

Perp. Sultanah Zanariah, UTM



30000010223616

10504953

KESAN SAIZ DAN BENTUK PARTIKEL SERBUK SS316L TERHADAP PARAMETER
PENGACUANAN SUNTIKAN LOGAM MENGGUNAKAN
REKABENTUK EKSPERIMEN

KHAIRUR RIJAL BIN JAMALUDIN

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2009

PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah kepada Allah S.W.T kerana memberikan saya kesihatan yang baik, kecukupan masa, dan kematangan fikiran untuk menyiapkan kajian ini. Jutaan terima kasih yang tidak terhingga dan jasa budi yang dikenang ke akhir hayat yang mungkin tidak terbalas oleh saya kepada penyelia utama Prof. Madya Dr. Norhamidi Muhamad atas bantuan yang begitu besar, bimbingan, teguran dan nasihat yang begitu berguna sepanjang kajian ini. Tidak lupa juga kepada penyelia bersama saya iaitu Dr Mohd Nizam Ab. Rahman menerusi kepakaran yang beliau ada telah banyak membantu dan menguatkan lagi semangat saya untuk menyiapkan kajian ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada rakan-rakan seperjuangan dalam Kumpulan Penyelidikan Pembuatan Termaju di Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, UKM, terutamanya Murtadahadi, Mohd Halim Irwan Ibrahim, Nor Hafiez Mohamad Nor, Sufizar Ahmad dan Sri Yulis M. Amin yang sentiasa berkongsi pendapat.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada En Muhammad Hussain Ismail dari Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UiTM atas kerjasama yang telah diberikan dalam menjayakan eksperimen awalan kajian ini. Tidak dilupakan ucapan terima kasih juga dihulurkan kepada semua kakitangan makmal Jabatan Kejuruteraan Mekanik & Bahan, Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, UKM terutamanya En Mohd Rohaizat Mat Tahir, En Rosli Ahmad, En Rosli Yusof, En Mohd Yusof Jamaluddin, En Abdullah Sharif, En Yusri Marzuki dan ramai lagi yang memberikan bantuan bagi menjayakan kajian ini.

Peruntukan penyelidikan yang diperolehi dari Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar, melalui vot projek: UKM-KK-02-FRGS0013-2006 amatlah dihargai. Begitu juga dengan pihak Universiti Teknologi Malaysia selaku majikan dan Kementerian Pengajian Tinggi di atas pemberian biasiswa SLAB di sepanjang tempoh pengajian ini.

Akhir kata, terima kasih kepada isteri tersayang Hayati@Habibah Abdul Talib, kedua ibu saya yang dikasihi Che Khatipah Che Muda dan ibu mentua Halijah Suliman yang sentiasa memberi dorongan dan semangat sepanjang pengajian saya.

ABSTRAK

Proses Pengacuanan Suntikan Logam sesuai untuk menghasilkan komponen yang kecil dan komplek yang memerlukan kekuatan tinggi pada kos berpututan dalam kuantiti yang besar. Proses ini menghasilkan komponen yang berketumpatan tinggi, komplek dan berbentuk jitu. Kajian ini bertujuan untuk mengoptimumkan parameter pemprosesan bagi setiap peringkat proses dengan pengoptimuman proses berdasarkan kepada teknik Rekabentuk Eksperimen, kaedah Taguchi. Analisis varian (ANOVA) dilakukan untuk menilai tahap signifikan setiap pembolehubah dan sumbangannya terhadap ciri kualiti yang dikaji. Ciri kualiti jasad anum seperti bebas dari kecacatan, mempunyai kekuatan dan ketumpatan yang tinggi, dan ketumpatan akhir selepas pensinteran adalah hasil yang diperolehi daripada proses pengoptimuman. Serbuk keluli tahan karat (SS316L) dalam taburan saiz partikel secara monomodal dan bimodal digunakan dalam kajian ini. Bahan pengikat yang digunakan ialah bahan pengikat rencam iaitu polietilena glikol (PEG) dan polimetilmelakrilate (PMMA). Sebelum jasad anum dihasilkan, penelitian sifat reologi bahan suapan dilakukan bertujuan untuk mendapatkan sifat reologi bahan suapan yang sesuai sebelum pengoptimuman parameter proses yang selanjutnya dilakukan. Dari kajian ini, kaedah penghasilan dan taburan saiz partikel didapati mempengaruhi parameter pemprosesan. Bagi taburan saiz partikel secara bimodal yang menggunakan serbuk yang dihasilkan secara kaedah pengatoman air, beban serbuk, suhu acuan, tekanan pegangan, interaksi di antara tekanan dengan suhu penyuntikan serta interaksi di antara tekanan penyuntikan dengan beban serbuk adalah signifikan pada aras seerti yang sangat tinggi iaitu $\alpha = 0.01$ terhadap kesemua ciri-ciri kualiti jasad anum yang dikaji. Namun, bagi serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman gas, suhu acuan, kadar penyuntikan serta interaksi di antara tekanan dengan suhu penyuntikan adalah parameter yang signifikan. Bagi taburan saiz partikel secara monomodal yang menggunakan serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman air pula, suhu acuan dan tempoh pegangan didapati signifikan bagi serbuk halus. Bagaimanapun, tahap signifikan yang lebih rendah didapati pada serbuk kasar iaitu $\alpha = 0.025$ dengan parameter yang signifikan adalah tempoh pegangan dan, interaksi di antara suhu penyuntikan dengan suhu acuan. Pengoptimuman parameter penyuntikan dan pensinteran yang dilakukan dalam kajian ini telah berjaya meningkatkan ketumpatan sinter padatan serbuk halus yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman gas dalam taburan saiz partikel secara monomodal sehingga ke 99.88 % ketumpatan teori, manakala bagi padatan serbuk halus yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman air dalam taburan saiz partikel yang sama sehingga ke 98.75 % ketumpatan teori. Begitu juga dengan padatan serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman gas dalam taburan saiz partikel secara bimodal telah berjaya ditingkatkan sehingga ke 99.94 % ketumpatan teori dan padatan serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman air dalam taburan saiz partikel yang sama sehingga ke 98.66 % ketumpatan teori. Keputusan yang dihasilkan oleh kajian ini telah menghasilkan ketumpatan yang lebih tinggi dari kajian sebelumnya dan ini jelas menunjukkan bahawa pengoptimuman parameter pengacuanan dan pensinteran yang dilakukan dengan kaedah Taguchi telah meningkatkan sifat mekanikal jasad anum serta ketumpatan jasad sinter sehingga menghampiri nilai ketumpatan teori bahan SS316L.

INFLUENCE OF SS316L POWDER PARTICLE SIZE AND SHAPE ON METAL INJECTION MOLDING PARAMETERS USING DESIGN OF EXPERIMENT

ABSTRACT

The Metal Injection Moulding (MIM) process is suitable for producing relatively small and complex components that require high strength and cost viability. This process, carried out in large batches, produces high density, complex and accurate shaped parts. This study attempts to optimise the processing parameters for each stage of the process using the optimisation process based on a Design of Experiment (DOE) technique, the Taguchi Method. The analysis of variance (ANOVA) is performed in order to evaluate the significance of each variable and its contribution to the quality characteristic. The green part quality characteristics such as defect free, higher green strength, green density and the final density after sintering are results obtained from the optimisation process. Water and gas atomised stainless steel powder (SS316L) in mono-modal and bimodal particle size distributions were used in this study. The binder system used is the composite binder consisting of polyethylene (PEG) and polymethyl methacrylate (PMMA). Prior to the injection moulding of the green parts, rheological investigation of the feedstocks was performed in order to obtain the suitable rheological properties before optimising the remaining processing parameter. This study exhibits that the method of metal powder production as well as the particle size distribution influences the processing parameter. The high level of significance of powder loading, mould temperature, holding pressure, interaction between injection pressure and temperature, as well as the interaction between injection pressure and powder loading to the green part quality characteristics at $\alpha = 0.01$ was demonstrated by the water atomised powder in bimodal particle size distributions. However, for the gas atomised powder, the mould temperature, injection rate as well as the interaction between injection pressure and temperature is significant. In addition, for the water atomised powder with mono-modal particle size distribution, the mould temperature and holding pressure are significant for the fine powder. However, lower significant level, $\alpha = 0.025$ was obtained for coarse powder where the holding time and the interaction of the injection and mould temperature are the significant parameters. The optimisation of the injection and sintering parameters made in this study has enabled to improve the sintered density of the fine mono-modal gas atomised powder compact to 99.88 % of the theoretical density, while the sintered density of the fine mono-modal water atomised powder compact improved to 98.75 % of the theoretical density. In addition, the sintered density of the gas atomised powder compact in bimodal particle size distribution also improved to 99.94 % of the theoretical density while the water atomised powder compact under the same particle size distribution improved to 98.66 % of the theoretical density. The study results showed a better sintered density as compared to the previous studies and it is demonstrated that the optimisation of the moulding and sintering parameter with the Taguchi Method has enabled to improve the green part's mechanical properties as well as the sintered density that was close to SS316L theoretical density.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	xiv
SENARAI ILUSTRASI	xxiii
SENARAI SIMBOL	xxxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Permasalahan Kajian	3
1.3 Tujuan Kajian	4
1.4 Skop Kajian	5
1.5 Kepentingan Kajian	6
1.6 Susun atur tesis	7
BAB II KAJIAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Pengenalan	9
2.2 Bahan Suapan	10
2.2.1 Saiz dan bentuk partikel	11
2.2.2 Bahan pengikat MIM	15
2.2.3 Beban serbuk bagi bahan suapan MIM	21
2.2.4 Penyediaan bahan suapan	25

2.3	Sifat Reologi Bahan Suapan	27
	2.3.1 Analisis sifat reologi bahan suapan	29
2.4	Proses dan Parameter Penyuntikan	30
2.5	Proses Penyahikatan	35
	2.5.1 Proses penyahikatan terma (pirolisis terma)	35
	2.5.2 Proses penyahikatan larutan	39
2.6	Pensinteran	43
2.7	Masalah Proses MIM	51
	2.7.1 Kecacatan proses pengacuanan	51
	2.7.2 Masalah proses penyahikatan	53
	2.7.3 Masalah proses pensinteran	54
2.8	Kesimpulan Bab	55
BAB III METODOLOGI PENYELIDIKAN		
3.1	Pengenalan	58
3.2	Bahan Dan Peralatan Eksperimen	58
	3.2.1 Bahan	58
	3.2.2 Peralatan	65
3.3	Penyediaan Bahan Suapan	69
3.4	Kajian Penggunaan Emulsi PMMA Ke Atas Bahan Suapan	71
3.5	Penilaian Bahan Suapan Berdasarkan Kepada Sifat Reologinya	72
3.6	Kajian Kesan Suhu Penyuntikan Serta Tekanan Penyuntikan Terhadap Kekuatan Dan Ketumpatan Jasad Anum	74
	3.6.1 Penentuan kekuatan bagi jasad anum dan jasad perang MPIF 15	74
	3.6.2 Penentuan ketumpatan jasad anum, jasad perang dan jasad sinter produk metallurgi serbuk MPIF 42	75
3.7	Pengoptimuman Proses Penyuntikan Dengan Kaedah Rekabentuk Eksperimen Taguchi	76

3.8	Pengaruh Saiz Serbuk dan Jenis Serbuk Terhadap Proses Penyahikatan Larutan, Proses Pirolisis Terma dan Ketumpatan Jasad Sinter	85
3.9	Kesimpulan	86
BAB IV	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: PENYEDIAAN BAHAN SUAPAN	
4.1	Pengenalan	87
4.2	Taburan Saiz Serbuk Logam	87
	4.2.1 Bentuk partikel serbuk logam	87
	4.2.2 Taburan saiz partikel	88
4.3	Pengaruh Emulsi PMMA Terhadap Bahan Suapan	94
	4.3.1 Penyediaan bahan suapan	94
	4.3.2 Analisis sifat reologi	96
4.4	Analisis Permeteran Graviti Haba (TGA) Bahan Suapan	99
4.5	Kesimpulan	101
BAB V	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: PENILAIAN BAHAN SUAPAN BERDASARKAN KEPADA SIFAT REOLOGI	
5.1	Pengenalan	103
5.2	Aspek Kebolehacuan Bahan Suapan Serbuk Pengatoman Gas	104
	5.2.1 Pengaruh suhu terhadap bahan suapan	105
	5.2.2 Sifat pseudo plastik bahan suapan	107
	5.2.3 Kepekaan bahan suapan terhadap perubahan suhu	111
	5.2.4 Kebolehacuan	114
5.3	Beban Serbuk, Saiz Dan Bentuk Partikel Terhadap Sifat Reologi Bahan Suapan Monomodal	116
	5.3.1 Kesan beban serbuk, saiz dan bentuk partikel terhadap kelikatan dan kadar ricih bahan suapan	116
	5.3.2 Kesan beban serbuk, saiz dan bentuk partikel terhadap indek tingkahlaku aliran	124
	5.3.3 Kesan beban serbuk, saiz dan bentuk partikel terhadap tenaga pengaktifan	127
5.4	Taburan Saiz Partikel Bimodal Terhadap Sifat Reologi	130

5.4.1	Kesan taburan saiz partikel bimodal terhadap kelikatan dan kadar ricih bahan suapan	131
5.4.2	Kesan taburan saiz partikel bimodal terhadap indek tingkahlaku aliran dan tenaga pengaktifan bahan suapan	133
5.5	Beban Serbuk Terhadap Sifat Reologi Bahan Suapan Bimodal	135
5.5.1	Kesan beban serbuk bahan suapan bimodal terhadap kelikatan dan kadar ricih	136
5.5.2	Kesan terhadap indek tingkahlaku aliran, tenaga pengaktifan dan indek kebolehacuan	140
5.6	Kesimpulan	144
BAB VI	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: KESAN SUHU PENYUNTIKAN SERTA TEKANAN PENYUNTIKAN TERHADAP KEKUATAN DAN KETUMPATAN JASAD ANUM	
6.1	Pengenalan	147
6.2	Kesan Suhu Penyuntikan, Tekanan Penyuntikan Serta Beban Serbuk Terhadap Ciri Kualiti Jasad Anum Serbuk SS316L Pengatoman Gas Bersaiz Kasar dan Halus	149
6.2.1	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap kekuatan lentur jasad anum	149
6.2.2	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum	158
6.3	Kesan Suhu Penyuntikan Terhadap Kualiti Jasad Anum Yang Menggunakan Bahan Suapan Serbuk SS316L Pengatoman Gas Dalam Taburan Bimodal	165
6.3.1	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap kekuatan lentur jasad anum	165
6.3.2	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum	170
6.4	Kesan Suhu dan Tekanan Terhadap Kualiti Jasad Anum Yang Menggunakan Bahan Suapan Serbuk SS3166L Pengatoman Air Bersaiz Kasar dan Halus	174
6.4.1	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum	174
6.4.2	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap kekuatan lentur jasad anum	181

6.5	Kesan Suhu Penyuntikan Terhadap Kualiti Jasad Anum Yang Menggunakan Bahan Suapan Serbuk SS316L Pengatoman Air Dalam Taburan Bimodal	189
6.5.1	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad anum	189
6.5.2	Kesan suhu penyuntikan, tekanan penyuntikan dan beban serbuk terhadap kekuatan lentur jasad anum	193
6.6	Kesan Suhu Penyuntikan Terhadap Taburan Ketumpatan Pada Jasad Anum	197
6.6.1	Taburan ketumpatan bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas	198
6.6.2	Taburan ketumpatan bagi jasad anum serbuk SS316L pengatoman air	202
6.7	Kesimpulan	205
BAB VII	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: PENGOPTIMUMAN PARAMETER PROSES PENYUNTIKAN	
7.1	Pengenalan	208
7.2	Pengoptimuman Parameter Proses Penyuntikan Bahan Suapan SS316L, Pengatoman Gas Dalam Taburan Bimodal	208
7.2.1	Kecacatan jasad anum	208
7.2.2	Kekuatan jasad anum	219
7.2.3	Ketumpatan jasad anum	226
7.2.4	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal	236
7.3	Kesan Saiz Partikel dan Taburan Partikel Terhadap Pengoptimuman Parameter Proses Penyuntikan Bahan Suapan SS316L Pengatoman Air	242
7.3.1	Kecacatan jasad anum	242
7.3.2	Ketumpatan jasad anum	250
7.3.3	Kekuatan jasad anum	257
7.4	Pengoptimuman Parameter Penyuntikan Menyeluruh Jasad Anum Serbuk Pengatoman Air	264
7.4.1	Tahap signifikan bagi faktor-faktor yang signifikan	265
7.4.2	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk halus	266
7.4.3	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk kasar	268

7.4.4	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum dalam taburan serbuk secara bimodal	271
7.5	Kesimpulan	274
BAB VIII	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: PENGARUH SAIZ SERBUK DAN JENIS SERBUK TERHADAP PROSES PENYAHIKATAN LARUTAN DAN PROSES PIROLISIS TERMA	
8.1	Pengenalan	275
8.2	Pengaruh Suhu Larutan Ke Atas Tempoh Penyahikatan Larutan	275
8.3	Pengaruh Taburan Partikel Serbuk dan Jenis Serbuk Terhadap Kadar Penyahikatan Larutan	278
8.4	Pengaruh Beban Serbuk Ke Atas Tempoh Penyahikatan Larutan	283
8.5	Analisis Varian Kesan Saiz Partikel dan Jenis Serbuk SS316 L Terhadap Proses Penyahikatan Larutan	286
8.5.1	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan saiz partikel serbuk SS316L pengataman gas dan pengataman air terhadap kadar penyahikatan larutan	286
8.5.2	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan jenis serbuk bagi serbuk SS316L terhadap kadar penyahikatan larutan	287
8.6	Prestasi Penyahikatan Larutan Menggunakan Kaedah Taguchi	289
8.7	Pembukaan Liang Pada Padatan Untuk Mengeluarkan PEG Semasa Proses Penyahikatan Larutan	296
8.8	Kekuatan dan Ketumpatan Jasad Perang Selepas Proses Penyahikatan Larutan	298
8.9	Kajian Prestasi Pirolisis Terma (Penyahikatan Terma) Dengan Kaedah Taguchi	304
8.10	Kesimpulan	316

BAB IX	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: KESAN SAIZ SERBUK, JENIS SERBUK DAN PARAMETER PENSINTERAN TERHADAP KETUMPATAN JASAD AKHIR MIM	
9.1	Pengenalan	317
9.2	Kesan suhu pensinteran terhadap ketumpatan dan pengecutan jasad akhir	318
9.3	Analisis varian bagi pengaruh suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	328
	9.3.1 Pengaruh saiz partikel dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	328
	9.3.2 Pengaruh jenis serbuk dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	332
	9.3.3 Pengaruh taburan partikel secara bimodal dan suhu pensinteran ketumpatan jasad sinter	334
9.4	Pengoptimuman parameter pensinteran dengan menggunakan kaedah Taguchi	336
	9.4.1 Pengoptimuman parameter pensinteran padatan serbuk pengatoman gas bersaiz halus	338
	9.4.2 Pengoptimuman parameter pensinteran padatan serbuk pengatoman air bersaiz halus	341
	9.4.3 Pengoptimuman parameter pensinteran padatan serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal	345
	9.4.4 Pengoptimuman parameter pensinteran padatan serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal	348
9.5	Kesimpulan	352
BAB X	RUMUSAN DAN PENUTUP	
10.1	Pengenalan	354
10.2	Rumusan Penemuan	355
	10.2.1 Ringkasan penemuan	360
10.3	Cadangan Kajian Lanjutan	361
RUJUKAN		363

LAMPIRAN

A	Senarai Penerbitan	376
B	Data bagi Analisis Serbuk SS316L	381
C	Data Ujian Reologi	391
D	Data Eksperimen Saringan	412
E	Data Rekabentuk Eksperimen Bagi Proses Penyuntikan	435
F	Data Rekabentuk Eksperimen Bagi Proses Penyahikatan	487
G	Data Rekabentuk Eksperimen Bagi Proses Pensinteran	503
H	Rumusan Parameter Penyuntikan dan Pensinteran Optimum	523

SENARAI JADUAL

No. Jadual	Halaman
3.1 Ciri serbuk logam pengatoman gas	59
3.2 Ciri serbuk logam pengatoman air	59
3.3 Ciri bagi bahan pengikat yang digunakan	63
3.4 Kod bahan suapan yang digunakan	72
3.5 Faktor yang dikaji serta aras bagi parameternya	79
3.6 Kadaran bagi kecacatan jasad anum	81
3.7 Darjah kebebasan bagi parameter yang dikaji serta hubungan di antara parameter	82
3.8 Tatacara ortogonal $L_{27}(3^{13})$ bagi kajian pengoptimuman parameter penyuntikan bahan suapan dalam taburan bimodal	83
4.1 Saiz serbuk logam pengatoman gas dalam taburan monomodal	88
4.2 Saiz serbuk logam pengatoman air dalam taburan monomodal	91
4.3 Saiz serbuk logam pengatoman gas dalam taburan bimodal	92
4.4 Saiz serbuk logam pengatoman air dalam taburan bimodal	93
4.5 Singkatan bagi nama bahan suapan yang digunakan	95
4.6 Sifat reologi bahan suapan yang disediakan dengan emulsi dan serbuk PMMA	98
5.1 Singkatan nama-nama bahan suapan	104
5.2 Indek tingkahlaku aliran bahan suapan monomodal pada suhu-suhu tertentu	111
5.3 Tenaga pengaktifan bagi bahan suapan, pengatoman gas dalam taburan partikel secara monomodal	114
5.4 Purata indek kebolehacuan bahan suapan monomodal	115
5.5 Indek tingkahlaku aliran bahan suapan SS316L pengatoman gas	125
5.6 Indek tingkahlaku aliran bahan suapan SS316L pengatoman air	126

5.7	Tenaga Pengaktifan bahan suapan SS316L pengatoman gas pada kadar ricih 1000 s^{-1}	128
5.8	Tenaga Pengaktifan bahan suapan SS316L pengatoman air pada kadar ricih 1000 s^{-1}	128
5.9	Kesan taburan partikel serbuk keluli tahan karat terhadap indek tingkahlaku aliran dan tenaga pengaktifan	135
5.10	Kesan beban serbuk bahan suapan bimodal, pengatoman gas terhadap indek tingkahlaku aliran, indek kebolehacuan dan tenaga pengaktifan	143
5.11	Kesan beban serbuk bahan suapan bimodal, pengatoman air terhadap indek tingkahlaku aliran, indek kebolehacuan dan tenaga pengaktifan	143
6.1	Parameter penyuntikan yang digunakan dalam kajian ini	148
6.2	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan 16_64	151
6.3	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan 16_64 dan 16_65	151
6.4	Nisbah isyarat hingar (S/N) kekuatan jasad anum	155
6.5	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 31_64	155
6.6	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 31_64 dan 31_65	157
6.7	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 16_64	161
6.8	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan 16_64 dan 16_65	161
6.9	Nisbah isyarat hingar (S/N) ketumpatan jasad anum bagi tekanan penyuntikan dan beban serbuk	163
6.10	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan serbuk bimodal B1_64 dan B1_65	169
6.11	Nisbah isyarat hingar (S/N) kekuatan dan ketumpatan jasad anum bagi beban serbuk bahan suapan bimodal	169

6.12	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan serbuk bimodal B1_64 dan B1_65	173
6.13	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62% isipadu	175
6.14	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62.5% isipadu	176
6.15	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 63.5% isipadu	177
6.16	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum bahan suapan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 64% isipadu	179
6.17	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk pengatoman air yang kasar	180
6.18	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk pengatoman air yang halus	181
6.19	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62% isipadu	183
6.20	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 63% isipadu	184
6.21	ANOVA bagi pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 64% isipadu	186
6.22	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air yang kasar	188
6.23	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air yang halus	188
6.24	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus) pada beban serbuk 63% isipadu	190

6.25	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus) pada beban serbuk 63.5% isipadu	191
6.26	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	193
6.27	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus) pada beban serbuk 63% isipadu	194
6.28	ANOVA bagi pengaruh tekanan penyuntikan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus) pada beban serbuk 64% isipadu	195
6.29	ANOVA bagi pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	197
7.1	Tatacara ortogonal $L_{27}(3)^{13}$ yang menunjukkan skor bagi kecacatan jasad anum dan nisbah S/N dikira berdasarkan kepada yang terkecil terbaik	209
7.2	Jadual ANOVA yang menunjukkan jumlah kuasa dua, varian, nisbah varian dan peratusan sumbangan parameter yang dikaji terhadap kecacatan jasad anum	210
7.3	Perbandingan nisbah varian bagi faktor yang dikaji terhadap nilai F pada aras keyakinan 90%	210
7.4	Jadual ANOVA setelah faktor yang tidak signifikan dikumpulkan bagi meminimumkan kecacatan jasad anum serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal	211
7.5	Faktor optimum tanpa mengambil kira interaksi	214
7.6	Nisbah S/N optimum bagi faktor yang berinteraksi	217
7.7	Parameter yang optimum	218
7.8	Nisbah S/N optimum, selang keyakinan dan julat prestasi optimum	218
7.9	Keputusan eksperimen pengesahan yang menggunakan parameter optimum	219

7.10	Tatacara ortogonal $L_{27}(3)^{13}$ yang menunjukkan kekuatan jasad anum dan nisbah S/N ditentukan berdasarkan kepada yang terbesar terbaik	220
7.11	Jadual ANOVA yang menunjukkan jumlah kuasa dua, varian, nisbah varian dan peratusan sumbangan parameter yang dikaji terhadap kekuatan jasad anum	221
7.12	Perbandingan nisbah varian bagi faktor yang dikaji terhadap nilai F pada aras keyakinan 90% (aras signifikan $\alpha=0.1$)	222
7.13	Jadual ANOVA setelah faktor yang tidak signifikan dikumpulkan	223
7.14	Faktor optimum tanpa mengambil kira interaksi	224
7.15	Nisbah S/N optimum bagi faktor yang berinteraksi	225
7.16	Nisbah S/N optimum, selang keyakinan dan julat prestasi optimum	226
7.17	Keputusan eksperimen pengesahan yang menggunakan parameter optimum	226
7.18	Tatacara ortogonal $L_{27}(3)^{13}$ yang menunjukkan ketumpatan jasad anum dan nisbah S/N dikira berdasarkan kepada yang terbesar terbaik	228
7.19	Jadual ANOVA yang menunjukkan jumlah kuasa dua, varian, nisbah varian dan peratusan sumbangan parameter yang dikaji terhadap ketumpatan jasad anum	229
7.20	Jadual ANOVA setelah dikumpulkan faktor yang mempunyai peratusan sumbangan yang rendah (faktor B)	230
7.21	Perbandingan nisbah varian, F_n bagi faktor yang dikaji terhadap nilai F pada aras keyakinan 90% (aras signifikan $\alpha=0.1$)	230
7.22	Jadual ANOVA setelah dikumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan dikumpulkan	232
7.23	Faktor optimum tanpa mengambil kira interaksi	233
7.24	Nisbah S/N optimum bagi faktor yang berinteraksi	234
7.25	Parameter optimum setelah mengambil kira interaksi	235
7.26	Nisbah S/N optimum, selang keyakinan dan julat prestasi optimum	236
7.27	Keputusan eksperimen pengesahan yang menggunakan parameter optimum	236

7.28	Pengoptimuman parameter penyuntikan menyeluruh	239
7.29	Parameter optimum yang memenuhi keperluan ketiga-tiga ciri kualiti yang dikaji	240
7.30	Eksperimen pengesahan bagi parameter optimum menyeluruh	241
7.31	Nilai tekanan pegangan yang dikenakan bagi setiap ulangan	241
7.32	Nisbah S/N bagi kecacatan jasad anum yang dihasilkan serbuk SS316L pengatoman air bersaiz halus, kasar dan bimodal	243
7.33	Jadual ANOVA bagi kecacatan jasad anum serbuk halus	244
7.34	Jadual ANOVA bagi kecacatan jasad anum serbuk kasar	246
7.35	Jadual ANOVA bagi kecacatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal	247
7.36	Julat nisbah S/N bagi prestasi penyuntikan optimum yang meminimumkan kecacatan jasad anum	250
7.37	Nisbah S/N bagi ketumpatan jasad anum yang dihasilkan serbuk SS316L pengatoman air bersaiz halus, kasar dan bimodal	251
7.38	Jadual ANOVA bagi ketumpatan jasad anum serbuk halus	252
7.39	Jadual ANOVA bagi ketumpatan jasad anum serbuk kasar	253
7.40	Jadual ANOVA bagi ketumpatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal	254
7.41	Julat nisbah S/N bagi prestasi penyuntikan optimum yang memaksimumkan kekuatan jasad anum	257
7.42	Nisbah S/N bagi kekuatan jasad anum yang dihasilkan serbuk SS316L pengatoman air bersaiz halus, kasar dan bimodal	258
7.43	Jadual ANOVA bagi kekuatan jasad anum serbuk halus	259
7.44	Jadual ANOVA bagi kekuatan jasad anum serbuk kasar	260
7.45	Jadual ANOVA bagi kekuatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal	261
7.46	Julat nisbah S/N bagi prestasi penyuntikan optimum yang memaksimumkan kekuatan jasad anum	263

7.47	Tahap signifikan faktor-faktor yang signifikan terhadap keseluruhan ciri kualiti yang dioptimumkan bagi jasad anum pengatoman air	265
7.48	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk pengatoman air bersaiz halus	266
7.49	Prestasi optimum menyeluruh yang memenuhi keperluan ciri kualiti jasad anum serbuk pengatoman air bersaiz halus beserta keputusan eksperimen pengesahan	267
7.50	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk pengatoman air bersaiz kasar	269
7.51	Prestasi optimum menyeluruh yang memenuhi keperluan ciri kualiti jasad anum serbuk pengatoman air bersaiz kasar beserta keputusan eksperimen pengesahan	270
7.52	Parameter optimum menyeluruh bagi jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal	272
7.53	Prestasi optimum menyeluruh yang memenuhi keperluan ciri kualiti jasad anum serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal beserta keputusan eksperimen pengesahan	273
8.1	Regrasi bagi pengaruh suhu rendaman terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L halus	277
8.2	Regrasi bagi pengaruh taburan serbuk terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L	280
8.3	Regrasi bagi pengaruh jenis serbuk terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L bersaiz halus pada suhu rendaman 60°C	280
8.4	Regrasi bagi pengaruh jenis serbuk terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L bersaiz kasar pada suhu rendaman 60°C	281
8.5	Regrasi bagi pengaruh jenis serbuk terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L dalam taburan bimodal pada suhu rendaman 60°C	282
8.6	Regrasi bagi pengaruh beban serbuk terhadap kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas	285
8.7	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan saiz partikel serbuk SS316L pengatoman gas terhadap kadar penyahikatan larutan	287

8.8	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan saiz partikel serbuk SS316L pengatoman air terhadap kadar penyahikatan larutan	287
8.9	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan jenis serbuk bagi serbuk SS316L bersaiz halus terhadap kadar penyahikatan larutan	288
8.10	Analisis varian (ANOVA) bagi kesan jenis serbuk bagi serbuk SS316L bersaiz kasar terhadap kadar penyahikatan larutan	288
8.11	Faktor dan aras bagi rekabentuk eksperimen bagi kajian penyahikatan larutan	290
8.12	Nisbah isyarat hinggar (S/N)	291
8.13	Analisis varian (ANOVA) bagi prestasi penyahikatan larutan	293
8.14	Keputusan pengoptimuman parameter penyahikatan larutan	295
8.15	Rekabentuk eksperimen bagi kajian pirolisis terma	307
8.16	Ketumpatan padatan menjalani proses pirolisis terma dan nisbah S/Nnya	308
8.17	Parameter optimum bagi proses pirolisis terma padatan serbuk halus pengatoman gas	310
8.18	Parameter optimum bagi proses pirolisis terma padatan serbuk halus pengatoman air	311
8.19	ANOVA bagi proses pirolisis terma padatan serbuk halus pengatoman gas	312
8.20	ANOVA bagi proses pirolisis terma padatan serbuk halus pengatoman air	313
8.21	Keputusan akhir pengoptimuman proses pirolisis terma	315
8.22	Eksperimen pengesahan bagi menilai prestasi optimum	315
9.1	Jadual ANOVA bagi pengaruh saiz partikel serbuk pengatoman gas dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	329
9.2	Jadual ANOVA bagi pengaruh saiz partikel serbuk pengatoman air dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	332
9.3	Jadual ANOVA bagi pengaruh jenis serbuk dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	333

9.4	Jadual ANOVA bagi pengaruh jenis serbuk dan suhu pensinteran terhadap ketumpatan jasad sinter	335
9.5	Faktor dan aras parameter yang digunakan dalam kajian pengoptimuman parameter pensinteran	337
9.6	Tatacara ortogonal $L_9(3)^4$ dan ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman gas bersaiz halus bagi setiap eksperimen yang dilakukan	339
9.7	ANOVA bagi ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman gas bersaiz halus	340
9.8	Keputusan akhir bagi pengoptimuman proses pensinteran padatan serbuk pengatoman gas halus	341
9.9	Tatacara ortogonal $L_9(3)^4$ dan ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman air bersaiz halus bagi setiap eksperimen yang dilakukan	342
9.10	ANOVA bagi ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman air bersaiz halus	344
9.11	Keputusan akhir bagi pengoptimuman proses pensinteran padatan serbuk pengatoman air halus	345
9.12	Tatacara ortogonal $L_9(3)^4$ dan ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal bagi setiap eksperimen yang dilakukan	346
9.13	ANOVA bagi ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal	347
9.14	Keputusan akhir bagi pengoptimuman proses pensinteran padatan serbuk pengatoman gas dalam taburan bimodal	348
9.15	Tatacara ortogonal $L_9(3)^4$ dan ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal bagi setiap eksperimen yang dilakukan	349
9.16	ANOVA bagi ketumpatan jasad sinter serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal	351
9.17	Keputusan akhir bagi pengoptimuman proses pensinteran padatan serbuk pengatoman air dalam taburan bimodal	352

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah	Halaman
2.1 Lenguk pembebanan serbuk yang biasa digunakan bagi adunan serbuk logam dan bahan pengikat	25
2.2 Mesin penyuntikan jenis skru salingan	31
2.3 Mesin penyuntikan jenis pelocok	32
2.4 Model pensinteran dua sfera dengan pencantuman dua partikel semasa pensinteran	47
2.5 Proses pensinteran bermula dari padatan berserbuk longgar, seterusnya disinter dalam tiga peringkat. Pada peringkat awal, leher akan mula terbentuk dan porositi masih lagi tinggi, semasa peringkat pertengahan, bijian semakin bercambah dan pengecutan liang berlaku, sebelum ianya tertutup di peringkat akhir pensinteran	48
3.1 Mikrograf imbasan elektron serbuk keluli tahan karat pengatoman gas	61
3.2 Mikrograf imbasan elektron (SEM) serbuk keluli tahan karat 316L pengatoman air	62
3.3 Bahan pengikat yang digunakan dalam kajian ini	64
3.4 Mesin pengadun Sigma bilah Z	65
3.5 Reometer rerambut Shimadzu CFT-500D	66
3.6 Mesin Penyuntikan Acuan Battenfeld BA 250/50 CDC	67
3.7 Sampel bar tegangan MPIF 50	67
3.8 <i>Water/oil Bath</i> bagi proses penyahikatan larutan	68
3.9 Proses pengadunan bahan suapan serbuk pengatoman gas	70
3.10 Bahan suapan MIM yang sedia digunakan bagi proses pengacuan logam	71
3.11 Mesin INSTRON 5567 yang menunjukkan ujian lenturan tiga titik dilakukan berpandukan kepada piawaian MPIF 15	75
3.12 Kaedah keapungan Archemedis bagi mengukur ketumpatan padatan berdasarkan kepada piawaian MPIF 42	76

3.13	Graf linear bagi L_{27} yang menunjukkan kedudukan parameter-parameter yang dikaji pada lajur masing-masing. Graf ini juga menunjukkan hubungan di antara A, B dan C	84
4.1	Taburan saiz partikel (μm) serbuk logam SS316L pengatoman gas	89
4.2	Taburan saiz partikel (μm) serbuk logam SS316L pengatoman air	90
4.3	Bahan suapan yang telah dihancurkan	96
4.4	Kelikatan dan kadar ricih bahan suapan yang dikaji pada suhu 130°C	96
4.5	Korelasi kelikatan bahan suapan pada kadar ricih 1000 s^{-1} dengan suhu	98
4.6	Analisis pemeteran graviti haba (TGA) bagi bahan suapan pow 61 dan emul 61	100
5.1	Kesan suhu terhadap kelikatan dan kadar ricih bagi bahan suapan serbuk SS316, pengatoman gas kasar	105
5.2	Kesan suhu terhadap kelikatan dan kadar ricih bagi bahan suapan serbuk SS316L, pengatoman gas halus	106
5.3	Kelikatan dan kadar ricih bahan suapan, pengatoman gas pada beban serbuk 64% isipadu	108
5.4	Kelikatan dan kadar ricih bahan suapan, pengatoman gas pada beban serbuk 65% isipadu	109
5.5	Pergantungan sifat reologi terhadap suhu pada kadar ricih 100 dan $10,000 \text{ s}^{-1}$	113
5.6	Kelikatan bahan suapan pengatoman gas terhadap kadar ricih pada suhu 120°C , 130°C dan 140°C (a) bahan suapan 16_62, dan (b) bahan suapan 31_62	118
5.7	Kelikatan bahan suapan pengatoman gas terhadap kadar ricih pada suhu 120°C , 130°C dan 140°C (a) bahan suapan 16_63, dan (b) bahan suapan 31_63	119
5.8	Kelikatan bahan suapan pengatoman air terhadap kadar ricih pada suhu 130°C , 140°C dan 150°C (a) bahan suapan wf_62, dan (b) bahan suapan wf_62.5	121
5.9	Kelikatan bahan suapan pengatoman air terhadap kadar ricih pada suhu 130°C , 140°C dan 150°C (a) bahan suapan wc_63, dan (b) bahan suapan wc_63.5	122

5.10	Kelikatan bahan suapan monomodal (31_64 dan 16_64) dan bimodal dengan taburan serbuk halus sebanyak 70% (A1_64) dan 30% (B1_64) jisim pada beban serbuk 64% isipadu pada suhu 120°C	132
5.11	Kelikatan bahan suapan monomodal (31_64 dan 16_64) dan bimodal dengan taburan serbuk halus sebanyak 70% (A1_64) dan 30% (B1_64) jisim pada beban serbuk 64% isipadu pada suhu 130°C	132
5.12	Kelikatan bahan suapan monomodal (31_64 dan 16_64) dan bimodal dengan taburan serbuk halus sebanyak 70% (A1_64) dan 30% (B1_64) jisim pada beban serbuk 64% isipadu pada suhu 140°C	133
5.13	Kelikatan bahan suapan bimodal, pengatoman gas pada taburan serbuk halus sebanyak 30% jisim pada suhu 120°C, 130°C dan 140°C dengan beban serbuk 64% isipadu dan 65% isipadu	138
5.14	Kelikatan bahan suapan bimodal, pengatoman air pada taburan serbuk halus sebanyak 30% jisim pada suhu 130°C, 140°C dan 150°C dengan beban serbuk 63% isipadu, 63.5% isipadu dan 64% isipadu	140
6.1	Kekuatan lentur jasad anum yang menggunakan serbuk halus pada tekanan 350 bar	150
6.2	Kekuatan lentur jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pada tekanan 350 bar	152
6.3	Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk halus	153
6.4	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk halus	154
6.5	Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk kasar	157
6.6	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk kasar	158
6.7	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pada tekanan 350 bar	159
6.8	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pada tekanan 350 bar	159
6.9	Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus	162
6.10	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus	163

6.11	Pengaruh tekanan dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk kasar	164
6.12	Kekuatan jasad anum dalam taburan serbuk bimodal dengan beban serbuk 64% isipadu dengan tekanan penyuntikan 350 bar	166
6.13	Kekuatan jasad anum dalam taburan serbuk bimodal dengan beban serbuk 65% isipadu pada tekanan 350 bar	168
6.14	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum bahan suapan dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	169
6.15	Ketumpatan jasad anum dalam taburan serbuk bimodal dengan beban serbuk 64% isipadu pada tekanan 350 bar	171
6.16	Ketumpatan jasad anum dalam taburan serbuk bimodal dengan beban serbuk 65% isipadu pada tekanan 350 bar	172
6.17	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap jasad ketumpatan anum bahan suapan dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	173
6.18	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62% isipadu	174
6.19	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62.5% isipadu	175
6.20	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 63.5% isipadu	177
6.21	Ketumpatan jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 64% isipadu	178
6.22	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk pengatoman air yang kasar	179
6.23	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk halus pengatoman air	180
6.24	Kekuatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 62% isipadu	182
6.25	Kekuatan jasad anum yang menggunakan serbuk halus pengatoman air pada beban serbuk 63% isipadu	184
6.26	Kekuatan jasad anum yang menggunakan serbuk kasar pengatoman air pada beban serbuk 64% isipadu	185

6.27	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air yang kasar	187
6.28	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk pengatoman air yang halus	187
6.29	Ketumpatan jasad anum dalam taburan partikel secara bimodal (30% jisim serbuk halus) bagi SS316L pengatoman air pada beban serbuk 63% isipadu	189
6.30	Ketumpatan jasad anum dalam taburan partikel secara bimodal (30% jisim serbuk halus) bagi SS316L pengatoman air pada beban serbuk 63.5% isipadu	191
6.31	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap ketumpatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	192
6.32	Kekuatan jasad anum dalam taburan partikel secara bimodal (30% jisim serbuk halus) bagi SS316L pengatoman air pada beban serbuk 63% isipadu	193
6.33	Kekuatan jasad anum dalam taburan partikel secara bimodal (30% jisim serbuk halus) bagi SS316L pengatoman air pada beban serbuk 64% isipadu	195
6.34	Pengaruh beban serbuk dan suhu penyuntikan terhadap kekuatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air dalam taburan bimodal (30% jisim serbuk halus)	196
6.35	Sampel bar tegangan yang dihasilkan menunjukkan bahagian 1, 2 dan 3	198
6.36	Taburan ketumpatan pada sampel di bahagian get (1), tengah (2) dan hujung (3) pada jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas	200
6.37	Taburan ketumpatan pada sampel serbuk SS316L pengatoman gas yang disuntik pada suhu 140°C	201
6.38	Taburan ketumpatan pada sampel di bahagian get (1), tengah (2) dan hujung (3) pada jasad anum SS316L pengatoman air	204
6.39	Taburan ketumpatan pada sampel serbuk SS316L pengatoman air yang disuntik pada suhu 160°C	205
7.1	Plot kesan utama bagi nisbah isyarat hingar	213

7.2	(a) Kecacatan garis kimpal kelihatan pada jasad anum yang dihasilkan pada suhu acuan kurang dari 51°C dan (b) garis kimpal tidak kelihatan apabila hasilkan pada suhu acuan 51°C	215
7.3	Keputusan pengoptimuman parameter penyuntikan oleh Murtadahahadi (2006)	216
7.4	Plot interaksi bagi nisbah isyarat hingar (S/N)	217
7.5	Plot kesan utama bagi nisbah isyarat hingar	224
7.6	Plot interaksi bagi nisbah isyarat hingar (S/N)	225
7.7	Plot kesan utama bagi nisbah isyarat hingar (S/N)	233
7.8	Plot interaksi bagi nisbah isyarat hingar (S/N)	234
7.9	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi meminimumkan kecacatan jasad anum serbuk halus dan serbuk kasar	248
7.10	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi meminimumkan kecacatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal bagi serbuk pengatoman air dan pengatoman gas	249
7.11	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi memaksimumkan ketumpatan jasad anum serbuk halus dan serbuk kasar	255
7.12	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi memaksimumkan ketumpatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal bagi serbuk pengatoman air dan pengatoman gas	256
7.13	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi memaksimumkan kekuatan jasad anum serbuk halus dan serbuk kasar	262
7.14	Peratusan Pengaruh Faktor yang dikaji bagi memaksimumkan kekuatan jasad anum serbuk dalam taburan bimodal bagi serbuk pengatoman air dan pengatoman gas	262
8.1	Kesan suhu larutan terhadap kadar penyahikatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas halus	276
8.2	Kesan suhu larutan terhadap kadar penyahikatan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air halus	277
8.3	Pengaruh taburan serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman gas pada suhu larutan 60°C	278
8.4	Pengaruh taburan serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L pengatoman air pada suhu larutan 60°C	279

8.5	Pengaruh jenis serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L bersaiz halus pada suhu larutan 60°C	281
8.6	Pengaruh jenis serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L bersaiz kasar pada suhu larutan 60°C	282
8.7	Pengaruh jenis serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L bimodal pada suhu larutan 60°C	283
8.8	Pengaruh beban serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L halus pengatoman gas pada suhu larutan 60°C	284
8.9	Pengaruh beban serbuk ke atas kadar penyahikatan larutan jasad anum serbuk SS316L kasar pengatoman gas pada suhu larutan 60°C	285
8.10	Respon bagi nisbah median isyarat hingar (S/N) eksperimen penyahikatan larutan	294
8.11	Mikrograf SEM bahagian patah jasad anum	296
8.12	Pengurangan bahan pengikat setelah dilakukan proses penyahikatan larutan	298
8.13	Kesan suhu larutan terhadap kekuatan jasad perang serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air	299
8.14	Pengaruh masa rendaman terhadap kekuatan jasad perang serbuk pengatoman gas	300
8.15	Kesan beban serbuk terhadap kekuatan jasad perang serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air	301
8.16	Kesan suhu larutan terhadap ketumpatan jasad perang serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air	302
8.17	Kesan beban serbuk terhadap ketumpatan jasad perang serbuk SS316L pengatoman gas dan pengatoman air	303
8.18	Pengaruh tempoh rendaman terhadap terhadap ketumpatan jasad perang pengatoman gas	303
8.19	Jasad anum dan jasad perang	305
8.20	Imej mikrograf imbasan elektron (SEM) bagi padatan yang telah menjalani proses pirolisis terma. Bahan pengikat tidak lagi kelihatan dalam matrik padatan ini	306
8.21	Plot bagi nisbah S/N proses pirolisis terma bagi padatan serbuk halus pengatoman gas	309

8.22	Plot bagi nisbah S/N proses pirolisis terma bagi padatan serbuk halus pengatoman air	310
9.1	Ketumpatan jasad sinter bagi padatan serbuk pengatoman gas. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	319
9.2	Ketumpatan jasad sinter bagi padatan serbuk pengatoman air. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	320
9.3	Imej mikrograf imbasan elektron (SEM) dan struktur mikro padatan serbuk halus yang telah disinter pada suhu 1400°C	323
9.4	Imej mikrograf imbasan elektron (SEM) yang diambil pada permukaan padatan serbuk halus pengatoman air yang menunjukkan sebahagian serbuk telah melebur apabila disinter pada suhu 1360°C. Ketumpatan sinter: 96.34% ketumpatan teori	324
9.5	Imej mikrograf imbasan elektron (SEM) yang diambil pada permukaan padatan serbuk halus pengatoman gas yang menunjukkan sebahagian serbuk telah melebur apabila disinter pada suhu 1360°C. Ketumpatan sinter: 99.86% ketumpatan teori	325
9.6	Jasad anum, jasad perang dan jasad sinter yang menunjukkan pengecutan padatan	326
9.7	Pengecutan jasad sinter bagi padatan serbuk pengatoman gas. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	327
9.8	Pengecutan jasad sinter bagi padatan serbuk pengatoman air. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	328
9.9	Proses penumpatan padatan serbuk pengatoman gas	331
9.10	Kesan jenis serbuk ke atas ketumpatan jasad sinter. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	334
9.11	Kesan taburan serbuk bimodal dan jenis serbuk ke atas ketumpatan jasad sinter. Kadar pemanasan dan penyejukan: 10°C/minit; suhu pirolisis terma: 600°C selama 20 minit; pensinteran dilakukan selama 4 jam	336

- 9.12 Porositi bagi jasad sinter serbuk halus pengatoman air dan 343 pengatoman gas yang disinter pada suhu 1360°C
- 9.13 Porositi bagi jasad sinter serbuk pengatoman air dan pengatoman gas dalam taburan bimodal yang disinter pada suhu 1360°C

SENARAI SIMBOL

W_p	pecahan berat serbuk logam
W_b	pecahan berat bahan pengikat
ρ_p	ketumpatan sebenar serbuk logam
ρ_b	ketumpatan bahan pengikat
ρ_M	ketumpatan adunan bahan suapan
Φ	beban sebuk
Φ_k	beban serbuk kritikal
λ	konduktiviti haba ($\text{W}/\text{m } ^\circ\text{C}$)
a	kemeresapan haba (m^2/s)
C_p	kapasiti haba tentu ($\text{J}/\text{g } ^\circ\text{C}$)
ρ	ketumpatan jasad anum (kg/m^3)
F	pecahan lebihan bahan pengikat boleh larut dalam jasad anum (2.3)
D_p	pekali resapan bahan pengikat boleh larut
L	ketebalan spesimen
t	masa penyahikatan (2.3)
W_1	jisim kering sampel
W_2	jisim basah sampel
W_3	jisim semasa sampel direndam dalam cecair
W_w	jisim penyangkuk sampel semasa ianya terendam dalam cecair
ρ	ketumpatan sampel
ρ_w	ketumpatan air suling
T	suhu air suling (2.5)
V_s	peratusan ketumpatan jasad sinter

H	kehomogenan adunan
t	masa pengadunan (3.1)
α	pemalar dalam persamaan (3.1)
C	pemalar dalam persamaan (3.1)
k	pemalar dalam persamaan (3.1)
n	indeks tingkahlaku aliran
E	tenaga pengaktifan
α	indek kebolehacuan
Q	kadar alir bahan suapan
t	masa pergerakan omboh (3.2)
γ	kadar ricih
D	diameter lubang rerambut (3.3)
η_A	kelikatan bahan suapan
η_p	kelikatan bahan pengikat
τ	tegasan ricih
n	indek dalam persamaan (3.4)
A	pekali dalam persamaan (3.4)
S/N	nisbah isyarat hingar
y	ciri kualiti yang dikaji
n	bilangan ulangan (3.6 & 3.7)
S_w	taburan lenguk saiz partikel serbuk
S	luas permukaan partikel serbuk
D	diameter partikel serbuk (4.2)
K	pemalar persamaan (5.2)

R	pemalar gas universal
S_n	Jumlah Kuasa Dua bagi faktor n
S_e	Jumlah Kuasa Dua bagi ralat
S_T	Jumlah Kuasa Dua keseluruhan
f_n	darjah kebebasan
v_n	varian
v_e	ralat bagi varian
F_n	nisbah varian
P_n	peratusan sumbangan
S'_n	jumlah kuasa dua tulen bagi faktor berkenaan
β	kebolehlarutan bahan pengikat dalam larutan