

# PENGOPTIMUMAN PARAMETER PENGACUAN BAGI MENGURANGKAN KECACATAN JASAD ANUM PROSES PENGACUAN SUNTIKAN LOGAM(MIM)

(Date received: 20.7.2007)

Khairur Rijal Jamaludin\*, Norhamidi Muhamad, Mohd. Nizam Ab. Rahman, Sri Yulis M. Amin and Murtadhahadi

\*Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Kolej Sains dan Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia, City Campus, 54100 UTM Jalan Semarak, Kuala Lumpur

Kumpulan Penyelidikan Proses Persisan, Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan

\*Email: khairur@citycampus.utm.my

## ABSTRAK

Parameter penyuntikan bagi menyuntik bahan suapan MIM untuk mengurangkan kecacatan fizikal telah dioptimumkan dengan menggunakan tatacara ortogonal  $L_{27}(3^{13})$ . Parameter yang dioptimumkan adalah tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan, beban serbuk, suhu acuan, tekanan pegangan dan kadar penyuntikan. Adunan bahan suapan merupakan adunan serbuk logam SS316L dalam taburan bimodal yang diadunkan dengan bahan pengikat polietelena glikol (PEG), polymethyl methacrylate (PMMA), dan asid sterik sebagai bahan pengikat. Selain dari mengkaji parameter-parameter tunggal, interaksi bagi tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan dan beban serbuk juga turut dikaji. Analisis Anova-Pareto bagi nisbah isyarat hingar (S/N) yang terkecil terbaik digunakan untuk melihat pengaruh parameter-parameter yang dikaji. Keputusan menunjukkan interaksi di antara tekanan dan suhu penyuntikan mempunyai pengaruh yang tertinggi (19.39 %) diikuti interaksi di antara tekanan penyuntikan dan beban serbuk (17.77 %) dan, kadar penyuntikan (14.41 %). Di samping itu, kadar penyuntikan merupakan parameter tunggal yang mempunyai pengaruh besar ke atas kecacatan jasad anum sebanyak 14.41 %, manakala suhu penyuntikan dan tekanan pegangan mempunyai pengaruh yang amat kecil iaitu 0.27 % dan 0.58 % masing-masing. Keputusan kajian menunjukkan parameter penyuntikan optimum adalah seperti berikut: 350 bar (tekanan penyuntikan); 150 °C (suhu penyuntikan); 64 % isipadu (beban serbuk); 51 °C (suhu acuan); 700 bar (tekanan pegangan); dan 15 ccm/s (kadar penyuntikan). Nisbah hingar pada keadaan optimum adalah pada -2.46 dB  $\pm 2.05$  pada aras keyakinan 90 %. Parameter optimum ini telah disahkan dengan eksperimen pengesahan terhadap sepuluh sampel dan nisbah hingar yang diperolehi ialah -2.55 dB yang berada dalam julat keadaan yang optimum.

**Kata kunci:** Anova-Pareto, Pengacuan Suntikan Logam(MIM), Pengoptimuman, Taguchi, Nisbah S/N

## ABSTRACT

Injection molding parameters of the metal powder mixture has been optimised using  $L_{27}(3^{13})$  orthogonal array. Parameters optimized were injection pressure, injection temperature, powder loading, mold temperature, holding pressure and injection speed. Metal powder mixture used is a bimodal SS316L, and polyethylene glycol (PEG), polymethyl methacrylate (PMMA) and stearic acid as binder. Beside those, interactions of the injection pressure, injection temperature and powder loading were studied. Pareto-Anova analysis for the smallest the best signal to noise ratio (S/N) presents the significance of each parameters and interactions. Results shows that the interaction between injection pressure and temperature has highest significant percentage (19.39 %) followed by interactions between injection pressure and power loading (17.77 %) and, injection temperature and powder loading (14.41 %). Beside those, injection rate was the single parameter that greatly influences the green part defects of 14.41 %, while injection pressure and holding pressure were less significant of about 0.27 % and 0.58 % respectively. Results shows that the optimum injection parameter was as follows: 350 bar (injection pressure); 150 °C (injection temperature); 64 % volume (powder loading); 51 °C (mold temperature); 700 bar (holding pressure); and 15 ccm/s (injection rate). Signal noise ratio at the optimum condition was -2.46 dB  $\pm 2.05$  at 90 % confidence interval. The optimum parameter has been confirmed by the confirmation experiment to ten samples and its signal noise ratio obtained was -255 dB which, was within the optimal range.

**Key words:** Metal Injection Molding (MIM), Optimisation, Pareto-Anova, S/N ratio, Taguchi

## 1. PENGENALAN

Kebanyakan produk logam di pasaran dihasilkan dengan kaedah pembuatan konvensional. Bergantung kepada rumitnya produk logam tersebut, berbagai kaedah pembuatan digunakan seperti pemotongan logam, pengerudian, pencanaian, dan kimpalan. Kaedah-kaedah pembuatan ini memerlukan masa yang lama bagi menyiapkan sesuatu produk dan kosnya juga agak mahal.

Industri sedang mencari-cari satu kaedah pembuatan baru yang kos efektif bagi mengurangkan kos keseluruhan pembuatan. Kaedah pembuatan yang dikenali sebagai pengacuan suntikan logam (MIM) menawarkan alternatif proses pembuatan yang lebih kos efektif bagi pengeluaran secara komersial produk logam yang berbentuk kompleks. Bentuk yang kompleks dalam konteks ini adalah berdasarkan kepada sesuatu produk yang kos pembuatannya adalah bergantung sepenuhnya pada operasi pemesinan yang diperlukan bagi menghasilkan produk serta memenuhi spesifikasi yang dikehendaki. Bagaimanapun, kajian terperinci diperlukan bagi mendapatkan satu parameter proses yang optimum untuk menghasilkan produk MIM yang benar-benar menepati keperluan kualiti pada kos pembuatan yang minimum.

Penyelidik-penyelidik sebelum ini, seperti dijelaskan dalam literatur [1-3] telah mengoptimumkan parameter penyuntikan MIM dengan menggunakan kaedah cuba-jaya bagi proses penyuntikan menggunakan bahan suapan MIM yang menggunakan serbuk keluli tahan karat dengan taburan saiz partikel monomodal.

Kajian penghasilan jasad anum tanpa sebarang kecacatan yang boleh dilihat dengan mata kasar telah dilakukan oleh Murtadhahadi [3] dan Barriere *et al.* [4]. Kajian mereka yang dilakukan dengan kaedah cuba-jaya telah menghasilkan parameter penyuntikan yang optimum bagi penyuntikan bahan suapan keluli tahan karat 316L. Yang membezakan di antara kajian mereka hanyalah dari segi bahan pengikat yang digunakan, di mana Murtadhahadi [3] menggunakan bahan pengikat polietilena glikol (PEG) dan polymethyl methacrylate (PMMA) manakala Barriere *et al.* [4] menggunakan bahan pengikat komersial.

Kaedah rekabentuk eksperimen yang menggunakan rekabentuk faktorial dua tahap telah dilakukan oleh Zhao *et al.* [5] bagi pengoptimuman proses penyuntikan acuannya. Walaubagaimanapun, kajian Zhao *et al.* [5] ini adalah bagi proses penyuntikan acuan mikro dan parameter proses bagi pengacuan suntikan logam mikro ini sedikit berbeza dengan pengacuan suntikan logam yang lazim. Ini disebabkan produk yang dihasilkan dengan proses ini bersaiz mikro.

Lima parameter penyuntikan telah dikaji oleh Zhao *et al.* [5] iaitu suhu acuan, suhu penyuntikan, kadar penyuntikan, saiz penyusunan dan tempoh tekanan pegangan. Sebanyak lima dasuntikan dihasilkan bagi setiap percubaan. Jisim dan saiz jasad anum telah diambil sebagai ciri kualiti. Kajiannya mendapati bahawa saiz penyusunan dan tempoh tekanan pegangan merupakan parameter yang mempunyai pengaruh yang tinggi bagi menghasilkan jasad anum dengan ciri kualiti yang baik. Interaksi di antara kedua-dua parameter tersebut didapati mempunyai pengaruh yang kuat. Seterusnya, kajiannya mendapati sekiranya saiz penyusunan dan tempoh tekanan pegangan ditingkatkan, jasad anum yang lebih tumpat dan berdiameter lebih besar akan dapat dihasilkan. Kajian mereka mendapati bahawa kadar penyuntikan signifikan ke atas ciri kualiti yang diperlukan.

Kajian pengoptimuman parameter penyinteran bagi MIM telah dijalankan oleh Ji *et al.* [6] dengan menggunakan kaedah

DOE Taguchi. Kajian tersebut dilakukan bagi penyinteran jasad perang yang dihasilkan dengan serbuk keluli tahan karat 316 L pengatoman air bersaiz median,  $D_{50}$  6  $\mu\text{m}$ . Parameter yang dikaji merupakan parameter tunggal yang tidak berinteraksi iaitu suhu penyinteran, kadar pemanasan, tempoh penyinteran dan atmosfera penyinteran ke atas ketumpatan akhir sampel.

Bagaimanapun, kajian pengoptimuman proses penyuntikan MIM dengan menggunakan kaedah DOE Taguchi masih lagi belum dilakukan oleh pengkaji dalam bidang ini apatah lagi kajian yang menggunakan serbuk logam dalam taburan bimodal yang menggunakan bahan pengikat polietilena glikol (PEG) dan polymethyl methacrylate (PMMA).

Kajian bagi proses MIM yang menggunakan serbuk keluli tahan karat 316L dengan bahan pengikat PEG dan PMMA telah dilakukan oleh Mohd Afian Omar [1], Murtadhahadi [3] dan Murtadhahadi *et al.* [7].

Mohd Afian Omar [1] mengkaji mengenai penggunaan bahan pengikat komposit yang terdiri daripada PEG dan PMMA dalam proses MIM. Beliau mengkaji mengenai kesan komposisi bahan pengikat tersebut terhadap serbuk logam yang mempunyai dua saiz median berbeza. Di samping itu, kesan taburan saiz partikel serbuk logam terhadap proses pengacuan dan sifat jasad anum juga dikaji oleh beliau. Dalam kajian yang sama, Mohd. Afian Omar [1] telah mempelbagaikan komposisi bahan pengikat dan asid sterik bagi melihat kesannya terhadap proses pengacuan suntikan logam dan sifat jasad anum yang dihasilkan. Asid sterik digunakan sebagai agen pelincir bagi proses ini.

Dalam kajian yang lain, Murtadhahadi [3] dan Murtadhahadi *et al.* [7] telah mengkaji mengenai parameter penyuntikan bagi proses pengacuan suntikan logam yang menggunakan bahan suapan keluli tahan karat 316L pengatoman gas dengan PEG dan PMMA. Eksperimen yang dilakukan dengan kaedah cuba-jaya ini telah mengkaji mengenai kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan suhu acuan terhadap sifat fizikal jasad anum yang dihasilkan. Kertas kerja ini membentangkan kajian penulis mengenai pengoptimuman parameter penyuntikan proses MIM yang sebenarnya merupakan lanjutan dari kajian yang dilakukan oleh penyelidik-penyelidik sebelum ini [1;3;7].

Bagaimanapun, kajian ini akan menggunakan serbuk keluli tahan karat SS316L pengatoman gas dalam taburan bimodal yang terdiri daripada 70 % jisim serbuk kasar dan bahan pengikatnya adalah dari jenis yang sama digunakan oleh Mohd. Afian Omar [1], Murtadhahadi [3] dan Murtadhahadi *et al.* [7].

Analisis Anova-Pareto bagi parameter penyuntikan tunggal dan yang berinteraksi di antara dua parameter akan dibincangkan dalam kertas kerja ini. Seterusnya, parameter penyuntikan yang optimum akan dikenalpasti dan, nilai nisbah isyarat hingar (S/N) bagi keadaan optimum akan ditentukan. Eksperimen pengesahan dijalankan bertujuan untuk menguji kebolehppercayaan analisis ini.

## 2. KAEDAH REKA BENTUK EKSPERIMEN (DOE) TAGUCHI

Kaedah Taguchi telah dibangunkan oleh Dr Genichi Taguchi [8]; kaedah ini telah digunakan secara meluas dalam analisis kejuruteraan dan pembuatan bagi mengoptimumkan ciri prestasi dan ciri kualiti di antara gabungan beberapa parameter yang mempengaruhi prestasi dan kualiti [9]. Kaedah Taguchi ini telah terbukti sebagai satu alat yang berkesan bagi membangunkan sistem dan proses yang berkualiti tinggi. Ianya juga memperkenalkan pendekatan berintergrasi yang mudah dan cekap bagi mendapatkan

Julat terbaik bagi reka bentuk kualiti, prestasi dan keberkesanan kos [10, 11].

Terdapat tiga peringkat dalam kaedah Taguchi, seperti reka bentuk sistem, reka bentuk parameter dan reka bentuk toleran. Rekabentuk sistem melibatkan penggunaan maklumat saintifik dan kejuruteraan yang diperlukan bagi menghasilkan produk. Reka bentuk sistem pula digunakan bagi menentukan dan menganalisis toleran bagi kombinasi parameter yang optimum yang diperolehi daripada reka bentuk parameter. Reka bentuk parameter pula digunakan untuk mendapatkan tahap optimum bagi parameter proses dan seterusnya membangunkan ciri kualiti dan menentukan nilai parameter produk yang bergantung kepada nilai parameter proses [9].

Kertas kerja ini ditulis bagi menjelaskan secara terperinci bagaimana reka bentuk parameter dibangunkan untuk mendapatkan tahap optimum parameter proses MIM dan seterusnya menggunakan kaedah Pareto-Anova untuk mendapatkan signifikansi parameter dikaji terhadap ciri kualiti jasad anum yang dihasilkan.

Reka bentuk sistem yang digunakan dalam kertas kerja ini merupakan tahap-tahap bagi setiap parameter proses manakala reka bentuk toleran pula adalah julat had atas dan bawah bagi nilai S/N pada keadaan yang optimum. Julat ini adalah berdasarkan kepada aras keyakinan dan lazimnya diambil di antara 90 -99 % [12].

### 3. EKSPERIMEN

#### 3.1 PENYEDIAAN SAMPEL

Serbuk keluli tahan karat 316L pengatoman gas yang diguna dalam kajian ini bersaiz median ( $D_{50}$ ) 19.606 dan 11.225  $\mu\text{m}$ . Adunan PMMA, PEG dan asid sterik (pelincir) digunakan sebagai bahan pengikat dengan nisbah 73% jisim PEG; 25% jisim PMMA; dan 2% jisim asid sterik.

Adunan serbuk keluli tahan karat dengan bahan pengikat ini diadunkan selama 95 minit dengan menggunakan mesin pengadun jenis bilah sigma [13]. Pada peringkat permulaan, emulsi PMMA akan disediakan dengan mengadunkan serbuk PMMA bersama aseton selama 15 minit. Pada masa yang sama, serbuk keluli diadunkan bersama-sama asid sterik pada suhu bilik oleh mesin pengadun selama 5 minit.

Seterusnya emulsi PMMA dimasukkan ke dalam mesin pengadun dan terus diadunkan bersama-sama adunan yang sedia ada dalam mesin pengadun selama 15 minit pada suhu bilik. Ini bertujuan untuk mengelak wujudnya aglomerat emulsi PMMA dan serbuk keluli tahan karat dalam adunan. Seterusnya PEG dimasukkan ke dalam mesin pengadun dan ianya diteruskan selama 75 minit pada suhu 70 °C. Akhir sekali, bahan suapan berbentuk granul akan dihasilkan dengan menggunakan mesin penghancur.

Bahan suapan ini akan disuntik dengan menggunakan mesin pengacuan suntikan logam Battenfeld BA 250 CDC bagi menghasilkan sampel berbentuk bar tegangan berdasarkan piawai MPIF 50.

#### 3.2 Eksperimen dengan menggunakan Tatacara Ortogonal

Tatacara ortogonal Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan parameter penyuntikan bahan suapan ini. Setiap parameter akan mempunyai tiga tahap seperti ditunjukkan Jadual 1.

Selain daripada itu, interaksi parameter-parameter tersebut seperti interaksi di antara tekanan penyuntikan, suhu penyuntikan

dan beban serbuk akan dikaji. Kesemua parameter tunggal dan interaksi parameter yang dikaji menghasilkan darjah kebebasan sebanyak 24 dan ini menunjukkan bahawa tatacara ortogonal Taguchi  $L_{27}$  adalah yang paling sesuai digunakan. Graf linear bagi  $L_{27}$  akan menentukan kedudukan parameter-parameter tersebut di lajur tertentu dalam tatacara ortogonal (Lampiran 1).

Ciri kualiti jasad anum yang dikaji ialah kecacatan fizikal yang boleh dilihat pada mata kasar, dan ianya dinilai berdasarkan kepada skor yang ditunjukkan oleh Jadual 2.

Nisbah isyarat hingar (S/N) berdasarkan yang terkecil adalah terbaik digunakan bagi mengkaji parameter penyuntikan yang optimum.

**JADUAL 1: Parameter Penyuntikan yang dikaji**

Tekanan penyuntikan, A (bar)	350 – 450 – 550
Suhu penyuntikan, B (°C)	130 – 140 – 150
Beban serbuk, C (%isipadu)	64 – 64.5 – 65
Suhu acuan, D (°C)	45 – 48 – 51
Tekanan pegangan, E (bar)	700 – 900 – 1100
Kadar penyuntikan, F (ccm/s)	10 – 15 – 20

**JADUAL 2: Skor bagi Kecacatan**

Jenis kecacatan	Skor
Garis kimpal	1
Pengisian tidak penuh	3
Pemisahan bahan pengikat	0.5
Bahan pengikat terbakar	0.5
Anum pecah semasa acuan dibuka	3
Penyusutan bentuk	3
Bengkok	3
Serpihan pada get	2
<i>Flashing</i>	0.5
Anum patah semasa ditolak keluar	3

### 4. KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Eksperimen dijalankan dengan ulangan sebanyak lima dasuntikan bagi setiap percubaan (Lampiran 1). Skor kecacatan seperti ditunjukkan Jadual 2 akan diberikan ke atas jasad anum yang dihasilkan. Jumlah skor bagi setiap ulangan ditunjukkan

dalam Lampiran 1. Skor-skor ini seterusnya ditentukan nilai nisbah isyarat hingarnya (S/N) dengan menggunakan persamaan (1):

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \quad (1)$$

di mana, MSD ialah kuasa dua min sisihan bagi ciri kualiti yang dikaji (jumlah skor bagi setiap das suntikan). Nisbah S/N terbahagi kepada tiga peringkat iaitu nominal terbaik, terkecil terbaik dan terbesar terbaik, digunakan apabila ciri kualiti yang dikaji berterusan dan mempunyai hingar. Memandangkan matlamat kajian ini adalah untuk mendapatkan parameter proses yang optimum bagi mengurangkan kecacatan fizikal jasad anum, maka nisbah S/N yang paling sesuai digunakan adalah yang terkecil terbaik seperti ditunjukkan persamaan (2):

$$\text{MSD} = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N Y_i^2 \right) \quad (2)$$

di mana  $Y_i$  ialah jumlah skor yang diberikan bagi setiap das suntikan dan N ialah ulangan yang dilakukan pada setiap percubaan yang dilakukan.

Kaedah analisis Anova-Pareto seperti dalam Lampiran 2 digunakan untuk mengkaji pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap ciri kualiti yang dikaji. Rajah Pareto dalam Lampiran 2 (v) menunjukkan interaksi  $A \times B$  mempunyai pengaruh yang terbesar terhadap kecacatan jasad anum iaitu sebanyak 19.39 % diikuti dengan interaksi  $A \times C$  (17.77 %), F (14.41 %), C (11.69 %),  $B \times C$  (10.95 %), D (7.66 %), dan A (4.72 %).

Parameter E dan B mempunyai pengaruh yang terlalu sedikit iaitu sebanyak 0.58 % dan 0.27 % sahaja. Bagaimanapun, analisis Anova-Pareto menunjukkan pengaruh ralat sebanyak 12.56 % dan ralat ini berpunca dari lajur-lajur yang tidak berparameter seperti lajur 4, 7, 10 dan 11 yang ditunjukkan dalam Lampiran 1.

Bagi mendapatkan parameter-parameter yang signifikan, kaedah Anova-Pareto ini mengambilkira nilai kumulatif sebanyak  $\pm 90 \%$  yang dipilih dari sebelah kiri rajah Anova-Pareto. Ini ditunjukkan oleh Lampiran 2 (vii). Jelas sekali, walaupun parameter E dan B mempunyai pengaruh yang amat sedikit, ianya masih lagi signifikan kerana nilai kumulatifnya masih kurang dari  $\pm 90 \%$ .

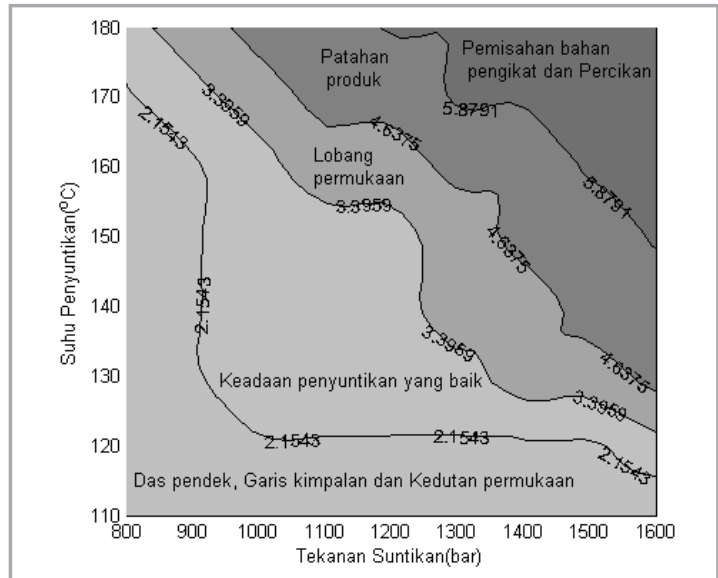
Lampiran 2 menunjukkan bahawa kesemua interaksi iaitu interaksi  $A \times B$ ,  $A \times C$  dan  $B \times C$  mempunyai pengaruh yang agak signifikan terhadap kecacatan jasad anum. Oleh itu, parameter yang optimum hendaklah dipilih daripada jadual dua hala seperti ditunjukkan Lampiran 2 (viii). Jadual dua hala menunjukkan  $B_2C_0$ ,  $A_0C_0$ ,  $A_2B_0$ , merupakan parameter berinteraksi yang optimum.

Parameter optimum bagi parameter tunggal seperti D, E dan F diambil berdasarkan kepada jumlah nisbah S/N pada setiap tahap yang ditunjukkan Lampiran 2 (ii). Jumlah nisbah S/N yang paling tinggi menunjukkan parameter tersebut adalah optimum. Contohnya, seperti ditunjukkan Lampiran 2 (i dan ii), lajur 9 bagi suhu acuan (D), tahap ke dua menunjukkan jumlah S/N yang lebih tinggi berbanding tahap 0 dan 1. Maka, tahap 2 adalah optimum bagi suhu acuan (D).

Setelah diambil kira parameter-parameter yang berinteraksi dan tidak berinteraksi, maka parameter penyuntikan optimum yang mampu mengurangkan kecacatan jasad anum adalah seperti ditunjukkan Jadual 3. Eksperimen pengesahan telah dilakukan bagi menilai kesahihan parameter yang telah dioptimumkan dan keputusannya menunjukkan nisbah S/N yang diperolehi berada dalam julat keadaan optimum pada aras keyakinan 90 % seperti ditunjukkan Jadual 3.

**JADUAL 3: Parameter Penyuntikan yang Optimum dan keputusan eksperimen pengesahan**

$A_0$	Tekanan Penyuntikan, 350 bar
$B_2$	Suhu Penyuntikan, 150 °C
$C_0$	Beban serbuk, 64 %V
$D_2$	Suhu acuan, 51 °C
$E_0$	Tekanan Pegangan, 700 bar
$F_1$	Kadar penyuntikan, 15 ccm/s
	Keadaan optimum: -2.46 dB $\pm 2.05$ (aras keyakinan 90 %)
	Keputusan eksperimen pengesahan: -2.55 dB (berada dalam julat keadaan optimum)



**RAJAH 1: Pengoptimuman proses penyuntikan dengan kaedah cuba-jaya oleh Murtadhahadi [3]**

Keputusan pengoptimuman dengan menggunakan kaedah cuba-jaya yang dilakukan oleh Murtadhahadi [3] dengan menggunakan bahan pengikat yang sama ditunjukkan Rajah 1. Bagaimanapun, tekanan penyuntikan optimum yang diperolehi oleh Murtadhahadi [3] agak tinggi berbanding yang diperolehi oleh penulis. Ini disebabkan oleh rekabentuk acuan yang berbeza. Suhu penyuntikan optimum yang ditunjukkan Jadual 3 adalah setara dengan yang diperolehi oleh Murtadhahadi [3]. Perhatikan dalam Rajah 1, suhu dan tekanan penyuntikan adalah saling interaksi di antara satu dengan lain di mana sebarang perubahan terhadap suhu dan tekanan penyuntikan akan memberikan kesan ke atas kualiti jasad anum yang dihasilkan. Ini adalah seiring dengan yang ditunjukkan oleh Lampiran 2 di mana interaksi tertinggi merupakan interaksi di antara suhu dan tekanan penyuntikan ( $A \times B$ ) iaitu 19.39 %. Bagaimanapun, interaksi di antara tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan dengan beban serbuk tidak dilakukan oleh Murtadhahadi [3].

Kajian oleh Mohd. Afan Omar [1] pula menunjukkan bahawa suhu penyuntikan yang lebih tinggi diperlukan bagi menyuntik bahan suapan berbeban serbuk yang lebih tinggi seperti ditunjukkan Jadual 4. Keputusan yang dihasilkan oleh Mohd. Afan Omar [1] ini menunjukkan bahawa terdapat interaksi di antara suhu penyuntikan dengan beban serbuk dan ini adalah signifikan dengan hasil kajian ini yang menunjukkan kedua-dua parameter tersebut adalah saling interaksi sebanyak 10.95 %.



**JADUAL 4: Suhu penyuntikan pada beban serbuk yang berbeza dengan tekanan penyuntikan dikekalkan pada 440 bar [1]**

Beban serbuk (% isipadu)	Suhu penyuntikan yang sesuai, (°C)	
	Serbuk kasar	Serbuk halus
60.5	110	115
63.5	115	120
65.5	130	138

## 5. KESIMPULAN

- Interaksi di antara tekanan dan suhu penyuntikan mempunyai pengaruh yang besar terhadap penghasilan kecacatan jasad anam.
- Beban serbuk juga saling berinteraksi dengan tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan.
- Kadar penyuntikan merupakan parameter tunggal yang mempunyai pengaruh besar ke atas kecacatan jasad anam.
- Suhu penyuntikan dan tekanan pegangan kurang mempengaruhi kecacatan jasad anam.
- Keputusan bagi interaksi di antara tekanan dengan suhu penyuntikan serta, interaksi di antara suhu penyuntikan dengan beban serbuk yang diperolehi dalam kajian ini juga sama seperti diperolehi oleh kajian-kajian penyelidikan lain.
- Eksperimen pengesahan telah mengesahkan kebenaran parameter penyuntikan yang optimum yang diperolehi daripada kajian ini dan ianya menunjukkan nisbah S/N yang berada dalam julat keadaan optimum. Maka parameter penyuntikan optimum ditunjukkan Jadual 3 adalah sah digunakan bagi menghasilkan jasad anam yang bebas dari kecacatan fizikal. ■

## RUJUKAN

- Mohd. Afian Omar, "Injection molding of 316L stainless steel and NiCrSiB alloy powders using a PEG/PMMA binder" Ph.D Thesis. University of Sheffield, 1999.
- Muhammad Hussain Ismail, "Kesan pembebanan serbuk logam terhadap fenomena pemprosesan dalam pengacuan suntikan logam" Tesis Sarjana Sains. Universiti Kebangsaan Malaysia, 2002.
- Murtadhahadi, "Parameter penyuntikan bagi proses pengacuan suntikan logam bagi bahan suapan daripada SS 316L PEG, PMMA dan Asid Stearik" Tesis Sarjana Sains. Universiti Kebangsaan Malaysia, 2006.
- T. Barriere, B. Liu and J.C. Gelin, "Determination of the optimal process parameters in metal injection molding from experiment and numerical modeling" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 143-144, pp. 636-644, 2003.
- J. Zhao, R.H. Mayes, G. Chen, H. Xie, and P.S. Chan, "Effects of process parameters on the micro molding process" Polymer Engineering and Science, Vol. 43, No. 9, pp. 1542-1554, 2003.
- C.H. Ji, N.H. Loh, K.A. Khor and S.B. Tor, "Sintering study of 316L stainless steel metal injection molding parts using Taguchi method: final density" Materials Science and Engineering, Vol. A311, pp. 74-82, 2001.

- Murtadhahadi, Norhamidi Muhamad and Che Hassan Che Harun, "Kajian pengaruh parameter injeksi untuk bahan SS316L, PEG, PMMA dan asam stearik" Jurnal Teknologi Terpakai (Journal of Applied Technology), Vol. 3, No. 1, pp. 26-35, 2005.
- H. Oktem, T. Erzurumlu, and I. Uzman, "Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part" Materials and Design, Vol. 28, pp. 1271-1278, 2007.
- G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, Taguchi's quality engineering handbook, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- G. Taguchi, Introduction to quality engineering, New York: Mc Graw-Hill, 1990.
- C.P. Fung, and P.C. Kang, "Multi-response optimization in friction properties of PBT composites using Taguchi method and principle component analysis" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 170, pp. 602-610, 2005.
- R. Roy, A primer on the Taguchi Method, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1990.
- Muhammad Hussain Ismail, Nor Hafiez Mohd. Nor and Junaidah Jai, "Characterisation of Homogeneous Feedstock for Metal Injection Molding Process" Short Term Research Report, University Technology MARA, 2005.

## PROFILES



**ENGR. KHAIRUR RIJAL JAMALUDIN**, Grad.IEM  
Jabatan Kej. Mekanikal,  
Kolej Sains dan Teknologi,  
Universiti Teknologi Malaysia,  
City Campus, Jalan Semarak,  
54100 Kuala Lumpur



**ASSOC PROF. DR NORHAMIDI MUHAMAD**  
Jabatan Kej. Mekanik dan Bahan,  
Fakulti Kejuruteraan,  
Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 Bangi, Selangor



**DR MOHD. NIZAM AB. RAHMAN**  
Jabatan Kej. Mekanik dan Bahan,  
Fakulti Kejuruteraan,  
Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 Bangi, Selangor

**SRI YULIS M. AMIN**  
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan,  
Universiti Tun Hussein Onn,  
86400 Parit Raja,  
Batu Pahat, Johor

**IR. MURTADHAHADI**  
Jurusan Teknik Mesin,  
Politeknik Negeri Lhokseumawe,  
Aceh, Indonesia

LAMPIRAN 1: Tatacara Ortogonal Taguchi yang menunjukkan nilai skor dan nisbah isyarat hingar berdasarkan yang terkecil terbaik

Percubaan	Parameter													Jumlah skor bagi setiap ulangan					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ulang 1	Ulang 2	Ulang 3	Ulang 4	Ulang 5	S/N (dB)
	A	B	A X B	e	C	A X C	e	B X C	D	e	e	E	F						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	4.0	5.5	3.5	4.0	-12.78
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3.5	4.0	3.5	3.5	6.5	-12.79
3	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3.5	3.5	4.0	3.5	4.0	-11.38
4	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2.0	2.0	4.5	2.0	3.0	-9.16
5	0	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	2.0	3.5	3.5	3.5	3.0	-9.98
6	0	1	1	1	2	2	0	0	0	1	1	1	1	3.5	3.5	4.0	3.5	4.0	-11.38
7	0	2	2	2	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1.0	1.5	2.0	1.0	1.0	-2.67
8	0	2	2	2	1	1	1	0	0	2	2	2	2	2.0	4.0	2.0	4.0	6.5	-12.16
9	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	6.5	5.5	3.5	4.5	5.0	-14.15
10	1	0	1	2	0	1	2	1	2	2	0	1	2	4.5	8.5	2.0	6.5	5.0	-15.15
11	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0	8.5	4.0	3.5	6.0	5.5	-15.23
12	1	0	1	2	2	0	2	0	1	2	0	0	1	2.0	4.0	2.5	3.0	3.0	-9.47
13	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1	2.0	2.0	2.5	2.0	2.0	-6.48
14	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	-12.27
15	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	6.0	1.5	4.0	3.0	4.0	-12.00
16	1	2	0	1	0	1	2	0	1	1	1	2	0	4.0	4.0	4.0	2.0	3.5	-11.09
17	1	2	0	1	1	2	0	1	2	2	2	0	1	2.5	4.0	4.5	4.0	6.5	-13.04
18	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	0	1	2	3.5	3.0	5.5	3.5	4.0	-12.03
19	2	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	4.5	2.0	1.5	2.5	2.5	-8.66
20	2	0	2	1	1	0	1	0	2	1	1	0	2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	-7.28
21	2	0	2	1	2	1	2	1	0	2	2	1	0	3.5	6.0	3.0	4.0	4.0	-12.52
22	2	1	0	2	0	2	1	0	2	2	2	1	0	6.5	3.5	4.5	6.0	6.0	-14.18
23	2	1	0	2	1	0	2	1	0	0	0	2	1	3.5	2.5	4.0	3.5	3.5	-10.99
24	2	1	0	2	2	1	0	2	1	1	1	0	2	8.5	2.0	8.0	6.0	6.0	-15.94
25	2	2	1	0	0	2	2	1	0	1	1	0	2	5.5	3.5	3.5	4.0	4.0	-12.39
26	2	2	1	0	1	1	2	2	1	2	2	1	0	2.5	2.0	2.0	7.5	7.5	-12.38
27	2	2	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	1	4.5	6.5	6.5	6.0	6.0	-15.34

LAMPIRAN 2: Analisis Pareto-Anova dan pengoptimuman bagi parameter penyuntikan acuan logam

Faktor dan interaksi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Jumlah
(i)	A	B	A X B	e	C	A X C	e	B X C	D	e	e	E	F	
(ii)	Jumlah pada paras	-96.48	-105.3	-114.22	-107.81	-88.76	-108.95	-113.5	-105.93	-105.96	-111.34	-101.52	-114.3	
	1	-106.74	-110.49	-95.15	-106.11	-111.45	-103.66	-106.65	-112.23	-105.91	-100.78	-105.39	-90.81	-312.93
	2	-109.71	-105.3	-88.2	-114.21	-112.69	-100.29	-92.75	-94.77	-101.03	-100.78	-106.02	-107.82	
(iii)	Jumlah Kuasa dua perbezaan (S)	289.1214	16.5888	1187.7974	383.8952	1089.0186	114.3366	670.695	469.0872	48.1218	223.0272	35.6238	883.1106	6126.9514
(iv)	Peratus Sumbangan (%)	4.72	0.27	19.39	6.27	17.77	1.87	10.95	7.66	0.79	3.64	0.58	14.41	100.00
(v)	Rajah Pareto													
(vi)	Faktor dan Interaksi	A X B	A X C	F	C	B X C	A	E	B	error				
(vii)	Kumulatif peratusan sumbangan (%)	19.39	37.16	51.57	63.26	74.21	81.87	87.17	87.44	100				
(viii)	Semakan bagi interaksi	B2C0 optimum		B1	B2	A0 optimum		A1	A2	A2B0 optimum		A1	A2	
		C0	-12.2	-9.94	-8.72	B0	-12.32	-13.28	-9.49	B1	-10.18	-10.25	-13.71	
		C1	-11.77	-11.08	-12.53	C1	-11.64	-13.51	-10.22	B2	-9.66	-12.05	-13.37	
		C2	-11.12	-13.11	-13.84	C2	-12.31	-11.17	-14.6					
(ix)	Gabungan optimum bagi paras faktor	A0 B2 C0 D2 E0 F1												
(x)	Nota	Faktor yang signifikan dan interaksi dipilih dari kiri daripada Rajah Pareto dengan kumulatifnya lebih kurang 90 %. Sekiranya interaksi signifikan, paras optimum dipilih daripada jadual dua hala.												
(xi)	Kesediaan optimum yang menyeluruh	A0: Tekanan Penyuntikan, 350 bar	B2: Suhu Penyuntikan, 150 °C	C0: Beban serbuk, 64 %v	F1: Halaju Penyuntikan, 15 ccm/s	D2: Suhu acuan, 51 °C	E0: Tekanan							