

**PENGHASILAN DAN PENCIRIAN KOMPOSIT
ALUMINIUM TULEN/PARTIKEL ALUMINA
MELALUI KAEDAH METALURGI SERBUK**

KHAIREL RAFEZI AHMAD

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2009

**PENGHASILAN DAN PENCIRIAN KOMPOSIT ALUMINIUM
TULEN/PARTIKEL ALUMINA MELALUI KAEDAH METALURGI SERBUK**

oleh

KHAIREL RAFEZI AHMAD

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi Ijazah
Doktor Falsafah**

JULAI 2009

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah Lagi Maha Penyayang

Segala pujian dan syukur ke hadrat Allah S.W.T di atas segala limpah kurniaNya. Segala pujian khusus untuk Nabi Muhammad S.A.W dan kesejahteraan anbbiya'a dan parasahabat radiallahuanhum.

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan jutaanterima kasih kepada Prof. Dr. Zainal Arifin Ahmad sebagai penyelia utama yang sentiasa memberikan dorongan, bantuan dan bimbingan sepanjang perjalanan penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Prof. Dr. Shamsul Baharin Jamaludin sebagai penyella bersama yang banyak menyumbangkan idea dan bimbingan. Ucapan terima kasih juga dipanjangkan kepada almarhum Prof. Madya Dr. Luay Bakir Hussein kerana sudi menjadi penyelia bersama dalam penyelidikan ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga ditujukan kepada pentadbiran Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral dan Universiti Sains Malaysia terutamanya Dekan, Prof. Dr. Ahmad Fauzi Mohd Noor, mantan dekan Prof. Dr. Khairun Azizi Mohd Azizli, Timbalan Dekan Ijazah Tinggi & Penyelidikan, Prof. Madya Dr. Azizan Aziz. Ucapan penghargaan ini juga ditujukan kepada rakan-rakan sekerja di Universiti Malaysia Perlis dan Universiti Sains Malaysia kerana memahami tugas saya. Penghargaan terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi serta USM kerana memberikan saya Biasiswa Khas Pascasiswazah sepanjang tempoh pengajian saya.

Ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada isteri saya, Roshazita Che Amat, anak-anak saya Nur Hana Alisha dan Muhammad Luqman Farish, ayahnda saya Allahyarham Ahmad Mat Yusoff, ibu saya Norsiah Harun, serta Cik Norzila Ismail di atas pengorbanan mereka selama ini. Jasamu tetap akan dikenang.

Ucapan terima kasih juga ingin saya panjatkan kepada semua rakan semakmal yang banyak membantu dan memberi tunjuk ajar. Kepada mereka yang nama mereka yang tidak tercatat, mohon ampun dan maaf dipinta terlebih dahulu, jasa baik anda semua, pasti akan dikenang dan diingati.

Sekian, terima kasih.

KHAIREL RAFEZI AHMAD

Julai 2009

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI JADUAL	xv
SENARAI KEPENDEKAN NAMA	xvii
SENARAI SIMBOL	xix
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xx
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxiii
BAB SATU : PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Penyataan Masalah	6
1.3 Objektif Kajian	8
1.4 Pendekatan Kajian	8
BAB DUA : KAJIAN PERSURATAN	
2.1 Pendahuluan	12
2.2 Definisi bahan komposit	13
2.3 Pengkelasan komposit	14
2.4 Fasa matriks	15
2.4.1 Jenis-jenis bahan fasa matriks	17
2.4.1.1 Matriks polimer	17
2.4.1.2 Matriks logam	18
2.4.1.3 Matriks seramik	18
2.5 Fasa penguat	19
2.5.1 Gentian	21
2.5.2 Sesungut	23
2.5.3 Partikel	23

2.5.4	Filamen	23
2.6	Antaramuka matriks dan penguat	23
2.6.1	Ikatan antaramuka	24
2.6.1.1	Ikatan Mekanikal	25
2.6.1.2	Ikatan elektrostatik	25
2.6.1.3	Ikatan kimia	25
2.6.1.4	Pembauran molekul matriks dan penguat	27
2.7	Pengkelasan komposit berdasarkan bahan matriks	27
2.7.1	Komposit matriks logam (KML)	27
2.7.2	Komposit matriks polimer (KMP)	30
2.7.3	Komposit matriks seramik (KMS)	33
2.8	Pengenalan kepada komposit matriks logam	34
2.8.1	Komposit matriks logam diperkuatkan oleh fasa penguat partikel	34
2.8.2	Komposit matriks logam aluminium	36
2.8.2.1	Komposit matriks logam aluminium dan aloi aluminium	39
2.9	Fabrikasi komposit matriks logam	41
2.9.1	Metalurgi serbuk	41
2.9.1.1	Penghasilan serbuk	43
2.9.1.2	Pencampuran	44
2.9.1.3	Pemadatan	47
2.9.1.4	Persinteran	47
2.10	Mikrostruktur komposit logam	50
2.11	Sifat mekanikal komposit logam	52
2.11.1	Kekerasan	52
2.11.2	Kekuatan komposit	53

2.11.3	Haus	55
2.11.3.1	Haus lelasan	55
2.11.3.2	Faktor yang mempengaruhi haus	56
2.11.3.3	Kelakuan haus komposit matriks logam	57
2.12	Kakisan	59
2.12.1	Mekanisme Kakisan	59
2.12.2	Kakisan aluminium dan aloi aluminium	63
2.12.3	Kakisan komposit matriks aluminium	65
2.12.4	Kakisan komposit diperkuat Al_2O_3	66

BAB TIGA : KAEDAH EKSPERIMEN

3.1	Pendahuluan	68
3.2	Rekabentuk Eksperimen	68
3.3	Fasa 1: Analisis bahan mentah yang digunakan dalam penghasilan komposit KML Al tulen diperkuat Al_2O_3 .	69
3.3.1	Analisis morfologi partikel bahan mentah	71
3.3.2	Analisis saiz dan taburan saiz partikel	72
3.3.3	Analisis komposisi kimia bahan mentah	73
3.3.4	Analisis fasa/mineralogi bahan mentah	74
3.3.5	Analisis ketumpatan bahan mentah	74
3.4	Fasa 2: Kajian menentukan parameter optimum penghasilan komposit matriks aluminium tulen yang diperkuat partikel alumina melalui kaedah metalurgi serbuk.	76
3.4.1	Penentuan tempoh pencampuran dan peratus berat bebola pengadun	79
3.4.2	Kajian terhadap proses penekanan/pemadatan	81
3.4.3	Kajian terhadap proses pensinteran	83

3.5	Fasa 3 : Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat keatas sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit.	84
3.5.1	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat ke atas sifat-sifat fizikal	85
3.5.1.1	Pemerhatian mikrostruktur	85
3.5.1.2	Analisis perubahan dimensi sampel tersinter (pengecutan/pengembangan)	87
3.5.1.3	Analisis ketumpatan pukal dan keliangan ketara	88
3.5.2	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat keatas sifat-sifat mekanikal	90
3.5.2.1	Ujian mikrokekerasan Vickers	90
3.5.2.2	Kekuatan modulus getaran sonik	91
3.5.2.3	Ujian kelenturan tiga titik	93
3.5.2.4	Rintangan haus	94
3.5.3	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat ke atas sifat terma.	98
3.5.3.1	Ujian pekali pengembangan terma (CTE)	98
3.6	Fasa 4: Kajian terhadap kesan peratusan berat bahan penguat terhadap sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit.	101
3.7	Fasa 5: Kajian terhadap kesan saiz partikel dan peratusan berat bahan penguat ke atas sifat rintangan kakisan komposit.	101
3.7.1	Kaedah ujian elektrokimia	102
BAB EMPAT : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		
4.1	Pendahuluan	104
4.2	Fasa 1 : Analisis terhadap bahan mentah yang digunakan dalam penghasilan komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ .	104

4.2.1.	Analisis morfologi partikel	105
4.2.2	Analisis saiz dan taburan saiz partikel bahan mentah	108
4.2.3	Analisis komposisi kimia bahan mentah	109
4.2.4	Analisis fasa/mineralogi bahan mentah	110
4.2.5	Analisis ketumpatan serbuk bahan mentah	112
4.3	Fasa 2 : Kajian terhadap parameter optimum penghasilan komposit matriks aluminium tulen yang diperkuat partikel alumina melalui kaedah metalurgi serbuk.	114
4.3.1	Penentuan tempoh pencampuran dan peratus berat media	114
4.3.2	Kajian terhadap proses penekanan/pemadatan	117
4.3.3	Kajian terhadap proses pensinteran	119
4.3.4	Kesimpulan kajian terhadap parameter optimum penghasilan komposit KML tulen yang diperkuat partikel Al_2O_3	120
4.4	Fasa 3 : Kajian terhadap kesan saiz partikel Al_2O_3 sebagai bahan penguat ke atas sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit KML Al- Al_2O_3 .	121
4.4.1	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat ke atas sifat-sifat fizikal	121
4.4.1.1	Analisis mikrostruktur	121
4.4.1.2	Analisis perubahan dimensi sampel tersinter (pengecutan/pengembangan)	124
4.4.1.3	Ketumpatan dan keliangan	126
4.4.2	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat ke atas sifat-sifat mekanikal	128
4.4.2.1	Ujian mikrokekerasan Vickers	129

4.4.2.2	Kekuatan modulus getaran sonik	130
4.4.2.3	Ujian kelenturan tiga titik	132
4.4.2.5	Rintangan haus	136
4.4.3	Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat keatas sifat terma	140
4.4.3.1	Ujian pengembangan terma (CTE)	141
4.5	Fasa 4: Kajian terhadap kesan peratusan berat bahan penguat terhadap sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit.	143
4.5.1	Kajian terhadap kesan peratus berat bahan penguat keatas sifat-sifat fizikal	143
4.5.1.1	Analisis mikrostruktur	143
4.5.1.2	Analisis perubahan dimensi sampel tersinter (pengecutan/pengembangan)	145
4.5.1.3	Analisis ketumpatan pukal dan keliangan ketara	146
4.5.2	Kajian terhadap kesan peratus berat partikel bahan penguat ke atas sifat-sifat mekanikal	148
4.5.2.1	Ujian kerasan mikro vickers	149
4.5.2.2	Kekuatan modulus getaran sonik	150
4.5.2.3	Ujian kelenturan tiga titik	152
4.5.2.4	Rintangan haus	153
4.5.3	Kajian terhadap kesan peratus berat partikel bahan penguat ke atas sifat terma	157
4.5.3.1	Ujian pengembangan terma (CTE)	157
4.6	Fasa 5: Kajian terhadap kesan saiz partikel dan peratusan berat bahan penguat ke atas sifat kerintangan kakisan komposit.	159
4.6.1	Ujian elektrokimia	159
4.6.1.1	Kesan partikel saiz terhadap rintangan kakisan	160

4.6.1.2 Kesan peratus berat terhadap rintangan kakisan	161
--	-----

BAB LIMA : KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan	163
----------------	-----

5.2 Cadangan	164
--------------	-----

SENARAI RUJUKAN	165
------------------------	-----

L AMPIRAN

SENARAI RAJAH

		Muka surat
BAB 1		
Rajah 1.1	Carta alir penyelidikan kajian kesan saiz dan peratusan berat partikel Al_2O_3 terhadap sifat-sifat komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al_2O_3 melalui kaedah metalurgi serbuk.	11
BAB 2		
Rajah 2.1	Pengkelasan pelbagai jenis komposit (Callister, 1996). (a) Pengkelasan berdasarkan matriks dan (b) pengkelasan berdasarkan bentuk bahan penguat.	15
Rajah 2.2	Skema diagram bagi mekanisme ikatan antaramuka: (a) ikatan mekanikal; (b) ikatan elektrostatik; (c) ikatan kimia (R dan X = kumpulan kimia serasi); (d) ikatan kimia apabila agen gandingan diperkenalkan; (e) ikatan tindak balas melibatkan polimer; (f) lapisan antaramuka oleh pembauran (Matthews & Rawlings, 1999).	26
Rajah 2.3	Carta alir ringkas proses metalurgi serbuk	43
Rajah 2.4:	Tiga jenis pencampuran serbuk iaitu pembauran, perolakan dan ricihan (Randall, 1994)	45
Rajah 2.5	Cara taburan partikel dalam campuran: (a) campuran teratur, (b) campuran penggumpalan, (c) campuran rawak, (d) campuran pengasingan.	46
Rajah 2.6	Langkah-langkah pemadatan serbuk logam dari peringkat permulaan ke penyusunan semula partikel sehingga ubah bentuk plastik.	48
Rajah 2.7	Perubahan mikrostruktur yang berlaku semasa pensinteran (a) partikel serbuk selepas padat; (b) partikel bertaut dan pembentukan liang dalam permulaan proses pensinteran; (c) pertukaran saiz dan bentuk liang dalam meneruskan proses pensinteran.	49
Rajah 2.8	Perubahan mikrostruktur yang berlaku semasa pensinteran (a) partikel serbuk selepas padat; (b) partikel bertaut dan pembentukan liang dalam permulaan proses pensinteran; (c) pertukaran saiz dan bentuk liang dalam meneruskan proses pensinteran.	49
Rajah 2.9	Rajah 2.9: Taburan partikel semasa pemejalan. (a) Partikel tertabur dalam leburan logam. (b) Fasa pepejal yang sedang membesar akan mengelak bahan penguat tersebut sama seperti dua dendrit yang mengelak antara satu sama lain. (c) Setiap partikel mungkin akan tertolak oleh antara muka pepejal-cecair tersebut ke kawasan antara dendrit yang akhir sekali memejal, sel pepejal yang sedang membesar mungkin akan menangkap partikel ini. (d) Partikel terperangkap pada sempadan butir. (Hashim et.al, 1999).	51
Rajah 2.10	Peningkatan penumpuan pada partikel semasa ujian kekerasan (Shen & Chawla, 2001)	52
Rajah 2.11	Haus lelasan (a) daripada sentuhan yang bergerak dengan bahan granul keras dan (b) partikel keras yang terperangkap antara permukaan yang bergerak (Metals Handbook, 1975).	55
Rajah 2.12	Penguat boleh terkeluar dan akhirnya terperangkap pada antaramuka matriks-penguat.	58
Rajah 2.13	Penukleusan retakan pada antaramuka matriks-penguat	58

Rajah 2.14	Gambaran skematik taburan H^+ dalam persekitaran katod semasa penurunan hydrogen. (a) kadar tindakbalas rendah dan/ atau kepekatan tinggi, dan (b) kadar tindakbalas tinggi dan/atau kepekatan rendah dimana zon pengurangan terbentuk memberi peningkatan kepada pengutuban kepekatan (Callister, 2003).	61
Rajah 2.15	Plot beza lampau pengutuban teraktif melawan skala log ketumpatan arus bagi elektord hydrogen tindakbalas pengoksidaan dan penurunan (Callister, 2003).	62
Rajah 2.16	Bagi tindakbalas penurunan, plot skematik beza lampau melawan skala log ketumpatan arus gabungan pengutuban pengaktifan–kepekatan (Callister, 2003).	63
Rajah 2.17	Rajah Pourbaix untuk Al pada suhu $25^{\circ}C$ (Lucas & Clarke, 1992)	64
BAB 3		
Rajah 3.1	Rekabentuk fabrikasi komposit KML Al diperkuat dengan partikel Al_2O_3	77
Rajah 3.2	Carta alir bagi eksperimen penentuan tempoh pencampuran dan peratus berat media	81
Rajah 3.3	Carta alir bagi kajian terhadap proses penekanan/pemadatan	82
Rajah 3.4	Profil pensinteran untuk penentuan tempoh rendaman komposisi KML	83
Rajah 3.5	Kedudukan pengesanan dan titik ketukan bagi mod lenturan	92
Rajah 3.6	Kedudukan pengesanan dan titik ketukan bagi mod kilasan	93
Rajah 3.7	Skematik untuk menentukan tegasan patah dalam ujian kelenturan tiga titik. Di mana L ialah jarak antara titik sokongan, F ialah beban kenaan, B ialah kelebaran sampel dan D ialah ketebalan sampel.	94
Rajah 3.8	Kedudukan pin dan cakera dalam ujian kehausan pin di atas cakera dengan piawaian ASTM 99 – 95 a. Di mana R ialah jarak gelongsoran, F ialah beban, D ialah diameter cakera, d ialah diameter spesimen, w ialah arah putaran cakera (ASTM, 2000).	95
Rajah 3.9	Pemegang sampel untuk ujian haus	95
Rajah 3.10	Pemasangan alat untuk ujian haus yang telah diubahsuai	96
Rajah 3.11	Dimensi ukuran sampel untuk ujian pekali pengembangan terma	99
Rajah 3.12	Profil keluk pemanasan sampel dalam ujian pengembangan terma	100
Rajah 3.12	Gambaran sambungan elektrod untuk ujian kakisan kaedah elektrokimia	103
BAB 4		
Rajah 4.1	Mikrograf SEM serbuk aluminium berbentuk kepingan dibekalkan oleh <i>BDH Laboratory Supplies, USA</i> .	105
Rajah 4.2	Mikrograf partikel alumina dibekalkan oleh <i>Buehler, USA</i> . (a) Serbuk alumina $0.5 \mu m$, (b) serbuk alumina $1.0 \mu m$, (c) serbuk alumina $3.0 \mu m$, (d) serbuk alumina $12.0 \mu m$ dan (e) serbuk alumina $25.0 \mu m$.	107

Rajah 4.3	Analisis XRD dalam pengecaman fasa yang hadir dalam serbuk aluminium, menunjukkan Al tulen (ICDD 4-0787)	111
Rajah 4.4	Analisis XRD dalam pengecaman fasa yang hadir dalam serbuk Al ₂ O ₃ .	112
Rajah 4.5	Mikrograf taburan partikel alumina 12.0 µm di dalam matriks aluminium bagi selama 0.5, 1.0 dan 3.0 jam dengan menggunakan bantuan bebola alumina.	116
Rajah 4.6	Morfologi keratan rentas spesimen KML Al tulen diperkuat 10 % berat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 12.0 µm pada tekanan berbeza menggunakan SEM.	118
Rajah 4.7	Mikrograf keratan rentas spesimen komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz (b) 0.5 µm, (c) 1.0 µm, (d) 3.0 µm, (e) 12.0 µm dan (f) 25.0 µm dengan menggunakan SEM dengan serakan balik elektron. Manakala (a) adalah matriks Al tanpa penguat	122
Rajah 4.8	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap peratus pengecutan isipadu KML Al tulen diperkuat saiz partikel Al ₂ O ₃ berbeza	125
Rajah 4.9	Ketumpatan teori dan ketumpatan sinter bagi komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	126
Rajah 4.10	Graf peratus keliangan komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	128
Rajah 4.11	Graf nilai kekerasan mikro Vicker's komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	129
Rajah 4.12	Graf kekuatan patah komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza dalam ujian kelenturan tiga titik.	131
Rajah 4.13	Graf garis menunjukkan kesan pertambahan saiz partikel alumina terhadap modulus patah untuk spesimen KML dalam ujian kelenturan tiga titik.	134
Rajah 4.14	Morfologi permukaan patah dengan menggunakan SEM dengan elektron sekunder. (a) Matriks Al, (b) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 0.5 µm, (c) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 1.0 µm, (d) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 3.0 µm, (e) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 12.0 µm dan (d) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz .12.5 µm,	135
Rajah 4.15	Graf kehilangan berat melawan jarak gelongsoran bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ dengan saiz partikel berbeza	137
Rajah 4.16	Graf kadar haus melawan jarak gelongsoran bagi ujian haus komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	138
Rajah 4.17	Mikrograf optik permukaan haus bagi komposit KML Al tulen diperkuat dengan saiz partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza (50X). (a) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 0.5 µm, (b) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 1.0 µm, (c) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 3.0 µm, (d) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 12.0 µm dan (e) KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 25.0 µm	139
Rajah 4.18	(a) Mikrograf SEM dan (b) keputusan analisis EDX terhadap puing haus bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat Al ₂ O ₃ .	140

Rajah 4.19	Nilai CTE komposit KML Al tulen diperkuat saiz partikel penguat Al ₂ O ₃ berbeza pada julat suhu 25-500 °C.	142
Rajah 4.20	Mikrograf SEM komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ (12.0µm) pada peratusan berat berbeza kaedah metalurgi serbuk. (a) Al-5%Al ₂ O ₃ , (b) Al-10%Al ₂ O ₃ , (c) Al-15%Al ₂ O ₃ dan (d) Al-20%Al ₂ O ₃	144
Rajah 4.21	Graf garis pengaruh peratus berat partikel alumina terhadap peratus pengecutan isipadu.	146
Rajah 4.22	Ketumpatan teori dan ketumpatan pukal bagi komposit KML Al tulen diperkuat dengan peratus berat partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	147
Rajah 4.23	Graf peratus keliangan komposit KML Al tulen diperkuat dengan peratus berat partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	148
Rajah 4.24	Graf Nilai Kekerasan Vickers (HVN) komposit KML Al tulen diperkuat dengan peratus berat partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	149
Rajah 4.25	Graf modulus elastik komposit KML Al tulen diperkuat dengan peratus berat partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza	151
Rajah 4.26	Graf garis menunjukkan kesan pertambahan saiz partikel alumina terhadap kekuatan patah komposit KML Al tulen diperkuat dengan peratus berat partikel Al ₂ O ₃ yang berbeza dalam ujian kelenturan tiga titik.	152
Rajah 4.27	Graf kehilangan berat melawan jarak gelongsoran bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ dengan peratus berat berbeza .	154
Rajah 4.28	Graf kadar haus bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ pada peratus berat berbeza.	155
Rajah 4.29	Mikrograf permukaan haus sampel komposit KML Al tulen diperkuat dengan 10 % berat partikel Al ₂ O ₃ pada jarak gelongsoran 5000 m	156
Rajah 4.30	Mikrograf puing haus bagi ujian haus sampel komposit KML Al tulen diperkuat dengan 10 % berat partikel Al ₂ O ₃	156
Rajah 4.31	Keputusan analisis EDX terhadap puing haus yang terhasil dari uji haus bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat dengan 10 % berat partikel Al ₂ O ₃ (12.0 µm)	157
Rajah 4.32	Pekali pengembangan terma (CTE) bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ pada peratus berat yang berbeza untuk julat suhu 25 ⁰ C hingga 500 ⁰ C.	158
Rajah 4.33	Plot Tafel sampel komposit KML tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ bersaiz 12.0µm.	160
Rajah 4.34	Kadar kakisan ujian elektrokimia bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ pada saiz partikel yang berbeza	162
Rajah 4.35	Kadar kakisan ujian elektrokimia bagi sampel komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al ₂ O ₃ pada peratusan berat yang berbeza	163

SENARAI JADUAL

	Muka surat
BAB 2	
Jadual 2.1 Pelbagai jenis bahan matriks (Lee et. al., 1987)	17
Jadual 2.2 Jenis bahan yang lazim digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit (Mykkanen., 1987).	20
Jadual 2.3 Sifat-sifat penguat gentian (Jasmi, 2003)	22
Jadual 2.4 Komposisi kimia gentian alumina (Jasmi, 2003)	22
Jadual 2.5 Sifat-sifat komposit matriks logam (Autor, 1997)	30
Jadual 2.6 Perbezaan antara sifat-sifat tipikal termoset dan termoplastik (Autor, 1997).	32
Jadual 2.7 Aplikasi komposit matriks polimer (Autor, 1997)	32
Jadual 2.8 Sifat-sifat komposit matriks seramik (Autor, 1997).	33
Jadual 2.9 Perbandingan kekuatan patah antara bahan tunggal dengan komposit seramik (Autor, 1997).	34
Jadual 2.10 Sifat-sifat beberapa bahan yang penting dalam aplikasi struktur (Jasmi, 2003).	37
Jadual 2.11 Pembolehubah partikel dalam proses pencampuran (Randall, 1997).	46
BAB 3	
Jadual 3.1 Ciri-ciri umum bagi aluminium tulen (Callister, 2005).	70
Jadual 3.2 Ciri-ciri umum bagi alumina (Callister, 2005).	70
Jadual 3.3 Sifat-sifat umum asid strearik	71
Jadual 3.4 Parameter kajian fasa 2	78
Jadual 3.5 Kod sampel bagi eksperimen kajian parameter pencampuran	80
Jadual 3.6 Kod sampel bagi eksperimen penentuan parameter tekanan	83
Jadual 3.7 Kod sampel bagi eksperimen penentuan parameter pensinteran	84
Jadual 3.8 Peratus komposisi serbuk campuran bagi set 1	85
Jadual 3.9 Peratus komposisi serbuk campuran bagi set 2	101
BAB 4	
Jadual 4.1 Keputusan analisis taburan saiz dan purata saiz partikel sampel alumina menggunakan Malvern Mastersizer E Ver. 1.2	108
Jadual 4.2 Keputusan analisis purata saiz partikel sampel alumina menggunakan kaedah mikroskopik mikrograf SEM.	109

Jadual 4.3	Penghampiran purata saiz partikel bagi kedua-dua kaedah.	109
Jadual 4.4	Analisis XRF untuk penentuan komposisi kimia serbuk aluminium	110
Jadual 4.5	Analisis XRF untuk penentuan komposisi kimia serbuk alumina.	110
Jadual 4.6	Ketumpatan serbuk aluminium dan alumina.	113
Jadual 4.7	Ketumpatan sampel bagi ujian tempoh suhu rendaman	120

SENARAI KEPENDEKAN NAMA

Al	Aluminium
Al 2xxx	Aluminium Aloj siri 2000
Al 3xxx	Aluminium Aloj siri 3000
Al 3xxx	Aluminium Aloj siri 4000
Al 6xxx	Aluminium Aloj siri 6000
Al 7xxx	Aluminium Aloj siri 7000
Al 8xxx	Aluminium Aloj siri 8000
Al ₂ O ₃	Alumina
Al- Al ₂ O ₃	Komposit Aluminium Tulen diperkuat Partikel Alumina
Ag/AgCl	Argentum/Argentum Klorida
ASTM	America Standard Testing Materials
B	Boron
BN	Boron Nitrida
B ₄ C	Boron Karbida
C	Karbon/Grafit
g/cm ³	Gram per Sentimeter Padu
GPa	Giga Pascal
CTE	Pekali Pengembangan Terma
HVN	Nilai Kekerasan Vicker
KMA	Komposit Matriks Aluminium
KMAT	Komposit Matriks Aluminium Tulen
KML	Komposit Matriks Logam
KMP	Komposit Matriks Polimer
KMS	Komposit Matriks Seramik
Komposit KML Al tulen	Komposit Matriks Logam Aluminium Tulen
MPa	Mega Pascal
NaCl	Natrium Klorida
NiAl ₃	Nikel Alumida
PFZ	Zon Bebas Pemendakan
ppm	Putaran per minit
SEM	Mikroskop Imbasan Elektron
Si ₃ N ₄	Silikon Nitrida
SiC	Silikon Karbida
SiO ₂	Silika

TiB	Titanium Bromida
W	Tungsten
WC	Tungsten Karbida
XRD	Pembelauan Sinar-X
XRF	Pendaflouran Sinar-X

SENARAI SIMBOL

% berat	Peratus Berat
% isipadu	Peratus Isipadu
E_{corr}	Bezaupaya Kakisan
i_{corr}	Ketumpatan Arus Kakisan
η_a	Pengutuban Pengaktifan
i	Ketumpatan Arus
I_o	Ketumpatan Arus Awal
i_L	Had Ketumpatan Arus Resapan
D_m	Ketumpatan Matriks Logam
D_p	Ketumpatan Penguat
KN/min	Kilonewton per Minit
L_T	Panjang dalam mm pada suhu T°C
L_o	Panjang asal
μm	Mikron
mm^3/m	Milimeter padu per Minit
m/K	Meter per Kelvin
mV	miliVoltan
mpt	Mils per Tahun

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

- 1 **Khairul Rafezi Ahmad**, J. B. Shamsul, Luay Bakir Hussain and Zainal Arifin Ahmad, “*The Effect of Reinforcement Particle Size on the Microstructure and Hardness of Al/(Al₂O₃)_p Via P/M Route*”. - 2th Scientific Conference on Electron Microscopy (2003).
- 2 **Khairul Rafezi Ahmad**, J. B. Shamsul, Luay Bakir Hussain and Zainal Arifin Ahmad - “*Preliminary Study of Aluminum Metal Matrix Composite Reinforced with Alumina Particle Via P/M Route*” - 3rd International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals and Environment (RAMM2003).
- 3 **Khairul Rafezi Ahmad**, J. B. Shamsul, Luay Bakir Hussain and Zainal Arifin Ahmad – “*The Effect of Weight Percentage on Coefficient of Thermal Expansion (CTE) of Aluminium Composite Reinforced Alumina Particle*”. - 2nd Colloquium on Postgraduate Research: National Postgraduate Colloquium on Materials, Minerals and Polymers 2004 (MAMIP 2004).
- 4 **Khairul Rafezi Ahmad**, J. B. Shamsul, Luay Bakir Hussain and Zainal Arifin Ahmad – “*Dry Sliding Wear Behaviour of Alumina Particle Reinforced Aluminum Composite Synthesized Via Powder Metallurgy*”. - International Conference on X-Ray and Related Techniques in Research and Industry (ICXRI 2004).
- 5 **Khairul Rafezi Ahmad**, J. B. Shamsul, Luay Bakir Hussain and Zainal Arifin Ahmad – “*The Effect of Weight Percentage on the Sliding Wear Behaviour of Al/Al₂O_{3(p)} Composite*” - 13th Scientific Conference EMSM, Palm Garden Hotel Putra Jaya, December 2004.
- 6 **Khairul Rafezi Ahmad**, M. W. M. Fitri, A. N. M. Shima, M. N. Mazlee, J. B. Shamsul, Zainal Arifin Ahmad, *The Effect of Reinforcement Particle Size on The Morphology and CTE of Aluminium Metal Matrix Composite Reinforced with Alumina Particles*, International Conference on Recent Advances In Mechanical and Materials Engineering (ICRAMME 2005), Universiti Malaya, May 2005.
- 7 **Khairul Rafezi Ahmad**, Shamsul Baharin Jamaludin, Luay Bakir Hussain, & Zainal Arifin Ahmad, *The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composite*, *Jurnal Teknologi*, 42(A) Jun. 2005: 49–57. **(JURNAL)**

ABSTRAK

Kajian ini menjelaskan tentang kesan saiz partikel (0.5 μm , 1.0 μm , 3.0 μm , 12.0 μm dan 25.0 μm) dan peratus berat (5 % bt., 10 % bt., 15 % bt. dan 20 % bt.) bahan partikel penguat alumina ke atas sifat komposit matriks logam (KML) aluminium tulen yang diperkuatkan dengan partikel alumina termasuk sifat-sifat fizikal, mekanikal, terma dan rintangan kakisan melalui kaedah metalurgi serbuk. Penyelidikan terhadap komposit ini dilakukan disebabkan oleh faktor aloi Al mempunyai rintangan terhadap kakisan yang rendah berbanding Al tulen. Komposit ini dihasilkan melalui kaedah metalurgi serbuk. Serbuk campuran komposit dibaurkan selama 4 jam dengan bantuan 15 % berat bebola pengadun. Serbuk campuran dipadatkan pada tekanan 250 MPa. Pensinteran dilakukan pada suhu 600°C selama 5 jam di dalam persekitaran lengai gas argon. Analisis mikrostruktur, pengecutan/pengembangan, ketumpatan, keliangan, kekerasan, modulus getaran sonik, ujian kelenturan tiga titik, ujian rintangan haus, analisis pengembangan terma dan ujian kerintangan kakisan dilakukan ke atas sampel komposit yang telah disinter. Penambahan partikel penguat Al_2O_3 ke dalam matriks Al tulen dapat meningkatkan rintangan kakisan disamping dapat meningkatkan sifat fizikal, mekanikal dan terma matriks Al tulen. Ketumpatan dan keliangan komposit masing-masing berada dalam julat 2.71 – 2.88 gcm^{-3} dan 4.17 – 8.10 %. Komposit yang diperkuatkan dengan partikel Al_2O_3 bersaiz 0.5 μm mempamerkan nilai kekerasan tertinggi iaitu 70.1 HVN dan nilai pekali pengembangan terma terendah iaitu 15.2×10^{-6} $\mu\text{m}/\text{m.K}$. KML Al diperkuatkan partikel mempamerkan rintangan kehausan dan kakisan yang lebih baik berbanding matriks tanpa penguat. Partikel halus memberikan penghalangan lebih banyak terhadap pergerakan kehelan atau gelongsoran satah matriks daripada berlaku. Sampel komposit yang diperkuatkan dengan partikel halus mempunyai bilangan penghalang yang tinggi per unit luas berbanding partikel lebih besar pada pecahan isipadu atau berat yang sama. Peningkatan peratus berat partikel penguat menambah bilangan halangan iaitu partikel-partikel Al_2O_3 yang menghalang

pengerakan kehelan yang membawa kepada peningkatan nilai kekerasan. Secara keseluruhan kajian mendapati peningkatan saiz partikel penguat akan meningkatkan peratus pengecutan, ketumpatan, modulus elastik dan rintangan haus bagi komposit tersebut. Manakala sebaliknya berlaku bagi peratus keliangan, modulus patah dan pekali pengembangan terma bagi komposit dengan peningkatan partikel saiz. Dari segi peningkatan peratus berat penguat pula didapati ketumpatan, nilai kekerasan, modulus elastik dan kerintangan haus turut meningkatkan. Manakala peratus keliangan, peratus pengecutan, modulus patah dan pekali pengembangan terma komposit menurun dengan penambahan peratus berat partikel penguat Al_2O_3 .

THE FABRICATION AND CHARACTERISATION OF PURE ALUMINUM COMPOSITE/ALUMINA PARTICLE VIA POWDER METALLURGY

ABSTRACT

This study describes the effect of particles sizes (0.5 μm , 1.0 μm , 3.0 μm , 12.0 μm and 25 μm) and weight percentage (5 wt. %, 10 wt. %, 15 wt. %, 20 wt. %) of alumina particles reinforcement materials on the properties of pure Al metal matrix composites (MMC) reinforced with alumina particles including the physical, mechanical, thermal properties and corrosion resistance via powder metallurgy method. This research was done due to the factor that Al alloy have needs to improve the low corrosion resistance of Al alloy compared to pure Al. The composite was produced via powder metallurgy method. The composites powder were milled for 4 hours with addition of 15 wt.% of milling media. Composite mixture was compacted at pressure 250 MPa. Sintering was done at 600°C for 5 hours in inert argon gas environment. Microstructure analysis, shrinkage/expansion, density, porosity, hardness, vibration sonic modulus, three point bend test, thermal expansion and corrosion resistant were carried out on the sintered composites. The addition of Al_2O_3 particles into the Al matrix enhanced the corrosion resistance and also increased the physical, mechanical and thermal properties of Al matrix. Density and porosity of the composites are in range of 2.71 – 2.88 g/cm^{-3} and 4.17 -8.10 %, respectively. A composite reinforced with 0.5 μm Al_2O_3 particle shows the highest hardness value which is 70.1 HVN and lowest coefficient of thermal expansion which is $15.2 \times 10^{-6} \text{ m.K}^{-1}$. The pure Al MMC reinforced by particles shows better wear and corrosion resistance compared to the matrix without reinforcement. The small particles act as barrier to prevent movement of dislocation and sliding of matrix plane. Composite reinforced by smaller particles contains highest amount of barrier per unit area compared to coarser particle sizes at the same volume and weight percentage. Increasing the weight percentage of reinforcement particles contributed to the increasing amount of barrier which is Al_2O_3 which prevent the movement of dislocation

which contributed to the increasing hardness value. In overall, this research found that the increase in particle sizes of reinforcement resulted in increasing of shrinkage, density, elastic modulus and wear resistance of the composites. Meanwhile, percentages of porosity, modulus of rupture, coefficient of thermal expansion increase as the particle sizes increase. The increasing of weight percentage of reinforcement has increased the density, hardness value, elastic modulus and wear resistance. Meanwhile percentage of porosity, shrinkage percentage, modulus of rupture and thermal expansion coefficient of the composites decrease with the increases of weight percentage of Al_2O_3 reinforcement particle.

BAB 1

PENGENALAN

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Komposit ialah satu bahan yang terhasil daripada gabungan dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat yang berbeza secara kimia dan mempunyai antaramuka di antaranya. Setiap bahan dalam komposit mempunyai peratus komposisi melebihi 5%. Komposit juga merupakan bahan buatan manusia atau semulajadi yang mempunyai sifat yang berbeza daripada sifat bahan asal (Matthew dan Rawlings, 1999).

Komposit dapat digolongkan mengikut kumpulan matriks yang digunakan iaitu, komposit matriks logam (KML), komposit matriks polimer (KMP) dan komposit matriks seramik (KMS). Selain itu, komposit dapat dikumpulkan mengikut taburan komponen yang terserak, misalnya komposit selanjat atau tidak selanjat. Komposit juga dikategorikan mengikut geometri bahan penguat, contohnya, komposit gentian, laminat dan partikel.

Komposit terdiri daripada dua fasa yang berbeza iaitu: matriks dan bahan penguat. Fasa matriks merupakan satu fasa berterusan dan selalunya berfungsi sebagai pengikat bahan penguat. Matriks juga berfungsi memindahkan atau mengagihkan beban keada kepada bahan penguat. Mekanisme pemindahan tersebut bergantung kepada ikatan antaramuka di antara matriks dan bahan penguat. Fasa bahan penguat merupakan fasa yang ditambahkan pada pecahan isipadu yang lebih rendah daripada fasa matriks untuk membentuk antaramuka dengan fasa matriks. Fungsi bahan penguat dalam komposit adalah bergantung kepada sifat asal bahan penguat dan sifat antaramuka yang terbentuk.

Terdapat banyak manfaat dalam pembangunan komposit matriks logam (KML) kerana komposit ini mempunyai beberapa sifat mekanikal yang unik seperti ketumpatan rendah, kekuatan tinggi, keliatan tinggi dan sifat lain yang menarik. Matriks logam yang selalu digunakan adalah aloi aluminium, aloi titanium dan aloi magnesium. Bahan penguat yang digunakan adalah daripada bahan seramik contohnya, silikon karbida dan alumina kerana berharga murah. Komposit matriks logam boleh diperkuatkan secara penyerakan partikel, gentian pendek dan gentian panjang. Teknik penghasilan KML diperkuatkan bahan penguat partikel yang digunakan adalah metalurgi serbuk dan tuangan campuran (Kaczmar et. al., 2000).

KML diperkuatkan dengan fasa bahan penguat partikel akan menjadi suatu bahan yang menarik untuk penghasilan struktur aeroangkasa yang termaju, aplikasi dalam bidang elektronik, struktur dan peralatan sukan kerana sifat kumpulan bahan ini boleh diubahsuai dengan pertambahan bahan penguat dan peratus berat yang berbeza. Pada kes yang tertentu, KML yang diperkuatkan dengan partikel penguat akan diberi perhatian kerana kumpulan bahan ini mempunyai kekuatan spesifik yang tinggi dan keliatan spesifik yang tinggi pada suhu bilik atau pada julat suhu tertentu. Sifat elastik komposit matriks logam adalah sangat bergantung kepada parameter mikrostruktur gentian penguat iaitu bentuk, saiz, orientasi, taburan dan pecahan isipadu (Jung, 1999).

KML diperkuatkan oleh bahan penguat partikel merupakan gabungan di antara fasa logam atau aloinya dengan peratusan isipadu bahan penguat tertentu dengan bentuknya agak seragam. Seramik selalu ditambahkan ke dalam logam untuk membaiki sifat bahan matriks asal. Sifat-sifat logam yang boleh dibaiki ialah peningkatan kekuatan modulus, rintangan haus atau merendahkan pekali pengembangan terma aluminium. Di samping itu, KML yang diperkuatkan oleh bahan penguat partikel juga memberikan sifat isotropik. KML yang mengandungi pecahan

isipadu bahan penguat di bawah 30 % mampu dimampatkan dengan kebanyakan kerja logam iaitu permesinan, pembentukan dan kimpalan (Clyne, 2000).

Dalam KML, bahan penguat partikel yang ditambah ke dalam logam selalunya adalah seramik tetapi pada kes tertentu bahan bukan seramik seperti bahan refraktori juga digunakan (tungsten dalam logam kuprum merupakan contoh yang utama). Bahan penguat partikel yang digunakan mesti memenuhi keperluan berikut (Clyne, 1993)

- a) Harga bahan penguat yang dipilih mesti lebih murah daripada bahan penguat lain.
- b) Bahan matriks dan bahan penguat mestilah kurang bertindak balas secara kimia (kecuali jika komposit '*in-situ*' dihasilkan).
- c) Sentuhan di antara bahan matriks dan bahan penguat mestilah mempunyai prestasi baik. Fasa penguat juga mestilah stabil secara kimia apabila bersentuhan dengan bahan logam.
- d) Tindakbalas antarafasa tidak berlaku. Oleh itu, ikatan di antara fasa matriks dan bahan penguat adalah kuat dan cuma boleh dilemahkan oleh beberapa lapisan bahan rapuh.
- e) Bahan penguat mestilah memperbaiki sifat matriks asal.

Aluminium (Al) merupakan satu logam yang sangat ringan iaitu mempunyai ketumpatan pukal sebanyak 2.71g/cm^3 , iaitu satu pertiga daripada logam besi

(7.87g/cm^3). Takat lebur Al ($660.4\text{ }^\circ\text{C}$) juga lebih rendah daripada besi ($1538\text{ }^\circ\text{C}$). Al mempunyai struktur hablur berbentuk kiub berpusat muka (KBM) pada suhu bilik (Callister,1997). Al tulen dapat menghasilkan satu lapisan oksida terlindung iaitu alumina (Al_2O_3) yang menyebabkan Al tulen mempunyai rintangan kakisan yang baik. Al mempunyai sifat kekonduksian haba dan elektrik yang baik. Al tulen bersifat mulur kerana mempunyai pemanjangan terikan sebanyak 21 %. Tetapi Al tulen mempunyai kekuatan tegangan yang rendah iaitu 70 MPa dan kekerasan yang rendah (Kaczmar, 2000).

Komposit matriks Al adalah campuran Al atau aloi Al dengan bahan penguat seperti bahan seramik yang lazim seperti Al_2O_3 dikaji oleh Zamzam dan El-Kharbotly (1993), Huda et. al (1994), Mezzasalma (2000), Martinez et. al (2003), Zebarjad et. al. (2007), silikon karbida (SiC) oleh Suresh et. al. (1993), Bhanuprasad et. al. (2002), Zaki dan Aleem (2002), grafit oleh Legzdins et. al. (1997), boron (B) dan titanium bromide (TiB_2). Komposit matriks Al ini mendapat perhatian ramai penyelidik kerana cirri-cirinya lebih baik berbanding Al dan aloi Al. Komposit ini dilaporkan mempunyai modulus kekuatan tegangan yang baik, kekuatan rayapan yang tinggi, tahan lesu, rintangan hentaman yang baik dan kekerasan yang tinggi.

Al_2O_3 mempunyai ketumpatan pukal 3.96 g/cm^3 , takat lebur yang tinggi iaitu $2054\text{ }^\circ\text{C}$, sifat rintangan aliran elektrik baik dan kekonduksian haba lemah. Al_2O_3 mempunyai nilai kekerasan yang baik dan kekuatan tegangan yang tinggi. Al_2O_3 bersifat tegar dan pekali pengembangan terma pada suhu tinggi adalah rendah iaitu sebanyak $8.2\text{ }\mu\text{m/K}$. Al_2O_3 merupakan bahan polihablur yang dapat dibentuk dengan proses pensinteran atau penekanan panas pada suhu $1700\text{ }^\circ\text{C}$ (Murno, 1997).

Oleh itu, penambahan partikel Al_2O_3 ke dalam matriks Al akan memperbaiki beberapa sifat matriks seperti rintangan haus, kekuatan tegangan, pekali

pengembangan terma dan kekerasan. KML ini bukan sahaja membaiki sifat asal matriks Al malah dapat mengekalkan sifat asal Al yang menarik. Sifat yang dikekalkan ialah rintangan kakisan, pengaliran elektrik (mungkin berkurang pada skala kecil), ketumpatan rendah, kekonduksian terma dan keliatan KML ini secara umum sesuai diaplikasikan dalam bidang automotif dan aeroangkasa.

Terdapat beberapa sifat KML ini yang menyebabkan bahan ini berpotensi dalam bidang automotif. Ramai penyelidik berusaha keras mencari bahan baru yang dapat menghasilkan komponen enjin yang mempunyai ketumpatan rendah, kebisingan dikurangkan pada tahap minimum dan penggunaan bahan api dengan efektif. KML ini mempunyai sifat unik termasuk kekuatan tegangan dan keliatan tinggi bersama rintangan haus, pekali pengembangan terma rendah dan akhir sekali kekonduksian haba tinggi. KML ini juga lazim dihasilkan dengan kaedah yang murah iaitu penuangan campuran, penyemperitan tuangan malah metalurgi serbuk juga diberi perhatian sekarang. KML ini sesuai diaplikasi dalam penghasilan piston, rod sambungan, bahagian injap keretapi dan sambungan silinder. Aplikasi yang paling berjaya ialah KML ini mampu menghasilkan komponen sarungan cincin enjin diesel (Cahn, 1996).

Pencarian bahan baru dalam bidang aeroangkasa merupakan satu pendekatan untuk menggantikan bahan konvensional seperti logam aloi dan seramik yang mempunyai aplikasi terhad. KML ini mempunyai ciri unik seperti pekali pengembangan terma linear rendah, rintangan kakisan rendah dan ketumpatan rendah menjadi bahan tarikan minat para pereka enjin dan rangka kapal terbang (Cahn, 1996)

Bahan matriks yang sering digunakan ialah aloi aluminium berbanding logam lain. Ini disebabkan terdapatnya kombinasi ciri yang unik antara ketahanan kakisan, ketumpatan rendah dan sifat mekanikal yang baik pada logam ini. Aloi aluminium yang

biasa digunakan sebagai bahan matriks adalah 1XXX (aluminium tulen), 2XXX (aloi aluminium-kuprum), 5XXX (aloi aluminium-magnesium), 6XXX (aloi aluminium-magnesium-silikon), 7XXX (aloi aluminium-zink) dan 8XXX (aloi aluminium-lithium).

Al 6061 iaitu aloi aluminium-magnesium-silikon dengan kekuatan yang sederhana tinggi dan kekuatan lesu yang sederhana sering digunakan sebagai bahan matriks. Komposit matriks aloi aluminium-kuprum adalah lebih baik berbanding matriks aloi aluminium-zink. Terdapat suatu lapisan antara muka matriks-tetulang bagi komposit matriks aluminium-zink yang akan melemahkan sifat komposit ini. Aloi aluminium-silikon-magnesium digunakan secara meluas untuk pelbagai kegunaan yang memerlukan nisbah kekuatan per berat yang tinggi. Aloi aluminium-silikon seperti A356 dan A357 mempunyai kemuluran yang tinggi. Ini memudahkan proses pembentukan sekunder (Jasmi, 2003).

Di antara komposit aloi aluminium yang telah dikomersialkan oleh pengeluar adalah DWA *Aluminum Composite* (6092/SiC/17.5p, 6092/SiC/25p, 2009/SiC/XXp), *Alyn Corporation* (6092/SiC or B₄C/XXp), *Aerospace Metal Composites* (2124/SiC/25p or AMC225xe, 6061/SiC/40p or AMC640xa) dan *Duralcan* (359/SiC/XXp, 339/SiC/XXp) (Hunt, 2000).

1.2 Penyataan Masalah

Penyelidikan terhadap komposit matriks aluminium diperkuat dengan partikel alumina ini didorong oleh permasalahan dan faktor berikut iaitu kerintangan kakisan yang rendah oleh matriks aloi aluminium, penambahan bahan seramik (Al₂O₃) dapat meningkatkan sifat mekanikal matriks aluminium tulen dan kajian kesan saiz partikel dan peratusan berat alumina terhadap sifat mekanikal dan kakisan komposit aluminium tulen.

Ramai penyelidik seperti Fontana (1987), Ghali (2000), Murakami (2000), Pidaparti (2008) menjalankan penyelidikan terhadap matriks aluminium yang di aloi dengan dengan unsur pengaloiian seperti kuprum (Cu), zink (Zn), mangan (Mn) dan magnesium (Mg) berbanding matriks aluminium tulen. Walau bagaimanapun, menurut mereka penambahan unsur pengaloiian ini akan merendahkan rintangan kakisan matriks tersebut. Matriks aluminium tanpa unsur pengaloiian dapat mengatasi masalah ini (Chang, et. al., 2008). Kakisan adalah fenomena elektrokimia, di mana matriks yang terdiri dari satu fasa atau lebih yang homogen mempunyai sifat rintangan kakisan yang lebih baik disebabkan oleh keupayaan elektrokimia/galvanik yang hampir sama. Berbanding matriks aloi yang mempunyai dua atau lebih fasa yang mempunyai beza keupayaan yang tinggi. Oleh itu, matriks aluminium tulen adalah secara relatif mempunyai kerintangan terhadap kakisan yang lebih baik berbanding matriks aloi aluminium (Ghali, 2000). Bagi aloi Al-Cu, kewujudan fasa CuAl_2 menyebabkan matriks aloi mempunyai beza keupayaan dan mengakibatkan kakisan antarabutir. Penambahan unsur Mg melebihi 5% ke dalam matriks Al-Mg akan menyebabkan kecenderungan untuk jujuk Al dan Mg termendak dari larutan pepejal. Medium kakisan tertentu akan menyerang jujuk tersebut (Ghali, 2000).

Ramai penyelidik seperti Taha (2001), Murakami (2000) dan El-Sabbagh (1999) melaporkan bahawa penambahan unsur penguat seperti bahan seramik (Al_2O_3 , SiC, TiC dan WC) dapat meningkatkan kekuatan mekanikal komposit matriks aloi aluminium. Mereka berpendapat penambahan bahan seramik ke dalam matriks dapat meningkat kekakuan, kekerasan dan kerintangan terhadap kehausan. Tiada penyelidikan khusus yang telah dijalankan mengenai penghasilan dan pencirian komposit yang serupa tetapi menggunakan aluminium tulen sebagai matriks.

Penggunaan partikel Al_2O_3 dilaporkan dapat meningkatkan kekuatan mekanikal komposit matriks aluminium kerana sifatnya yang keras, lengai, isotropik dan stabil

(Yang, 2007; Zaberjad dan Sajjadi, 2007). Satu kajian berkaitan dengan saiz partikel Al_2O_3 terhadap sifat-sifat komposit aluminium tulen perlu dilakukan. Sehingga sekarang kebanyakan penyelidikan hanya tertumpu kepada kesan pecahan isipadu sahaja seperti yang dilakukan oleh Zaberjad dan Sajjadi (2007), Al-Qutub et. al. (2006) serta Zamzam dan El-Kharbotly (1993).

1.3 Objektif Kajian

Terdapat dua objektif penyelidikan ini dijalankan :

1. Menentukan parameter optimum dalam penghasilan komposit matriks aluminium tulen (KMAT) diperkuatkan partikel Al_2O_3 yang mempunyai kekuatan mekanikal dan kerintangan kakisan yang memuaskan.
2. Mengkaji kesan saiz partikel dan peratusan berat bahan penguat Al_2O_3 terhadap sifat fizikal, mekanikal, terma dan kerintangan kakisan KMAT .

1.4 Pendekatan Kajian

Terdapat lima fasa utama dalam kajian ini iaitu:

Fasa 1 : Analisis terhadap bahan mentah yang digunakan dalam penghasilan komposit KML Al tulen diperkuat Al_2O_3 .

Pencirian bahan mentah dilakukan bagi mengenal pasti morfologi partikel, saiz dan taburan saiz partikel, komposisi kimia, fasa dan penentuan graviti spesifik serbuk bahan mula. Pencirian ini penting bagi mengkaji sifat-sifat bahan mentah yang boleh mempengaruhi sifat komposit yang dihasilkan.

Fasa 2: Kajian terhadap parameter optimum penghasilan komposit matriks aluminium tulen yang diperkuat partikel alumina melalui kaedah metalurgi serbuk.

Fasa ini melibatkan kajian bagi menentukan parameter optimum yang sesuai digunakan dalam proses fabrikasi atau penghasilan KML Al tulen yang diperkuat dengan partikel Al_2O_3 . Kajian ini melibatkan penentuan nilai optimum parameter pencampuran (tempoh pencampuran dan peratusan berat bebola pengadun), parameter pemadatan (tekanan) dan parameter pensinteran (tempoh rendaman) komposit yang akan dihasilkan.

Fasa 3 : Kajian terhadap kesan saiz partikel bahan penguat keatas sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit Al- Al_2O_3 .

Fasa ini melibatkan kajian terhadap kesan saiz partikel Al_2O_3 ke atas sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al_2O_3 yang dihasilkan. Di antara ujian yang dijalankan adalah seperti ketumpatan, keliangan, analisis mikrostruktur, ujian mikrokekerasan, ujian rintangan haus, ujian kekuatan modulus getaran sonik, ujian kelenturan tiga titik, ujian pengembangan terma (CTE). Saiz partikel Al_2O_3 yang digunakan dalam kajian adalah 0.5 μm , 1.0 μm , 3.0 μm , 12.0 μm dan 25.0 μm .

Fasa 4 : Kajian terhadap kesan peratusan berat bahan penguat terhadap sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit Al- Al_2O_3 .

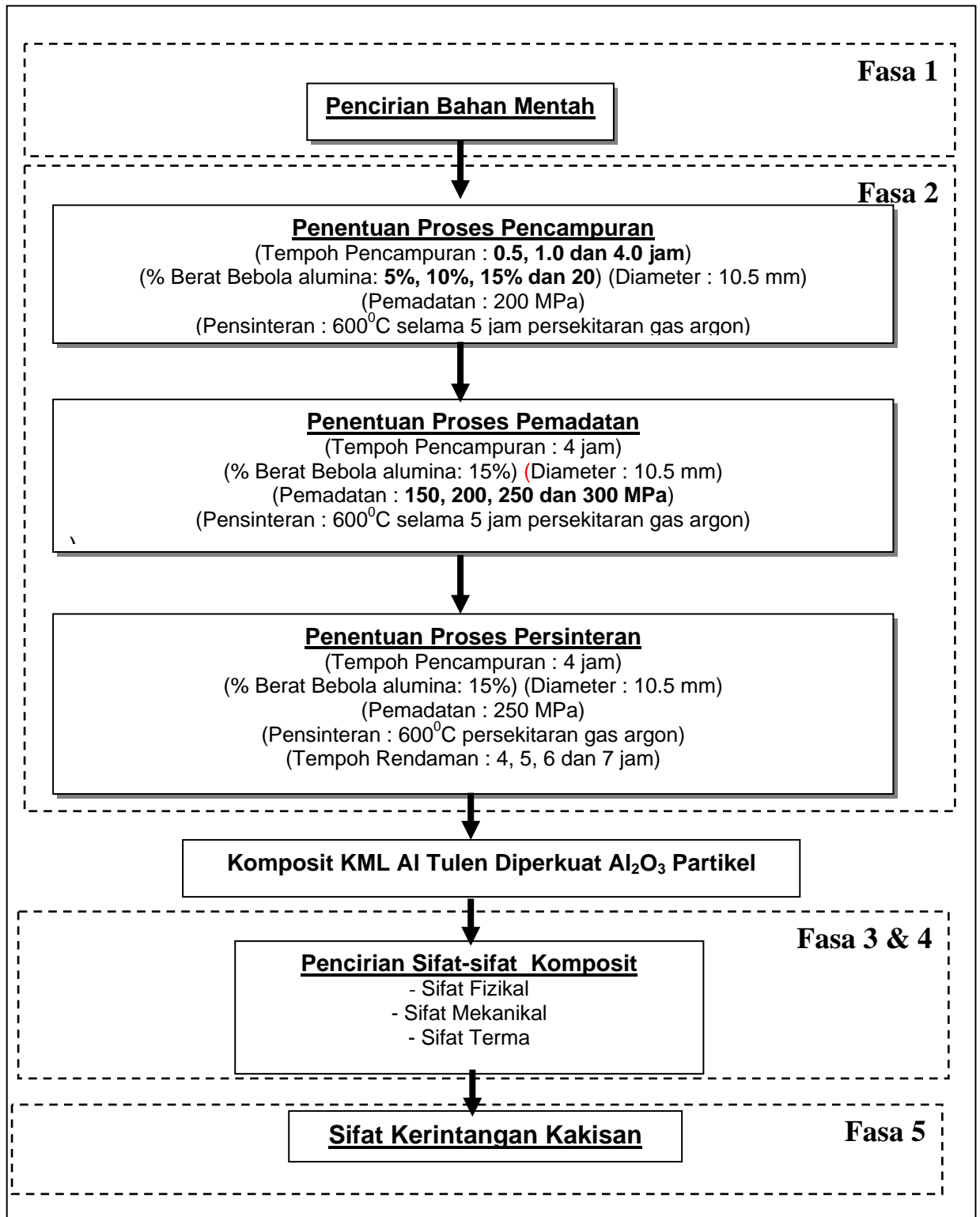
Fasa ini melibatkan kajian terhadap peratusan berat partikel Al_2O_3 ke atas sifat-sifat fizikal, mekanikal dan terma komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al_2O_3

yang dihasilkan. Di antara ujian yang dijalankan adalah seperti ketumpatan, keliangan, analisis mikrostruktur, ujian mikrokekerasan, ujian rintangan haus, ujian kekuatan modulus getaran sonik, ujian kelenturan tiga titik, ujian pengembangan terma (CTE). Peratusan berat yang digunakan dalam kajian ini adalah 5, 10, 15, dan 20 % berat bahan penguat (partikel Al_2O_3).

Fasa 5 : Kajian terhadap kesan saiz partikel dan peratusan berat bahan penguat ke atas sifat kerintangan kakisan komposit Al- Al_2O_3 .

Fasa terakhir adalah kajian terhadap kesan saiz partikel dan peratusan berat Al_2O_3 terhadap sifat kerintangan kakisan komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al_2O_3 . Ujian kakisan menggunakan kaedah elektrokimia dilakukan bagi menentukan kadar kakisan komposit Al- Al_2O_3 yang dihasilkan.

Ringkasan kajian ini digambarkan dalam Rajah 1.1.



Rajah 1.1: Carta alir penyelidikan kajian kesan saiz dan peratusan berat partikel Al₂O₃ terhadap sifat-sifat komposit KML Al tulen diperkuat partikel Al₂O₃ melalui kaedah metalurgi serbuk.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Pendahuluan

Terdapat banyak situasi dalam kejuruteraan, dimana tiada satu bahan tunggal yang sesuai atau dapat memenuhi keperluan reka bentuk dan aplikasi tertentu. Kebanyakan perkembangan produk teknologi kini memerlukan sifat-sifat bahan yang unik yang tidak dapat dipenuhi oleh aloi logam konvensional, seramik dan bahan polimer semata-mata. Sebagai contohnya dalam bidang industri pembuatan kapal terbang, seorang jurutera inginkan bahan struktur yang berketumpatan rendah, kuat, tegar dan mempunyai rintangan lelasan dan hentaman yang baik. Secara lazimnya bahan yang kuat adalah tumpat dan peningkatan kekuatan atau kemuluran akan memberikan kekuatan hentaman yang lemah. Oleh, itu adalah sukar atau mustahil sesuatu bahan itu dapat memenuhi semua keperluan ini. Walaupun begitu, apabila dua bahan digabungkan mungkin boleh mempunyai sifat diperlukan dan memberi penyelesaian terhadap masalah pemilihan bahan yang memerlukan sifat unik ini. Kombinasi sifat-sifat bahan yang diperlukan telah wujud dengan terhasilnya bahan komposit. Secara umumnya, komposit adalah bahan berbilang fasa. Bahan komposit menawarkan sifat-sifat yang menarik hasil dari gabungan dua atau lebih bahan.

Komposit pertama yang wujud dalam kehidupan kita adalah dari alam semulajadi, contohnya kayu. Kayu adalah komposit gentian selulosa yang bergabung dengan perekat atau matriks lignin lembut. Pengubahsuaian komposit semulajadi ini boleh dilakukan dengan menambah bahan butiran tambahan dalam kayu lapis pada arah melintang bagi memperbaiki kelemahan disebabkan kayu lebih lemah dalam keadaan melintang daripada keadaan memanjang. Konsep komposit juga telah digunakan sejak beribu-ribu tahun dahulu. Orang Eskimo di Greenland mengeraskan air laut sebagai ais berhablur garam untuk dijadikan struktur binaan yang bersifat lebih

keras daripada ais tasik. Begitu juga dengan struktur tanah liat yang diperkuatkan dengan jerami yang dijadikan sebagai bahan binaan (Frantsevich, 2000).

2.2 Definisi bahan komposit

Terdapat pelbagai definisi bagi bahan komposit bergantung kepada pandangan penulis masing-masing. Secara ringkas bahan komposit boleh didefinisikan sebagai hasil gabungan dua atau lebih bahan lain untuk membentuk bahan baru yang mempunyai sifat-sifat hasilan gabungan kedua-dua bahan asal (Budinski & Budinski, 1999). Dalam era moden ini bahan komposit boleh didefinisikan sebagai suatu sistem bahan yang mengandungi campuran atau gabungan dua atau lebih jujuk-jujuk mikro atau makro (yang mempunyai pembezaan dalam segi komposisi kimia, dan pada dasarnya tidak melarut antara satu sama lain), serta memiliki sifat-sifat yang lebih baik daripada sifat komponen-komponen individu tersebut (Schwartz, 1992). Namun begitu, ramai orang menggunakan definisi seperti di bawah sebagai suatu perkara asas untuk memahami dengan lebih jelas berkaitan dengan bahan komposit:

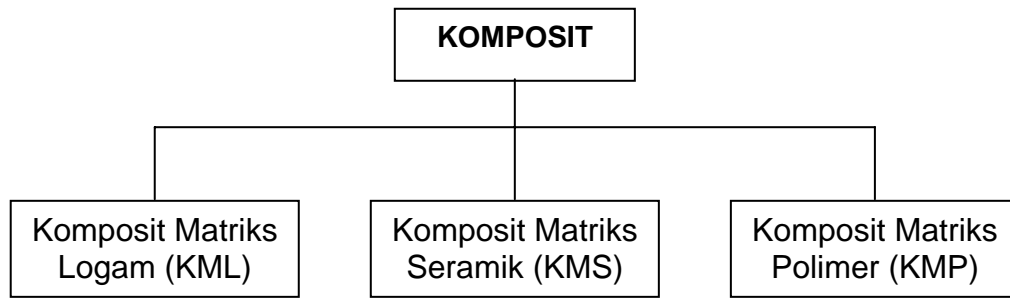
- i Suatu komposit itu mengandungi lebih dari satu bahan dan dapat dipisahkan secara mekanikal dan fizikal.
- ii Komposit boleh dihasilkan dengan mencampurkan bahan–bahan yang berlainan sehingga mencapai kepada suatu tahap dimana salah satu bahan tersebut tersebar di dalam bahan jujuk yang satu lagi dengan kaedah yang terkawal agar suatu sifat yang optimum dapat diperolehi.
- iii Sifat komposit yang terhasil adalah lebih baik dan mungkin unik dari aspek-aspek tertentu berbanding komponen–komponen jujuknya.

Dari segi sifat struktur, bahan komposit boleh ditakrifkan secara ringkas dengan suatu bahan yang terdiri daripada fasa matriks dan penguat (Theodore,1999). Gabungan dua fasa ini terdiri daripada fasa pertama yang dikenali sebagai fasa penguat atau tetulang yang terdiri daripada bentuk kepingan, gentian dan partikel. Fasa penguat merupakan fasa yang ditambahkan pada pecahan isipadu yang lebih rendah daripada fasa matriks untuk membentuk antaramuka dengan fasa matriks. Fungsi bahan penguat dalam komposit adalah bergantung kepada sifat asal bahan penguat dan sifat antaramuka yang terbentuk. Fasa ini lebih bersifat kaku dan kuat. Manakala fasa kedua pula adalah fasa yang mengelilingi dan mengikat fasa penguat dikenali sebagai fasa matriks. Fasa matriks ini lebih cenderung bersifat mulur dan liat. Matriks juga berfungsi memindahkan atau mengagihkan beban keaan kepada bahan penguat. Mekanisme pemindahan tersebut bergantung kepada ikatan antaramuka di antara matriks dan bahan penguat. Secara asasnya terdapat tiga jenis bahan sebagai fasa matriks yang lazim digunakan iaitu fasa polimer, fasa seramik dan fasa logam (Clyne, 2000).

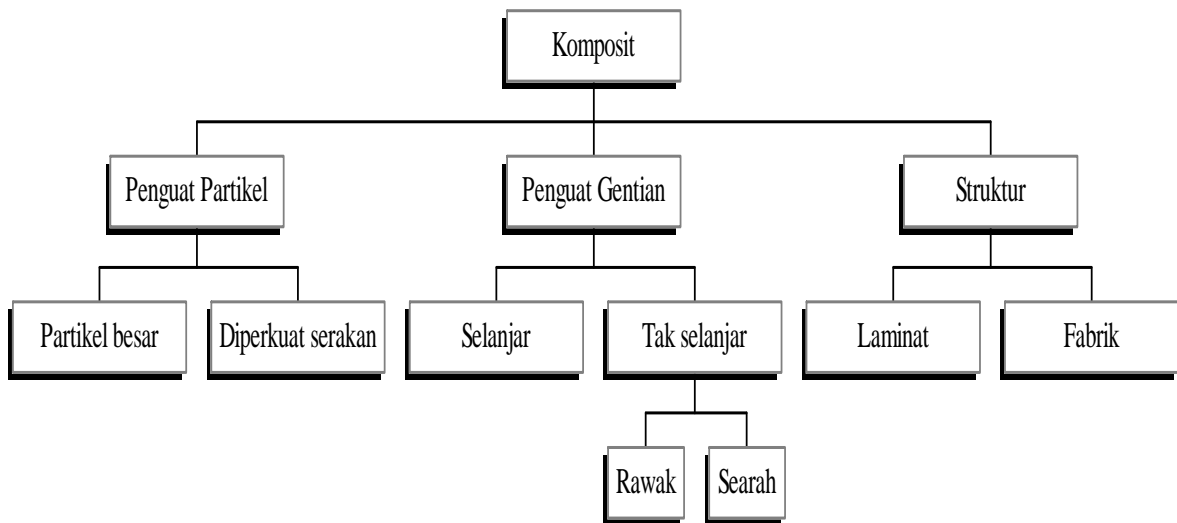
2.3 Pengkelasan komposit

Komposit dikelaskan berasaskan kepada jenis matriks dan bentuk-bentuk fasa penguat di dalam jasad komposit tersebut. Komposit dapat digolongkan mengikut kumpulan matriks yang digunakan iaitu, komposit matriks logam (KML), komposit matriks polimer (KMP) dan komposit matriks seramik (KMS). Selain itu, komposit dapat dikumpulkan mengikut taburan komponen yang terserak, misalnya komposit selanjar atau tak selanjar. Komposit juga dikategorikan mengikut geometri bahan penguat, contohnya komposit gentian, laminat dan partikel.

Secara umum komposit dapat dikelaskan kepada tiga jenis bentuk bahan penguat iaitu komposit yang diperkuat dengan partikel, komposit yang diperkuat dengan gentian dan komposit struktur. Rajah 2.1 menunjukkan secara ringkas pengkelasan komposit.



(a) Pengkelasan berdasarkan matriks



(b) Pengkelasan berdasarkan bentuk bahan penguat

Rajah 2.1: Pengkelasan pelbagai jenis komposit (a) pengkelasan berdasarkan matriks dan (b) pengkelasan berdasarkan bentuk bahan penguat. (Callister, 2006).

2.4 Fasa matriks

Fasa matriks bertindak sebagai bahan yang mengikat kedudukan fasa penguat dan berfungsi sebagai medium untuk peralihan tegasan yang diterima olehnya (matriks) lalu dipindahkan kepada fasa penguat. Fasa matriks hanya akan menanggung sebahagian kecil sahaja beban yang dikenakan terhadapnya. Bahan yang akan dijadikan sebagai fasa matriks perlulah bersifat mulur. Bagi fasa penguat, bahan tersebut hendaklah mempunyai modulus elastik yang lebih tinggi daripada fasa matriks (Chawla, 1987; Callister, 2006; Frantsevich, 2000). Selain itu, fasa matriks berfungsi untuk melindungi fasa penguat daripada mengalami sebarang kerosakan

permukaan seperti kecalaran dan sebagainya. Kerosakan permukaan ini boleh berpunca daripada lelasan (tindakan mekanikal) ataupun tindakbalas kimia yang dialami oleh bahan. Ini penting bagi mengelakkan keretakan terhadap komposit yang boleh menyebabkan kekuatan struktur komposit akan menurun dan berkemungkinan akan mengalami kegagalan pada tegasan-tegangan yang rendah. Fasa matriks turut berfungsi sebagai medium yang dapat mengelakkan keretakan daripada merebak kepada fasa-fasa penguat yang berdekatan.

Seandainya keretakan ini tidak dihalang, kegagalan secara tiba-tiba terhadap struktur komposit boleh berlaku dan hal ini amat berbahaya. Perkara penting yang perlu diberikan penekanan di dalam struktur sesebuah komposit adalah berkaitan dengan kekuatan rekatan di antara fasa penguat dengan fasa matriks. Daya rekatan di antara kedua-duanya mestilah tinggi bagi mengurangkan risiko penyingkiran fasa penguat daripada fasa matriks. Dalam hal ini, keserasian di antara fasa matriks dan fasa penguat perlu dikaji terlebih dahulu agar kekuatan rekatan yang tinggi dapat diperolehi.

Setiap bahan matriks ini mempunyai sifat-sifat yang berlainan antara satu sama lain. Pemilihan fasa matriks adalah berdasarkan (Pagounis et. al., 1996):

- i Keserasian dengan fasa pengukuh yang menentukan interaksi antaramuka.
- ii Sifat akhir komposit yang dihasilkan.
- iii Rekabentuk komponen yang dihasilkan.
- iv Kemudahan pemprosesan.
- v Kos penghasilan.

Ciri-ciri matriks adalah penting dalam fabrikasi komposit. Matriks tersebut akan mempengaruhi penguatan komposit. Salah satu faktor yang sering dipertimbangkan

dalam penghasilan komposit adalah interaksi jujuk-jujuk di dalam komposit antara satu dengan yang lain. Interaksi antara fasa matriks dan fasa penguat di antaramuka mempengaruhi sifat mekanikal komposit (Pagounis et. al, 1996). Seelok-eloknya, jujuk-jujuk ini saling tidak bertindakbalas secara kimia mahupun metalurgi. Di sini peranan antaramuka antara matriks dan fasa penguat adalah penting dan semua ini mempunyai hubungkait terhadap sempadan butir di dalam bahan-bahan monolitik (Weeton,1987).

2.4.1 Jenis-jenis bahan fasa matriks

Secara asasnya terdapat tiga jenis bahan matriks yang lazim digunakan iaitu polimer, logam dan seramik. Jadual 2.1 menunjukkan pelbagai jenis bahan-bahan matriks yang sering digunakan dalam komposit (Lee et. al., 1987).

Jadual 2.1 : Pelbagai jenis bahan matriks (Lee et. al.,1987)

BAHAN MATRIKS		
LOGAM	POLIMER	SERAMIK
Aluminium	Epoksi	Alumina
Zink	Polimida	Porselin
Kobalt	Polisulfon	Plaster
Kuprum	Polisterin	Karbon
Nikel	Dialil phatalat	Silikon nitrida
Perak	Fenolik	
Gangsa	Aramid	
Magnesium	Poliester	
Ferum	Polikarbonat	
Titanium		
Grafit		
Semua aloi logam yang disebut di atas		

2.4.1.1 Matriks polimer

Penggunaan polimer sebagai matriks telah mendahului logam dan seramik. Ini adalah kerana bahan polimer lebih murah berbanding logam dan seramik. Polimer terdiri daripada dua jenis iaitu termoset dan termoplastik. Matriks polimer termoset epoksi lazimnya digunakan untuk menghasilkan komposit berprestasi tinggi.

Walau bagaimanapun, polimer tidak dapat bertahan pada suhu tinggi. Julat suhu yang mampu ditanggung adalah di antara 100-200⁰C. Sesetengahnya pula boleh digunakan pada suhu lebih kurang 300⁰C. Setakat ini polimer dari kumpulan resin poliimida berupaya menahan pendedahan berterusan pada suhu lebih daripada 300⁰C.

Contoh matriks polimer terbaik adalah polimer termoplastik, yang dikenali sebagai polietereterketon (PEEK). PEEK melebur pada suhu 334⁰C. Oleh kerana termoplastik bersifat lebih liat daripada termoset menyebabkan PEEK lebih mudah diproses. Tetapi suhu yang lebih tinggi sering diketengahkan menyebabkan matriks seperti logam dan seramik diperlukan.

2.4.1.2 Matriks logam

Logam membenarkan penggunaan pada suhu yang lebih tinggi sehingga mencapai suhu 1000⁰C. Tumpuan diberikan kepada matriks yang terdiri daripada aluminium, titanium dan magnesium yang lazimnya diperkuat dengan alumina (Al₂O₃) dan silikon karbida (SiC). Penggunaan logam sebagai matriks akan menghasilkan komposit yang mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi serta boleh beroperasi pada suhu yang lebih tinggi berbanding bahan matriks polimer. Namun, kos yang tinggi menyukarkan penghasilan komposit jenis ini dan menjadikan harga pengeluarannya tinggi. Perbincangan selanjut mengenai matriks logam akan diterangkan di subtopik berikutnya.

2.4.1.3 Matriks seramik

Bahan seramik mengandungi gabungan satu atau lebih unsur logam dengan unsur bukan logam seperti O, C atau N. Contoh bahan seramik yang lazim diperolehi adalah seperti Al₂O₃, B₄C, NaO, CaO, SiAlON, Si₃N₄, dan SiC. Seramik mempunyai ikatan ionik yang tinggi dan sedikit sahaja sistem gelinciran wujud jika dibandingkan dengan logam. Keadaan sedemikian menyebabkan bahan ini dikategorikan sebagai

bahan yang bersifat kuat tetapi rapuh, yaitu tegasan kegagalan dan ketahanan yang rendah. Selain terkenal dengan sifat rapuh, seramik juga mempunyai kejutan mekanikal serta kekuatan tegangan yang rendah. Kelebihannya, bahan seramik boleh bertahan pada suhu yang sangat tinggi. Ketahanan pada suhu tinggi merupakan sifat terpenting dan menjadi sebab utama untuk menghasilkan bahan baru berasaskan seramik yang berkekuatan tinggi. Sebagai contoh, superaloi logam yang digunakan dalam enjin jet hanya mampu bertahan sehingga 800°C, dan mungkin sehingga 1000°C jika dilakukan saduran antioksidan. Apabila melepasi takat suhu ini, bahan seramik adalah pilihan yang paling sesuai digunakan. Walau bagaimanapun, kelemahan utama seramik adalah sifat rapuh yang melampau sehinggalah hanya sedikit kecacatan permukaan (calar atau takik) atau kecacatan dalaman (liang, retak mikro atau rangkuman) boleh mengakibatkan kemusnahan sekaligus.

SiC mempunyai kerintangan pada suhu tinggi yang baik tetapi bahan ini sangat rapuh pada suhu tersebut. Titanium diborida dan silikon nitrida juga merupakan bahan matriks seramik yang penting. Antara seramik-seramik oksida, Al_2O_3 dan Zr_2O_3 lebih berpotensi untuk dimajukan. Kaca, kaca oksid-nitrida dan kaca seramik juga adalah bahan matriks seramik yang sering digunakan. Penggunaan kaca seramik memperlihatkan keadaan matriks berkekaca diikuti penghabluran matriks untuk mencapai kestabilan pada suhu tinggi. Matriks seramik biasanya difabrikasi sebagai komposit yang diperkuatkan dengan gentian bertujuan bukan hanya untuk mencapai kekuatan dan kekerasan yang tinggi, tetapi juga untuk kestabilan pada suhu tinggi dan menambahkan sifat ketahanan patah (Chawla, 1987).

2.5 Fasa penguat

Fasa penguat merupakan salah satu komponen penting yang perlu wujud di dalam sesuatu komposit. Sesuatu bahan yang ingin dijadikan sebagai bahan penguat harus mempunyai ciri-ciri penting seperti ketegaran spesifik dan kekuatan spesifik yang

tinggi (Feest, 1986). Selain itu, takat lebur dan suhu penguraian yang tinggi bagi sesuatu bahan penguat diperlukan bagi mengelakkan bahan ini daripada mengalami kemusnahan pada suhu rendah.

Penguat terbahagi kepada dua iaitu penguat selanjar dan penguat tak selanjar. Penguat selanjar menyebabkan suatu komposit itu bersifat tidak isotropik. Bagi penguat tak selanjar pula, komposit tersebut mempunyai ciri-ciri yang bebas daripada orientasi yang diukur, maka sifatnya adalah lebih isotropik (Mykkanen., 1987). Penguat tak selanjar adalah dalam bentuk partikel, sesungut dan gentian pendek manakala bagi penguat selanjar adalah bentuk filamen. Jadual 2.2 menyenaraikan pelbagai bahan yang digunakan sebagai bahan penguat.

Jadual 2.2 : Jenis bahan yang lazim digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit (Mykkanen, 1987).

<p><u>Partikel</u> Tungsten (W) Molibdenum (Mo) Kromium (Cr) Alumina (Al₂O₃) Silikon Karbida (SiC) Titanium Karbida (TiC) Tungsten Karbida (WC) Kromium Karbida (Cr₃C₂) Silika (SiO₂) Titanium Borite (TiB₂) Boron Karbida (B₄C)</p> <p><u>Filamen</u> Tungsten (W) Titanium (Ti) Molibdenum (Mo) Berilium (Be) Keluli Nirkarat Niobium-Stanum (NbSn) Niobium-Titanium (NbTi)</p>	<p><u>Gentian</u> Alumina-Saffil™ Gentian Karbon Altex Tryanno</p> <p><u>Sesungut</u> Silikon Karbida (SiC) Nikel Alumida (NiAl₃) Grafit (C) Silikon Nitrida (Si₃N₄) Besi (Fe) Kuprum (Cu)</p>
--	---

Pemilihan yang teliti terhadap bahan matriks dan bahan penguat yang sesuai perlu dilakukan kerana penghasilan komposit yang bermutu amat berkait rapat dengan keserasian ikatan yang berlaku di antara fasa matriks dan fasa penguat. Keserasian di antara kedua-dua fasa ini dipengaruhi oleh dua faktor iaitu kestabilan tindakbalas yang berlaku di antara kedua-dua fasa matriks dengan fasa penguat dan perbezaan pekali pengembangan termal (King, 1990). Interaksi yang tidak terlalu lama di antara penguat dan matriks semasa fabrikasi adalah perlu bagi membolehkan ikatan yang kukuh berlaku.

Tindakbalas yang terlalu lama di antara penguat dan matriks akan menyebabkan pembentukan sebatian pada antaramuka. Sebagai contoh, pendedahan SiC di dalam leburan aluminium dalam jangka masa yang lama akan menghasilkan pembentukan Al_4C_3 . Kesannya, berlaku degradasi dan prestasi komposit matriks logam akan terjejas (King, 1990 dan Portnoi et. al, 1991).

Namun begitu, terdapat juga keadaan bahan penguat perlu disalut bagi menghalang interaksi dengan fasa matriks (Ward-Close dan Partridge, 1990). Di samping itu, ada juga komposit yang memerlukan pembasahan bahan penguat oleh fasa matriks (Rohatgi et. al, 1986). Sebagai contoh, mika telah digunakan sebagai penguat di dalam leburan aluminium. Untuk menggalakkan pembasahan pada mika, sedikit penambahan magnesium dilakukan (Nath dan Namboodhiri, 1989). Bahan penguat karbon dalam bentuk partikel dapat dibasahi oleh fasa matriks dengan penambahan 0.5% magnesium dan 0.5% silikon (Chawla, 1987) manakala gentian karbon sering disalut dengan titanium borida untuk berlakunya pembasahan.

2.5.1 Gentian

Selama bertahun-tahun, banyak penyelidikan telah dijalankan terhadap gentian terutamanya untuk kegunaan komposit logam. Gentian yang penting menjelang

pertengahan tahun 1990an adalah alumina, boron dan silikon karbida. Terdapat bahan yang telah dimajukan, contohnya ialah “Tryanno Fiber”, iaitu silikon karbida yang berasaskan bahan seperti titanium, silikon dan karbon (Jasmi, 2003).

Jadual 2.3 menunjukkan sifat-sifat penguat gentian yang penting dalam komposit matriks logam, iaitu alumina, boron, karbon dan silikon karbida. Contoh gentian karbon komersial adalah P-120 yang dihasilkan oleh Amoco Performance Products yang mempunyai kekuatan dan kekonduksian terma yang tinggi. Gentian alumina komersial dihasilkan oleh tiga pengeluar iaitu, Du Pont (FP), Sumitomo (Altex), dan ICI (Saffil). Jadual 2.4 menunjukkan komposisi kimia gentian alumina komersial.

Jadual 2.3 : Sifat-sifat penguat gentian (Jasmi, 2003).

Gentian	Graviti Spesifik (gcm^{-3})	Modulus (GPa)	Kekuatan Tegangan (GPa)	Modulus Spesifik (GPa)	Kekatan Spesifik (GPa)
Alumina-FP	3.9	360	1.4	9.2	0.36
Alumina-Altex	3.2	210	1.8	65	0.56
Alumina-Saffil	3.3	300	2.0	99	0.61
Boron	2.5	400	2.8	160	1.12
Karbon-P-120	2.2	820	1.4	373	0.63
Silikon karbida-SCS	3.0	430	2.8	143	0.93
Silikon karbida-Nicalon	2.6	190	2.8	73	1.10
E-kaca	2.6	72	1.7	28	0.65

Jadual 2.4 : Komposisi kimia gentian alumina (Jasmi,2003).

Produk	Komposisi (wt%)	
	Alumina	Silika
Du Pont (FP)	≥ 99	≤ 1
Sumitomo (Altex)	85	15
ICI (Saffil – gred FR)	95-97	3-4

2.5.2 Sesungut

Dipertengahan tahun 1990an, silikon karbida merupakan salah satu daripada penguat sesungut yang lazim digunakan. Ini adalah disebabkan modulus dan kekuatan yang dimiliki oleh silikon karbida adalah dalam julat 700 MPa sehingga 13 GPa.

2.5.3 Partikel

Penguat partikel berbeza daripada penguat sesungut dan gentian dari segi taburan juzuk-juzuk penguat. Selalunya taburan partikel penguat adalah secara rawak bukan terarah. Komposit yang diperkuat dengan partikel selalunya adalah bersifat isotropik. Partikel penguat ini cenderung untuk menghadkan pergerakan fasa matriks pada persekitaran setiap partikel. Darjah penguatan atau kemajuan kelakuan mekanikal adalah bergantung kepada ikatan kuat antaramuka matriks-partikel. Silikon karbida dan alumina merupakan bahan penguat partikel lazim digunakan dalam fabrikasi komposit (Schwartz, 1992).

2.5.4 Filamen

Di antara penguat filamen logam yang digunakan sebagai penguat dalam komposit logam adalah titanium, tungsten, molibdenum, berilum dan keluli nirkarat. Filamen tungsten mempunyai rintangan rayapan yang baik pada suhu tinggi. Walaupun filamen logam mempunyai ketumpatan yang tinggi tetapi apabila bergabung dan ditetulang dengan superaloi, komposit ini boleh digunakan dalam aplikasi turbin gas pesawat udara.

2.6 Antaramuka matriks dan penguat

Sifat mekanikal ditentukan oleh mikrostruktur komposit, jenis bahan fasa penguat, pecahan isipadu penguat, komposisi matriks dan kekuatan antaramuka matriks dan penguat. Antaramuka adalah lapisan nipis yang terletak diantara

permukaan penguat dan matriks, iaitu lebih kurang 0.1 μm dan memainkan peranan yang penting (Matthews & Rawlings, 2002).

Antaramuka berfungsi untuk memindahkan tegasan daripada fasa matriks kepada fasa penguat. Oleh itu, bahan penguat mesti mempunyai ikatan yang kuat dengan matriks sekiranya kekuatan dan ketahanan yang tinggi diperlukan dalam sesuatu bahan komposit. Kelakuan retak juga bergantung kepada kekuatan antaramuka. Antaramuka yang lemah boleh menyebabkan kekuatan dan ketahanan yang rendah tetapi rintangan yang tinggi terhadap kegagalan. Sebaliknya, antaramuka yang kuat memudahkan pemindahan tegasan dan membekalkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi tetapi rintangan kegagalan adalah rendah iaitu menunjukkan sifat rapuh. Oleh itu, adalah penting untuk menunjukkan sifat mikrostruktur antaramuka untuk memahami interaksi antara penguat dengan matriks semasa pemrosesan dan perhubungan di antara mikrostruktur dengan sifat mekanikal.

2.6.1 Ikatan antaramuka

Ikatan antaramuka dikawal oleh unsur pengaloiian, sifat kimia permukaan penguat dan masa persentuhan di antara penguat dengan leburan pada suhu pemrosesan. Apabila matriks membasahi penguat, terdapat persentuhan dengan penguat dan ikatan akan berlaku. Terdapat pelbagai jenis ikatan terbentuk dan lebih daripada satu jenis mekanisme ikatan pada suatu masa yang sama seperti ikatan mekanikal dan elektrostatik. Mekanisme ikatan mungkin berubah semasa peringkat pengeluaran atau semasa penggunaan. Sebagai contohnya, ikatan elektrostatik akan berubah kepada ikatan kimia. Jenis ikatan berubah dari satu sistem ke satu sistem yang lain. Terdapat empat jenis mekanisme ikatan, iaitu ikatan mekanikal, ikatan elektrostatik, ikatan kimia dan pembauran molekul matriks dan penguat.