

**PEMBEBANAN SERBUK YANG OPTIMUM BAGI BAHAN SUAPAN
DARIPADA SS 316 L, PEG, PMMA DAN AS BAGI PROSES
PENGACUANAN SUNTIKAN LOGAM (MIM)**

Norhamidi Muhamad, Murtadhahadi, Che Hassan Che Harun, Abu Bakar
Sulong, Khairur Rijal Jamaludin, Sufizar Ahmad, Mohd Halim Irwan
Ibrahim dan Nor Hafiez Mohamad Nor
Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor
Email: murtadha88@yahoo.com

ABSTRAK

Kejayaan dalam proses pengacuanan suntikan logam (MIM) amat bergantung kepada ciri-ciri aliran bahan suapan yang dihasilkan. Bahan suapan MIM haruslah mempunyai dua ciri utama iaitu likat dan elastik. Kelikatan yang tinggi mengakibatkan bahan suapan sukar untuk disuntik. Ciri-ciri aliran seperti kelikatan yang mengaitkan kadar ricih dan tegasan ricih merupakan parameter yang harus diketahui bagi seseorang yang menceburi bidang MIM ini. Kajian ini difokuskan untuk mengenal pasti pembebanan serbuk yang optimum bagi proses pengacuan suntikan logam bagi bahan suapan daripada Serbuk keluli tahan karat (SS 316L) bersaiz purata 16 μm dan bahan pengikat yang terdiri daripada Polietilena Glikol (PEG), Polimetil Metakrilat (PMMA) dan Asid Stearik (AS). Pembebanan serbuk SS 316 L yang digunakan dalam kajian ini ialah 63 %, 63.5 % dan 64 % isi padu. Komposisi bahan pengikat yang digunakan ialah sebanyak 73 % berat PEG, 25 % berat PMMA dan 2 % berat Asid Stearik. Kajian sifat reologi bahan suapan dilakukan dengan menggunakan mesin reometer rerambut jenis Shimadzu CFT-500D. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa pembebanan serbuk sebanyak 63.5 % isipadu merupakan pembebanan serbuk yang paling sesuai untuk disuntik atau pembebanan serbuk yang paling optimum.

Katakunci: Pengacuanan Suntikan Logam (MIM), Bahan suapan, Pembebanan serbuk.

PENGENALAN

Pengacuan suntikan logam (MIM) merupakan suatu teknologi baru yang menggabungkan asas dalam pengacuan suntikan plastik dan juga metallurgi serbuk. Proses ini amat sesuai berbanding dengan proses-proses logam lain seperti proses tuangan dan pemesinan, khususnya untuk menghasilkan produk-produk logam berbentuk rumit, kecil dan kadar pengeluaran yang tinggi dengan

kos yang rendah. Proses ini mengandungi beberapa peringkat pemrosesan iaitu proses pencampuran untuk menghasilkan bahan suapan, penyuntikan, penyahikatan dan persinteran (German dan Bose 1997). Setiap satunya memainkan peranan yang penting dalam menghasilkan produk akhir yang berkualiti.

Kajian terhadap proses penyediaan bahan suapan adalah penting dilakukan khususnya untuk mendapatkan bahan suapan yang sesuai untuk disuntik. Salah satu kajian yang dilakukan terhadap bahan suapan adalah kajian sifat reologi untuk mengetahui ciri-ciri aliran bahan suapan.

Kejayaan dalam proses MIM amat bergantung kepada ciri-ciri aliran bahan suapan yang dihasilkan. Bahan suapan MIM haruslah mempunyai dua ciri utama iaitu likat dan elastik. Kelikatan yang tinggi mengakibatkan bahan suapan sukar untuk disuntik. Sifat elastik menerangkan tegasan yang wujud pada aliran bahan suapan seharusnya kurang daripada tegasan alah dan masih dapat mengekalkan sifat-sifatnya apabila daya luaran seperti suhu dan tekanan dikenakan ke atas aliran (German 1990).

Ciri-ciri aliran seperti kelikatan yang mengaitkan kadar ricih dan tegasan ricih merupakan parameter yang harus diketahui bagi seseorang yang menceburi bidang MIM ini (German dan Bose 1997). Kebanyakan bahan polimer dalam suntikan plastik akan mengalami perubahan ciri-ciri aliran yang agak kompleks disebabkan keadaan aliran itu sendiri (Crowford 1987). Ciri-ciri aliran akan menjadi lebih kompleks apabila serbuk logam digunakan dalam proses MIM dan juga kesan parameter-parameter suntikan seperti suhu, masa dan tekanan (German 1990). Oleh itu kehomogenan bahan suapan amat diperlukan untuk memastikan produk yang diperhasilkan bebas dari sebarang kecacatan. Dilaporkan bahawa reometer rerambut merupakan teknik yang paling baik untuk menentukan tahap kehomogenan bahan suapan yang dihasilkan (Cao et al. 1991; Hens & Kupp 1995; Raman et al. 1993).

Secara amnya terdapat tiga jenis aliran yang wujud bagi polimer iaitu aliran mengembang (*dilatant*), Newtonian dan pseudoplastik. Dalam proses MIM aliran bahan suapan semasa pengacuan suntikan mestilah bersifat pseudoplastik yang mana kelikatan berkurang dengan penambahan kadar ricih pada nilai suhu tertentu. Ciri ini juga perlu wujud dalam proses pengacuan suntikan plastik. Aliran-aliran yang diterangkan di atas ditentukan berdasarkan nilai indek aliran, n . Kaitan di antara kelikatan, η dan kadar ricih, $\dot{\gamma}$ dapat dihubungkan dengan persamaan 1 (German 1990);

$$\eta = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (1)$$

Nilai n bagi aliran pseudoplastik adalah kurang daripada 1 dan ianya merujuk kepada tahap kepekaan aliran terhadap perubahan kadar ricih (Cao et al. 1991). Lebih tinggi nilai n maka akan berkurang kepekaannya terhadap perubahan kadar ricih. Semasa suhu pengacuan suntikan, kelikatan bahan pengikat mestilah kurang daripada 10 Pa.s manakala bagi bahan suapan MIM boleh berbeza dari 10 Pa.s hingga 1000 Pa.s pada suhu yang sama (German 1990; Li Yimin et al. 1997).

Kadar ricih bagi pengacuan biasanya antara julat 10^2s^{-1} hingga 10^5s^{-1} dengan kelikatan maksimum yang boleh dicapai adalah sehingga 10^3 Pa.s (Hsu dan Tsai

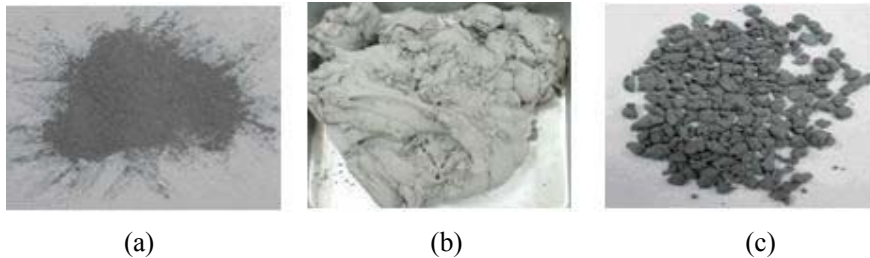
1996). Kelikatan amat bergantung kepada suhu, perubahan yang sedikit pada suhu akan memberikan perubahan kelikatan yang besar.

KAEDAH UJIKAJI

Kaedah ujikaji dalam kajian ini merangkumi beberapa proses dalam pengacuan suntikan logam iaitu bermula daripada proses penentuan dan penyediaan bahan suapan dengan pembebanan serbuk yang sesuai, proses pencampuran, pembutiran dan ujian sifat reologi bahan suapan.

Bahan suapan yang digunakan dalam kajian ini terdiri daripada serbuk logam keluli tahan karat (SS 316L) berbentuk sfera dengan diameter serbuk bersaiz purata 16 μm dan bahan pengikat yang terdiri daripada Polietilena Glikol (PEG), Polimetil Metakrilat (PMMA) dan Asid Stearik (AS). Pembebanan serbuk SS 316 L yang digunakan ialah 63 %, 63.5 % dan 64 % isi padu. Komposisi bahan pengikat yang digunakan ialah sebanyak 73 % berat PEG, 25 % berat PMMA dan 2 % berat Asid Stearik.

Bahan suapan yang telah tersedia selanjutnya dicampur dengan menggunakan mesin pencampur jenis Sigma atau Bilah-Z. Pencampuran dilakukan dengan mengikut kaedah proses pencampuran. Halaju pencampur yang memberikan hasil terbaik adalah 25 ppm apabila suhu pencampur menerusi kaedah yang sesuai dari 27 °C sehingga 70 °C, manakala masa pencampuran sebaiknya sekitar 2 jam.



RAJAH 1 Bahan suapan: (a) Serbuk SS 316 L, (b) Bahan suapan selepas dicampur dan (c) Bahan suapan yang telah dibutirkan siap untuk disuntik

Bahan suapan yang telah tersedia kemudiannya dilakukan pengujian sifat reologi dengan menggunakan mesin reometer rerambut jenis Shimadzu CFT-500D. Data-data reologi seperti kelikatan dan tegangan ricih pada suhu yang berbeza diperolehi daripada ujian ini. Aliran bahan suapan dalam MIM haruslah bersifat pseudoplastik iaitu sifat kelikatannya semakin berkurang dengan penambahan kadar ricih ataupun tegangan ricih. Ciri ini amat diperlukan dalam proses MIM khususnya semasa suntikan (Iriany, 2002). Kelikatan yang terlalu rendah akan mengakibatkan berlakunya penurunan (*slumping*) pada komponen jasad hijau semasa proses penyahikatan, manakala kelikatan yang terlalu tinggi pula akan menyulitkan suntikan (German, 1990). Pengujian ini berguna untuk dapat

mengetahui pembebanan serbuk yang optimum daripada bahan suapan yang akan digunakan dalam proses MIM dan untuk dapat memprediksikan julat parameter proses penyuntikan yang akan dilakukan sehingga dapat menghindari pembaziran masa dan bahan suapan. Ujian reologi dilakukan pada julat suhu 110 °C hingga 140 °C. Julat suhu merupakan julat meleburnya bahan pengikat dan merupakan julat suhu yang akan digunakan dalam proses penyuntikan. Julat suhu ini adalah antara suhu melebur ketiga-tiga bahan pengikat iaitu PEG dan Asid Stearik melebur pada suhu 60 °C dan PMMA pada suhu 180 °C.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Daripada hasil ujikaji sifat reologi yang telah dijalankan untuk mengenalpasti pembebanan serbuk yang optimum daripada bahan suapan: SS 316L, PEG, PMMA dan Asid Stearik (AS) untuk pembebanan serbuk 63 %, 63.5 % dan 64 % isipadu pada julat suhu 115 °C hingga 135 °C, dengan tekanan atau beban ujikaji iaitu 30 kgf dan 40 kgf, nilai kelikatannya untuk setiap pembebanan serbuk dengan julat suhu yang berbeza diberikan di Jadual 1. Beban yang digunakan adalah merupakan nilai beban terendah yang boleh digunakan semasa ujikaji. Ianya dipilih untuk menentukan samada nilai kelikatan yang diperolehi berada dalam julat yang disyorkan atau tidak. Data yang diperolehi menunjukkan hampir semua nilai kelikatan bahan suapan adalah sesuai dengan julat yang disyorkan iaitu antara 10 Pa.s hingga 1000 Pa.s, kecuali hanya satu kes terasing iaitu bagi bahan suapan dengan pembebanan serbuk 63.5 % pada suhu 115 °C dan beban 30 Kgf. Bahan suapan dengan kelikatan yang tinggi akan menyukarkan proses penyuntikan dan ada kemungkinan banyak lagi masalah yang timbul terutamanya pada produk tersuntik.

Beberapa ciri penting yang mempengaruhi kelikatan bahan suapan yang dihasilkan dibincangkan seperti kesan pembebanan serbuk, kesan kadar ricih dan juga kesan suhu akan diterangkan dibahagian berikut.

Kesan Pembebanan Serbuk Terhadap Kelikatan

Ujikaji sifat reologi pada semua julat suhu ujikaji menunjukkan, nilai kelikatannya berada dalam julat yang baik iaitu antara masing-masing 33.9 Pa.s sehingga 727.2 Pa.s bagi pembebanan serbuk 63 % dan 168 Pa.s sehingga 764 Pa.s bagi pembebanan serbuk 63.5 % serta 184 Pa.s sehingga 572 Pa.s bagi pembebanan serbuk 64 % sebagaimana yang ditunjukkan pada Jadual 1 serta Rajah 2 (a) dan (b), kecuali apabila dikenakan tekanan 30 kgf dan suhu 115 °C bagi pembebanan serbuk 63.5 % isipadu. Nilai kelikatan yang sesuai ialah antara 10 hingga 1000 Pa.s (German 1990).

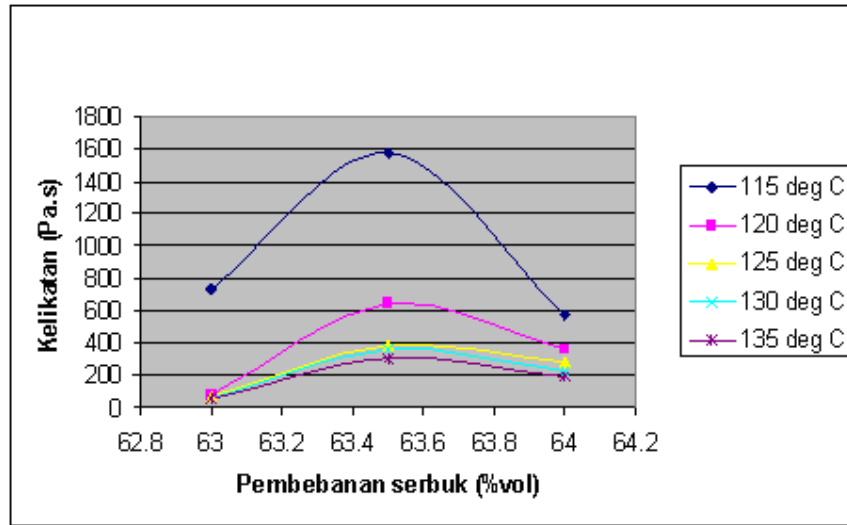
Dari Rajah 2 (a) dan (b) didapati nilai kelikatan untuk pembebanan serbuk 63.5 % isipadu lebih tinggi berbanding dengan 63 % dan 64 % isipadu. Nilai kelikatan pembebanan serbuk 63.5 % lebih tinggi berbanding dengan 63 % kerana kelikatan bahan suapan biasanya akan meningkat dengan meningkatnya isipadu serbuk dalam bahan suapan (Muhammad Hussein 2002).

JADUAL 1 Nilai kelikatan bahan suapan (Pa.s) pada julat suhu 115 °C-135 °C

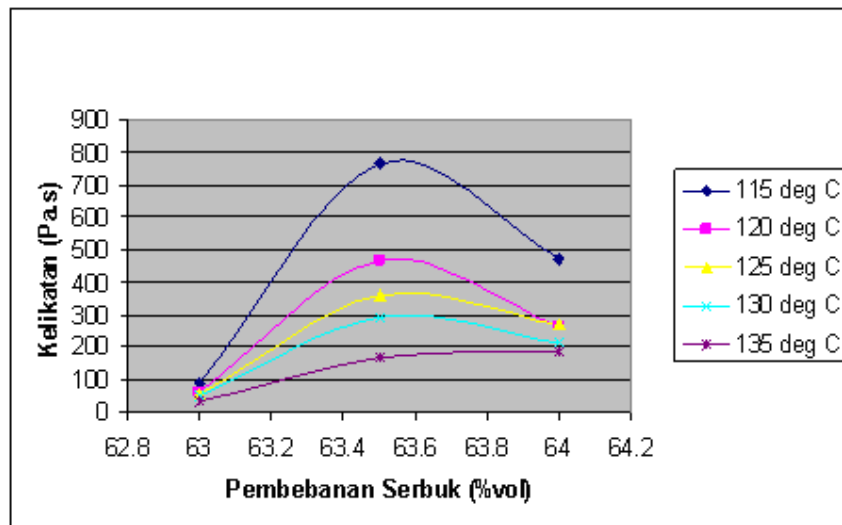
Pembebanan Serbuk (% vol)	Tekanan (Kgf)	Suhu (°C)				
		115	120	125	130	135
63	30	727.2	75.84	63.16	61.07	55.68
	40	87.98	64.01	57.46	49.87	33.9
63.5	30	1570	643	379	363	301
	40	764	469.4	360	292.4	168
64	30	572	362.2	279.6	226.2	192.1
	40	474.6	264.6	272.4	211.6	184

Manakala untuk pembebanan serbuk 63.5 % nilai kelikatannya lebih tinggi berbanding dengan 64 % kerana ujikaji ini menggunakan saiz zarah serbuk yang kecil iaitu 16 µm dan ini akan memudahkan pembentukan struktur yang tergumpal jika pembebanan serbuk lebih tinggi. Saiz zarah yang kecil akan memberikan nilai kelikatan yang tinggi terutama semasa proses pencampuran dan penyuntikan. Akibat daripada nilai kelikatan yang tinggi semasa proses pencampuran maka nilai pembebanan serbuk yang optimum juga rendah (Muhammad Hussein 2002).

Sesuai dengan yang ditunjukkan pada Rajah 2 (a) dan (b), nilai kelikatan untuk pembebanan serbuk 63.5 % isipadu lebih tinggi berbanding dengan 63 % dan 64% isipadu, maka ujikaji proses pengacuanan suntikan logam dengan acuan yang berbentuk rumit, bahan suapan dengan nilai kelikatan yang lebih tinggi tetapi masih lagi dalam julat yang disyorkan, lebih baik untuk digunakan untuk menghindari terjadinya kecacatan jenis percikan dan pemisahan bahan pengikat pada produk jasad hijau.



RAJAH 2(a) Kesan pembebanan serbuk terhadap nilai kelikatan bahan suapan dengan beban yang dikenakan 30 Kgf



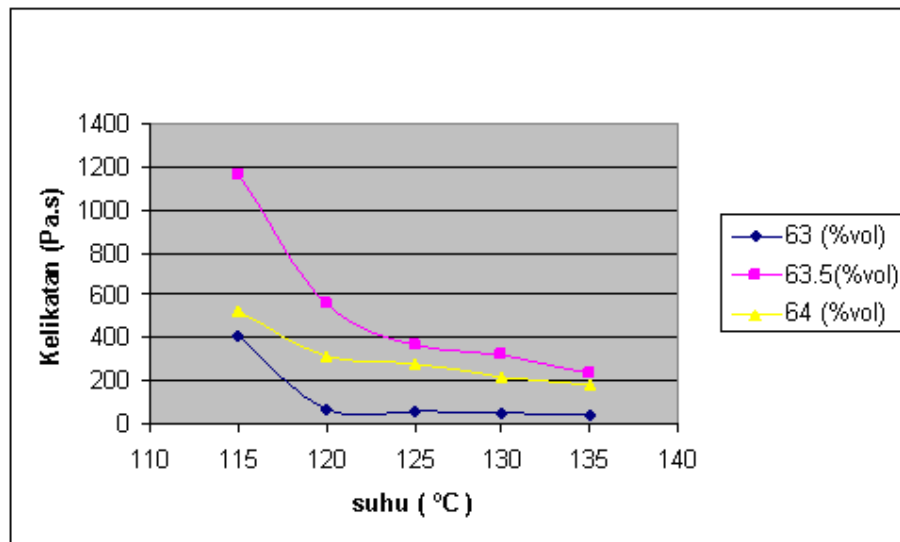
RAJAH 2 (b) Kesan pembebanan serbuk terhadap nilai kelikatan bahan suapan dengan beban yang dikenakan 40 Kgf

Kesan Suhu Terhadap Kelikatan Bahan suapan

Kelikatan amat bergantung kepada suhu. Perubahan yang sedikit pada suhu akan memberikan perubahan kelikatan yang besar. Peningkatan suhu akan mengurangkan nilai kelikatan bahan suapan akibat daripada peningkatan molekul-molekul matrik bahan suapan untuk bergerak. Rajah 2 (a) dan (b)

menunjukkan penurunan nilai kelikatan bahan suapan pada setiap peningkatan suhu yang digunakan. Penurunan nilai kelikatan pada setiap peningkatan suhu dapat dilihat dengan lebih jelas pada Rajah 3.

Pada Rajah 3 dapat dilihat bahawa kecerunan yang paling tinggi didapati pada graf pembebanan serbuk 63.5 % isipadu. Ini adalah baik untuk proses pengacuan suntikan logam bagi mendapatkan parameter penyuntikan yang optimum, kerana dengan sedikit perubahan atau peningkatan suhu suntikan, terus dapat dikesan perbezaan kualiti produk tersuntik jasad hijau, akibat daripada terjadinya perubahan kelikatan bahan suapan.



RAJAH 3 Kelikatan purata (Pa.s) melawan suhu (°C) untuk ketiga pembebanan serbuk

KESIMPULAN

Daripada hasil ujikaji yang telah dijalankan untuk mengenal pasti pembebanan serbuk yang optimum daripada bahan suapan: SS 316L, PEG, PMMA dan Asid Stearik (AS) bagi proses pengacuan suntikan logam (MIM), dapat disimpulkan bahawa:

1. Kajian terhadap proses penyediaan bahan suapan adalah penting dilakukan khususnya untuk mendapatkan bahan suapan yang sesuai untuk disuntik dan untuk memperoleh kejayaan dalam proses penghasilan produk MIM. Salah satu kajian yang dilakukan terhadap bahan suapan adalah kajian sifat reologi untuk mengetahui ciri-ciri aliran bahan suapan.

2. Kajian ini merangkumi beberapa proses dalam pengacuan suntikan logam iaitu bermula daripada proses penentuan dan penyediaan bahan suapan dengan pembebanan serbuk yang sesuai, proses pencampuran, pembutiran dan ujian sifat reologi bahan suapan.
3. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa pembebanan serbuk sebanyak 63.5 % isipadu merupakan pembebanan serbuk yang paling sesuai untuk disuntik atau pembebanan serbuk yang paling optimum.

RUJUKAN

- Cao, M.Y, Rhee, B.O and Chung, C.I., 1991, Usefulness of the viscosity measurement of feedstock in powder injection molding, *Powder Injection Molding*, 2: 59-74.
- Crowford, R.J., 1987, *Plastics Engineering*, 2nd Ed., Headington Hill Hall: Pergamon Press.
- German, R.M., 1990, *Powder Injection Molding*, New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M. and Bose A., 1997, *Injection Molding Of Metal And Ceramics.*, New Jersey : Metal Powder Industries Federation.
- Hens, K.F. and Kupp, D., 1995, Advanced production methods for PIM feedstock. *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 6: 45-54.
- Hsu, K.C. and Tsai, P.C., 1996, A statistical analysis of the effect of a mixture component on the rheology of alumina feedstocks. *Metallurgy and Materials Transactions B*, 27:399-408.
- Iriany, 2002, *Kajian Sifat Reology Bahan Suapan Yang Mengandungi Stearies Sawit Untuk Proses Pengacuan Suntikan Logam*, FKEJ, UKM, Bangi.
- Yimin, L., Xuanhui, Q., Baiyun, H. and Guanghan, Q., 1997, Rheological properties of metal injection molding binder and feedstock, *Trans Nonferrous Met. Soc. China*, 7:3: 103-107.
- Muhammad Hussain Ismail, 2002, Kesan pembebanan serbuk logam terhadap Fenomen pemprosesan dalam pengacuan suntikan logam. Tesis Sarjana. FKEJ. UKM, Bangi.
- Raman, R., Slike III, W. and German, R.M., 1993, Homogeneity of mixed feedstock in powder injection molding, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 5: 1-16.