

## **ANALISIS TABURAN SAIZ PARTIKEL SERBUK SS316L BAGI KEGUNAAN PROSES PENYUNTIKAN ACUAN LOGAM**

Khairur Rijal Jamaludin<sup>1,2</sup>, Norhamidi Muhamad<sup>1</sup>, Mohd Nizam Ab. Rahman<sup>1</sup>,  
Sri Yulis M. Amin<sup>1</sup>, Sufizar Ahmad<sup>1</sup>, Mohd Halim Irwan Ibrahim<sup>1</sup>,  
Murtadhahadi<sup>1</sup>,  
Nor Hafiez Mohamad Nor<sup>1</sup>

1. Precision Process Research Group,  
Department of Mechanical & Materials Engineering,  
Faculty of Engineering and Architecture,  
National University of Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

2. Department of Mechanical Engineering  
College of Science & Technology  
Universiti Teknologi Malaysia  
International Campus, 54100 Kuala Lumpur

Email: khairur@citycampus.utm.my

### **ABSTRAK**

Kertas kerja ini akan membincangkan mengenai analisis terhadap serbuk SS316L pengatoman gas serta pengatoman air, kasar dan halus. Faktor-faktor seperti taburan saiz partikel ( $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ ); taburan lengkung,  $S_w$ ; dan luas permukaan tentu,  $S$  bagi serbuk tersebut dalam taburan monomodal dan bimodal dibincangkan dengan lebih terperinci dalam kertas kerja ini. Ini memandangkan faktor-faktor tersebut secara teorinya akan mempengaruhi proses-proses yang terdapat dalam proses penyuntikan acuan logam (MIM) ini, di samping kualiti jasad akhir yang bakal dihasilkan. Taburan bimodal akan mengubah saiz median partikel tersebut, selain taburan lengkung,  $S_w$  yang sempit akan memudahkan proses penyuntikan acuan logam dan, luas permukaan tentu,  $S$  yang lebih besar mempercepatkan proses penumpatan jasad sinter. Analisis ini mendapati bahawa saiz median serbuk,  $D_{50}$  bagi kesemua serbuk yang digunakan akan meningkat apabila jisim serbuk kasar ditambah dalam adunan serbuk bimodal. Selanjutnya, analisis terhadap serbuk pengatoman air pula mendapati bentuk partikelnya yang tidak sekata dan berligamen akan mempercepatkan proses penumpatan jasad sinternya berbanding serbuk pengatoman gas. Ini disebabkan oleh luas permukaan tentunya,  $S$  yang lebih tinggi.

**Katakunci:** Pengacuan suntikan logam (MIM); serbuk SS316L; taburan lengkung ( $S_w$ ); luas permukaan tentu ( $S$ )

## **PENGENALAN**

Bentuk partikel dan saiz partikel serbuk logam memainkan peranan yang penting dalam menghasilkan produk pengacuan suntikan logam (MIM) yang mempunyai peratusan ketumpatan teori yang tinggi selain daripada kawalan dimensi yang baik (Heaney et al. 2004). Ini kerana, ketumpatan jasad akhir yang hampir dengan ketumpatan teori bahan yang digunakan, disamping toleran bagi dimensi jasad akhir yang ketat merupakan salah satu cara untuk meluaskan lagi aplikasi proses ini kepada teknologi pembuatan yang tidak memerlukan proses kedua (net shape manufacturing).

Proses MIM yang melibatkan proses penyediaan bahan suapan, penyuntikan acuan logam, penyahikatan dan pensinteran, menggunakan kombinasi proses metalurgi serbuk dan teknologi suntikan plastik bagi menghasilkan barangan logam. Bentuk partikel dan saiz partikel serbuk logam yang digunakan akan mempengaruhi hasil yang dihasilkan oleh proses-proses tersebut, justeru mempengaruhi kualiti jasad akhir.

Saiz partikel serbuk logam diukur dengan menentukan dimensi partikel tersebut. Saiznya adalah bergantung kepada teknik pengukuran yang dilakukan dan juga bentuk partikel tersebut. Penentuan saiz partikel ini boleh dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik, tetapi setiap teknik akan menghasilkan keputusan yang berbeza-beza. Ini disebabkan oleh parameter pengukuran yang berbeza. Kebanyakan kaedah pengukuran partikel secara automasi akan menggunakan satu parameter geometri dengan anggapan keseluruhan partikel yang diukur berbentuk sfera.

Aspek seperti kesukaran proses pengacuan (Khakbiz et al. 2005; Zauner et al. 2004), perubahan saiz jasad perang dan tempoh proses penyahikatan (Westcot et al. 2003; Eroglu & Bakan 2005) dan, ketumpatan serta pengecutan jasad sinter (Sutton et al. 2006) merupakan kesan-kesan yang disumbangkan oleh perbezaan bentuk dan saiz partikel serbuk logam. Oleh itu, kertas kerja ini akan membincangkan sifat taburan saiz partikel serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air dalam taburan monomodal dan bimodal serta kesannya yang mungkin terhadap proses pengacuan suntikan logam serta proses MIM.

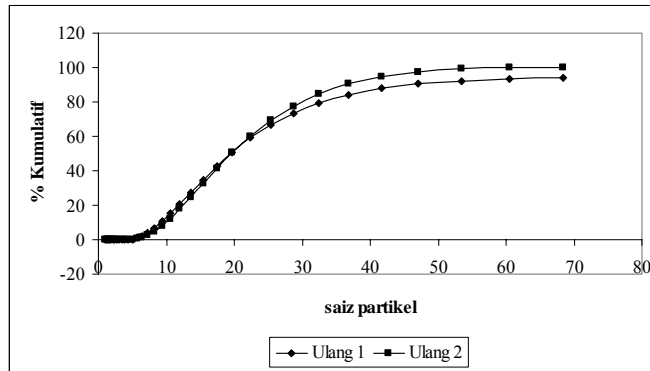
## **KAEDAH KAJIAN**

Serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air digunakan dalam kajian ini. Serbuk pengatoman gas dibekalkan oleh ANVAL, Sweden berketumpatan pycnometer median  $8.2388 \text{ g/cm}^3$ , manakala serbuk pengatoman air pula dibekalkan oleh Atmix, Jepun berketumpatan median  $8.694 \text{ g/cm}^3$ . Ketumpatan pycnometer serbuk-serbuk ini diukur dengan Ultra pycnometer 1000, Quantachrome Instrument yang menggunakan gas nitrogen sebagai medium pengukurannya.

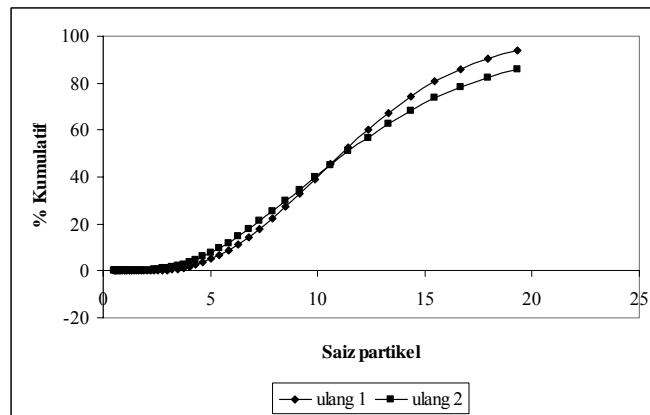
Selanjutnya, saiz partikelnya pula diukur dengan Mastersizer 2000, Malvern Instrument dengan kaedah pengukuran basah. Asas analisis saiz partikel ini terdiri daripada luas permukaan, luas projeksi, dimensi maksimum, luas keratan rentas minimum, ataupun isipadu.

### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 1 menunjukkan taburan saiz partikel serbuk SS316L pengatoman gas dan Rajah 2 pula menunjukkan taburan saiz partikel bagi serbuk SS316L pengatoman air. Kedua-dua rajah tersebut menunjukkan taburan bagi saiz partikel tersebut pada beberapa sampel serbuk yang sama, menghampiri di antara satu sama lain. Saiz median bagi serbuk-serbuk ini berada pada peratusan kumulatif 50% dan ini sering dinamai sebagai saiz  $D_{50}$ . Sehubungan dengan itu juga, taburan saiz partikel serbuk-serbuk ini diringkaskan oleh Jadual 1 dan Jadual 2.

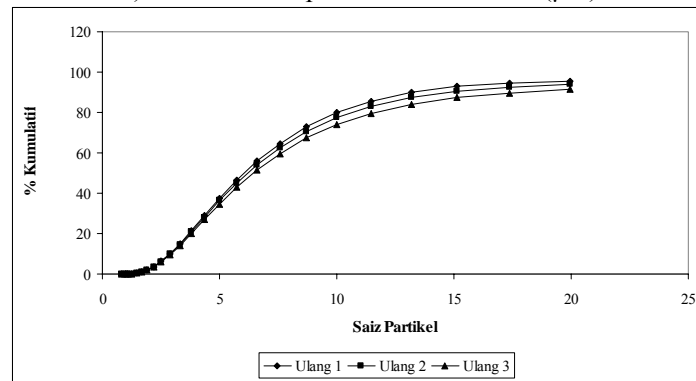
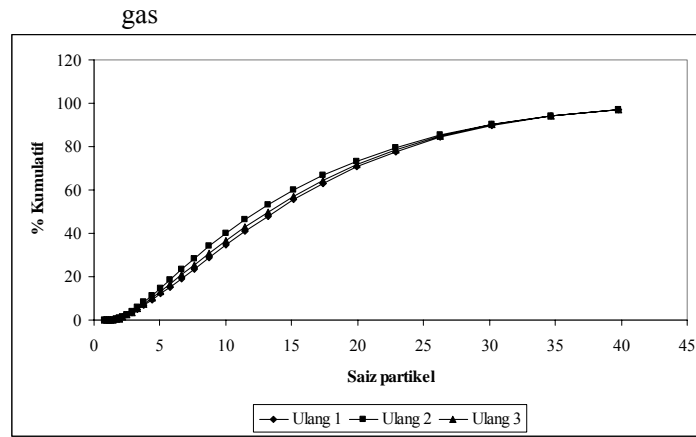


a) Taburan saiz partikel serbuk kasar ( $\mu\text{m}$ )



b) Taburan saiz partikel serbuk halus ( $\mu\text{m}$ )

RAJAH 1 (a & b) Taburan saiz partikel ( $\mu\text{m}$ ) serbuk logam SS316L pengatoman



RAJAH 2 (a & b) Taburan saiz partikel ( $\mu\text{m}$ ) serbuk logam SS316L pengatoman air

Seperti ditunjukkan oleh Jadual 1 dan Jadual 2, aspek tipikal dalam menganalisis saiz partikel serbuk logam adalah taburan saiz partikel yang ditunjukkan oleh taburan kumulatif iaitu 10%, 50% dan 90%. Ianya ditunjukkan sebagai  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$  dalam jadual tersebut. Saiz  $D_{50}$  mewakili taburan median partikel serbuk tersebut.

Aspek lain dalam menganalisis serbuk logam adalah taburan lengkung,  $S_w$ ;

$$S_w = \frac{2.56}{\log_{10}\left(\frac{D_{90}}{D_{10}}\right)} \quad (1)$$

Saiz partikel median,  $D_{50}$  dan taburan lengkung,  $S_w$  merupakan faktor penting dalam analisis serbuk logam ini. Parameter  $S_w$  dikenali sebagai lengkung taburan kumulatif log-normal dan ianya bersamaan dengan pekali ubahan atau sisihan piawai taburan saiz partikel tersebut. Apabila nilai  $S_w$  ini lebih tinggi, bermakna taburan saiz partikel tersebut adalah sempit, manakala keadaan sebaliknya pula menunjukkan taburan saiz partikel yang lebar. Serbuk logam bagi proses MIM yang baik seharusnya mempunyai taburan saiz partikel yang sempit. Sesetengah serbuk yang mempunyai nilai  $S_w$  bersamaan 2 mudah untuk disuntik, manakala yang nilainya di antara 4 dan 5 sukar untuk disuntik (German dan Bose 1997).

JADUAL 1 Saiz serbuk logam pengatoman gas dalam taburan monomodal

	Ulang	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$	$S_w$	$S (m^2/g)$
Serbuk kasar	1	9.228	19.456	45.696	3.685	0.145
	2	9.972	19.586	36.435	4.549	0.144
	min	9.600	19.521	41.066	4.117	0.144
Serbuk halus	1	6.080	11.130	17.800	5.488	0.617
	2	5.480	11.320	21.880	4.258	0.622
	min	5.780	11.225	19.840	4.873	0.619

JADUAL 2 Saiz serbuk logam pengatoman air dalam taburan monomodal

	Ulang	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$	$S_w$	$S (m^2/g)$
Serbuk kasar	1	5.216	15.748	34.989	3.097	0.551
	2	4.746	14.228	34.667	2.964	0.599
	3	4.994	15.179	34.585	3.046	0.570
	min	4.985	15.052	34.747	3.036	0.573
Serbuk halus	1	3.301	6.946	15.251	3.852	1.000
	2	3.331	7.121	16.866	3.634	0.982
	3	3.382	7.403	20.429	3.278	0.946
	min	3.338	7.157	17.515	3.588	0.978

Jadual 1 dan Jadual 2 menunjukkan bahawa taburan saiz partikel serbuk halus lebih sempit berbanding serbuk kasar yang mempunyai taburan partikel yang lebih besar. Bagaimanapun, taburan partikel bagi serbuk SS316L pengatoman gas adalah lebih sempit berbanding serbuk SS316L pengatoman air. Ini disebabkan oleh bentuk partikel serbuk pengatoman gas yang lebih sekata berbanding serbuk pengatoman air. Nilai  $S_w$  bagi serbuk pengatoman air ini menunjukkan bahawa serbuk ini sedikit sukar untuk disuntik berbanding serbuk pengatoman gas.

Jadual 3 dan Jadual 4 berikutnya menunjukkan taburan saiz partikel bagi serbuk tersebut dalam taburan bimodal. Keputusan tersebut menunjukkan pengurangan saiz median partikel tersebut dengan penambahan komposisi jisim serbuk halus. Bagaimanapun, apabila peratusan jisim serbuk halus bertambah,

taburan partikel tersebut menjadi semakin sempit. Ini boleh dilihat dengan peningkatan nilai  $S_w$ nya.

JADUAL 3 Saiz serbuk logam pengatoman gas dalam taburan bimodal

	Ulang	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>	S <sub>w</sub>	S (m <sup>2</sup> /g)
30 % jisim serbuk halus	1	8.675	20.151	43.475	3.657	0.368
	2	8.944	20.962	44.426	3.678	0.357
	3	9.141	21.434	46.175	3.640	0.349
	min	8.920	20.849	44.692	3.658	0.358
50 % jisim serbuk halus	1	8.490	17.344	33.354	4.308	0.404
	2	8.655	17.661	33.970	4.311	0.396
	3	8.805	17.957	34.379	4.328	0.390
	min	8.650	17.654	33.901	4.316	0.397
70 % jisim serbuk halus	1	7.765	16.321	33.753	4.012	0.432
	2	8.073	17.003	35.012	4.018	0.415
	3	8.289	17.391	35.416	4.059	0.405
	min	8.042	16.905	34.727	4.029	0.417

JADUAL 4 Saiz serbuk logam pengatoman air dalam taburan bimodal

	Ulang	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>	S <sub>w</sub>	S (m <sup>2</sup> /g)
30 % jisim serbuk halus	1	4.219	12.294	34.125	2.820	0.671
	2	4.294	12.648	33.378	2.875	0.661
	3	4.385	13.114	33.632	2.893	0.645
	min	4.300	12.685	33.712	2.863	0.659
50 % jisim serbuk halus	1	3.701	9.246	26.608	2.988	0.813
	2	3.795	9.850	28.187	2.940	0.781
	3	3.893	10.404	30.181	2.878	0.751
	min	3.796	9.833	28.325	2.935	0.782
70 % jisim serbuk halus	1	3.591	8.603	24.323	3.081	0.856
	2	3.659	8.955	25.360	3.045	0.832
	3	3.724	9.277	26.566	3.000	0.811
	min	3.658	8.945	25.416	3.042	0.833

Selanjutnya, seperti ditunjukkan oleh jadual-jadual di atas, luas permukaan tentu, S merupakan pengukuran tidak langsung terhadap saiz purata partikel. Faktor ini amat penting bagi menganggarkan penumpatan padatan tersebut semasa proses pensinteran. Luas permukaan tentu, S dinyatakan dalam (m<sup>2</sup>/g) adalah seperti berikut.

$$S = \frac{6}{\rho D} \quad (2)$$

Di mana,  $D$  adalah saiz partikel dan  $\rho$  adalah ketumpatan teori bahan tersebut. Persamaan ini menganggap bahawa bentuk partikel serbuk adalah sfera. Luas permukaan tentu,  $S$  ini penting untuk menganggarkan tingkahlaku pensinteran, memandangkan tenaga permukaan adalah berkadar terus dengan luas permukaan, dan tenaga permukaan ini akan memacu proses pensinteran. Selain itu juga, luas permukaan tentu,  $S$  ini juga boleh dijadikan panduan relatif kepada geseran di antara partikel serbuk logam tersebut, memandangkan luas permukaan yang tinggi berkaitan dengan lebih banyak sentuhan di antara partikel-partikel tersebut.

Jadual 1 dan Jadual 2 di atas menunjukkan bahawa luas permukaan tentu,  $S$  serbuk halus lebih tinggi berbanding serbuk kasar. Ini menunjukkan ketumpatan yang lebih baik dapat dihasilkan oleh jasad anum serbuk halus. Bagaimanapun, analisis ini menunjukkan serbuk SS316L pengatoman air mungkin dapat menghasilkan jasad sinter dengan ketumpatan yang lebih baik berbanding serbuk SS316L pengatoman gas. Ini disebabkan oleh serbuk pengatoman air mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Ini juga dibuktikan oleh penyelidik lain seperti Myers dan German (2001) bahawa serbuk pengatoman air yang hampir sfera dan berligamen mempunyai ketumpatan tap yang rendah dan luas permukaan yang tinggi berbanding serbuk pengatoman gas. Serbuk kasar yang mempunyai luas permukaan,  $S$  yang lebih rendah mempunyai hanya sedikit pengaruh ke atas proses penyahikatan (Lee et al. 2004). Bagaimanapun, ianya bergantung kepada kehomogenan bahan suapan itu sendiri selain parameter yang digunakan bagi proses-proses selanjutnya seperti proses penyuntikan, penyahikatan dan pensinteran.

Bagi taburan bimodal, penambahan serbuk halus ke dalam serbuk kasar akan meningkatkan luas permukaan tentunya, bagaimanapun serbuk SS316L pengatoman air masih lagi mendominasi dari segi luas permukaan tentu yang tinggi. Keputusan yang ditunjukkan oleh Jadual 3 dan Jadual 4 jelas menunjukkan ketumpatan akhir jasad anum yang menggunakan serbuk logam dalam taburan bimodal akan meningkat berbanding yang menggunakan serbuk kasar sepenuhnya. Walaupun penumpatan semasa pensinteran serbuk bimodal ini agak rendah berbanding serbuk halus dalam taburan monomodal, adunan bahan suapan secara bimodal ini akan dapat mengurangkan geseran permukaan partikel serbuk dan seterusnya memudahkan proses penyuntikan. Perhatikan dalam Jadual 2 bahawa nilai luas permukaan spesifik bagi serbuk halus yang menghampiri uniti akan menyukarkan proses penyuntikan dan ini menyebabkan bahan suapan serbuk ini terpaksa dikurangkan bagi memudahkan proses penyuntikan acuan. Oleh itu, adunan serbuk ini dalam taburan bimodal akan dapat memudahkan proses penyuntikan acuan logam.

## **KESIMPULAN**

Kajian ke atas saiz serbuk logam yang digunakan dalam kajian ini menunjukkan kedua-dua jenis serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman gas dan pengatoman air sesuai digunakan dalam bahan suapan MIM. Saiz median serbuk,  $D_{50}$  bagi kesemua serbuk dalam taburan monomodal didapati meningkat apabila taburan serbuk secara bimodal digunakan. Selanjutnya, apabila peratusan jisim serbuk kasar ditingkatkan dalam serbuk bimodal, saiz median serbuk tersebut akan meningkat. Ini akan memudahkan proses penyuntikan acuan logam disebabkan luas permukaan tentu,  $S$  serbuk halus akan dapat dikurangkan dengan kehadiran serbuk kasar. Adunan serbuk bimodal akan mengurangkan penempatan jasad sinternya berbanding sekiranya serbuk halus dalam taburan monomodal digunakan. Bagaimanapun, ianya masih bergantung kepada prestasi proses-proses lain seperti proses pengadunan bahan suapan, penyuntikan acuan logam, penyahikatan dan pensinteran.

Walaupun serbuk SS316L pengatoman air yang digunakan dalam kajian ini berbentuk tidak sekata dan berligamen, menyebabkan ianya sukar untuk disuntik, penempatan jasad sinternya dipercayai lebih baik berbanding dengan yang menggunakan serbuk pengatoman gas. Ini disebabkan oleh luas permukaan tentunya,  $S$  yang lebih tinggi. Luas permukaan tentu,  $S$  serbuk halus pengatoman air juga akan meningkatkan geseran di antara partikel serbuk tersebut, menyebabkan tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan yang lebih tinggi diperlukan walau pada tahap beban serbuk yang rendah. Selain itu juga, kekuatan jasad anum yang lebih baik akan dapat diperolehi berbanding jasad anum serbuk pengatoman gas.

## **RUJUKAN**

- Eroglu, S. & Bakan, H. I. 2005. Solvent debinding kinetics and sintered properties of injection moulded 316L stainless steel powder. *Powder Metallurgy* 48(4): 329-332.
- German, R.M. & Bose, A. 1997. Injection molding of metals and ceramics. Metal Powder Industries Federation, New Jersey.
- Heaney ,D. F., Zauner, R., Binet, C., Cowan, K. & Piemme, J. 2004. Variability of powder characteristics and their effect on dimensional variability of powder injection moulded components. *Powder Metallurgy* 47(2):145- 150.
- Khakbiz, M., Simchi, A. & Bagheri, R. 2005. Investigation of rheological behaviour of 316L stainless steel–3 wt-%TiC powder injection moulding feedstock. *Powder Metallurgy* 48(2): 144-150.



Lee, H.R., Shu, G.J. & Hwang, K.S. 2004. Effect of particle size on the debinding of PM parts.

*Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials* 4:147-153

Myers, N. & German, R.M. 2001. Binder selection for PIM of water atomized 316L. *Advances in*

*Powder Metallurgy and Particulate Materials* 4: 27-34

Sutton, R. A., Huo, S. H. & Schaffer, G. B. 2006. Effect of particle size ratio and particle

clustering on sintering and stiffness of aluminium matrix composite.

*Powder Metallurgy* 49(4): 323-327.

Westcot, E. J., Binet, C. & German, R.M. 2003. In situ dimensional change, mass loss and

mechanisms for solvent debinding of powder injection moulded components. *Powder Metallurgy* 46(1): 61-67.

Zauner, R., Binet, C., Heaney, D. F. & Piemme, J. 2004. Variability of feedstock viscosity and its

correlation with dimensional variability of green powder injection moulded components. *Powder Metallurgy* 47(2): 151-156.