122.66	F(0.005)= 26.284	84.978
B	2	0.470	0.235	0.444	18.507	F(0.01)= 18	12.228
C	2	(0.0254)	(0.013)	Di kumpulkan			
D	2	(0.0254)	(0.013)	Di kumpulkan			
ralat	4	0.051	0.013				
Jumlah	8	3.634					

Keputusan bagi pengoptimuman parameter penyahikatan larutan yang minimum ini ditunjukkan oleh Jadual 4. Bagi penyahikatan larutan jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L pengatoman gas, ianya menunjukkan bahawa suhu larutan pada 60°C dan serbuknya dalam taburan bimodal adalah yang paling optimum untuk mempercepatkan proses penyahikatan larutan. Begitu juga dengan jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L pengatoman air, suhu larutan yang lebih tinggi (65°C) adalah yang optimum bagi mempercepatkan proses penyahikatan larutan dengan taburan serbuk monomodal bersaiz halus.



a. Median isyarat hingar (S/N) bagi penyahikatan larutan SS316 pengatoman gas



b. Median isyarat hingar (S/N) bagi penyahikatan larutan SS316 pengatoman air

RAJAH 1 Respon bagi nisbah median isyarat hingar (S/N) eksperimen penyahikatan larutan

JADUAL 4 Keputusan pengoptimuman parameter penyahikatan larutan  
a. Penyahikatan jasad anum SS316L pengatoman gas

Parameter optimum: A1 B2 (Suhu air: 60 °C dan taburan: bimodal (30 % jisim serbuk halus))											
Prestasi optimum: -50.09 dB Selang keyakinan: $\pm 0.12$ pada 90 % aras keyakinan Julat : -50.208 dB < $\mu$ < -49.970 dB											
Eksperimen pengesahan (minit)											
Ulangan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	S/N (dB)
	330	300	330	320	317	322	320	320	320	320	-50.10

b. Penyahikatan jasad anum SS316L pengatoman air

Parameter optimum: A2 B0 (Suhu air: 65 °C dan taburan: monomodal halus)											
Prestasi optimum: -50.62 dB Selang keyakinan: $\pm 0.21$ pada 90 % aras keyakinan Julat : -50.833 dB < $\mu$ < -50.409 dB											
Eksperimen pengesahan (minit)											
Ulangan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	S/N (dB)
	390	300	330	340	323	331	331	329	330	330	-50.48

Prestasi optimum bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas didapati lebih tinggi berbanding serbuk pengatoman air dan selang keyakinan bagi serbuk pengatoman air juga lebih lebar berbanding serbuk pengatoman gas. Selanjutnya, Jadual 4 menunjukkan julat bagi prestasi optimum yang berada pada aras keyakinan 90%. Julat ini akan menjadi semakin kecil sekiranya aras keyakinan ditingkatkan, bagaimanapun aras keyakinan 90% adalah memadai dan sering digunakan dalam menganalisis parameter yang berkaitan kes proses pembuatan (Roy 1990). Prestasi optimum ini juga telah diuji kebenarannya dengan mengulangi eksperimen tersebut dengan parameter yang optimum seperti ditunjukkan oleh Jadual 4 dan keputusan eksperimen pengesahan tersebut menunjukkan bahawa nilai nisbah S/N yang diperolehi berada dalam julat selang keyakinan pada aras keyakinan 90%.



## KESIMPULAN

Berdasarkan kepada kajian yang dibentangkan dalam kertas kerja ini, suatu kesimpulan bagi mempercepatkan proses penyahikatan larutan bagi jasad anum yang menggunakan serbuk SS316L boleh dibuat seperti berikut:

1. Suhu air yang digunakan untuk merendam jasad anum semasa proses penyahikatan larutan memainkan peranan yang besar sebanyak 91.602 % (serbuk SS316L pengatoman gas) dan sebanyak 84.978 % (serbuk SS316L pengatoman air) untuk mempercepatkan tempoh penyahikatan larutan.
2. Taburan serbuk hanya menyumbang sebanyak 6.638 % dan 12.228 % masing-masing bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air ke atas tempoh penyahikatan larutan ini.
3. Suhu larutan untuk merendam jasad anum ini mempunyai tahap signifikan yang amat tinggi iaitu sebanyak 0.5% bagi kedua-dua jenis serbuk SS316L tersebut. Akan tetapi, taburan saiz partikel serbuk SS316L menunjukkan tahap signifikan yang sederhana tinggi iaitu 2.5% dan 1% bagi serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air masing-masing.

## RUJUKAN

- German R.M., and Bose A., 1997, Injection molding of metals and ceramics. Metal Powder Industries Federation, New Jersey.
- Khairur Rijal Jamaludin, Norhamidi Muhamad, Sri Yulis M. Amin, Mohd Nizam Ab. Rahman and Muhammad Hussain Ismail, 2007, Optimal injection parameters for minimizing defects in metal injection molding (MIM): An experimental design, *Proceedings of Advanced Processes and Systems in Manufacturing*, 49-57
- Lee H.R., Shu G.J. and Hwang K.S., 2004, Effect of particle size on debinding of PIM parts, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 4: 147-153
- Roy R. K., 1990, A primer on the Taguchi method. Competitive Manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sri Yulis M. Amin, Norhamidi Muhamad, Khairur Rijal Jamaludin and Shahrir Abdullah, 2007, Effect of powder loading on the solvent debinding of MIM parts, *Proceedings of Advanced Processes and Systems in Manufacturing*, 77-84
- Wescot E.J., Binet C. and German R.M., 2002, *In situ* monitoring of the dimensional changes and mechanisms during solvent debinding, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 10: 137-146