

**Penghasilan dan Pencirian Komposit Matriks Zn  
Diperkuat Partikel SiC Melalui Kaedah Metalurgi  
Serbuk.**

Oleh:

**JULIE JULIEWATTY MOHAMED**

Tesis diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi

Ijazah Sarjana Sains

2003

## **PENGHARGAAN.**

Segala pujian dan syukur kehadiran Illahi dengan limpah kurniaan-Nya. Segala pujian khusus Nabi Junjungan Muhammad S.A.W. dan kesejahteraan ke atas para sahabat dan para anbiya'a.

Pertama sekali ucapan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Hj. Zainal Ariffin Hj. Ahmad sebagai penyelia utama yang sentiasa memberikan dorongan, bimbingan dan bantuan sepanjang perjalanan projek ini. Juga ucapan terima kasih kepada Dr. Shamsul Baharin Jamaludin sebagai penyelia bersama (berpindah tempat bertugas ke KUKUM) yang memberi idea asal dan tunjuk ajar bagi merealisasikan projek ini.

Ucapan terima kasih turut diajukan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana memberi peluang kepada saya untuk meneruskan pengajian di peringkat Sarjana. Jasa baik Dekan, Timbalan-timbalan Dekan, pensyarah-pensyarah serta kakitangan pusat pengajian yang sentiasa memberikan pertolongan. Terima kasih yang tidak terhingga kepada juruteknik-juruteknik iaitu En. Shahrul, En. Hasnor, En. Rashid, En. Shahid, En. Khairul, En. Razak, En. Sayuti dan Pn. Fong yang banyak memberikan bantuan sepanjang projek ini berlangsung.

Terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan Makmal 0.36 yang turut bekerjasama dan membantu dalam menjayakan projek ini. Mereka terdiri daripada Khairul Rafezi, Mohd. Al-Amin, Mohd. Nazree, Shah Rizal, Wan Mohd. Arif dan Yeoh Chew Keat. Segala tunjuk ajar dan bantuan amat saya hargai dan hanya Tuhan dapat membalas budi baik kalian.

Buat ayahanda En. Mohamed bin Berahim dan bonda Pn. Jaradah binti Mamat, serta kakanda dan adinda, terima kasih di atas segala pengorbanan, dorongan dan bantuan samada dari segi motivasi, kewangan, masa dan tenaga. Terima kasih juga kerana memahami keadaan dan kehendak anakanda. Semoga Allah s.w.t. memberkati kalian semua.

Akhir sekali, buat sahabat seperjuangan khususnya pelajar-pelajar ijazah tinggi yang banyak memberikan pertolongan samada secara rasmi atau peribadi, jasa baik kalian semua akan saya kenang selamanya.

Sekian, terima kasih.

JULIE JULIEWATTY MOHAMED.

# KANDUNGAN

## TAJUK

PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI JADUAL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi

## BAB 1 PENGENALAN

1.1	Pendahuluan	1
1.2	Objektif Penyelidikan	5
1.3	Pendekatan Projek	5

## BAB 2 KAJIAN PERSURATAN

2.1	Bahan Komposit	9
2.1.1	Bahan Matriks	11
2.1.2	Jenis Bahan Matriks	12
2.1.2.1	Bahan Matriks Logam	12
2.1.2.2	Bahan Matriks Seramik	12
2.1.2.3	Bahan Matriks Polimer	14
2.1.3	Bahan Penguat / Gentian	16
2.1.3.1	Gentian Kaca	17

2.1.3.2	Gentian Boron	18
2.1.3.3	Gentian Karbon	18
2.1.3.4	Gentian Organik	19
2.1.3.5	Gentian Keramik	20
2.2	Jenis-jenis Komposit	21
2.2.1	Komposit Matriks Logam (KML)	21
2.2.2	Komposit Matriks Keramik (KMS)	23
2.2.3	Komposit Matriks Polimer (KMP)	24
2.3	Komposit Matriks Zn	25
2.4	Fabrikasi Komposit Matriks Logam	27
2.4.1	Teknik Fabrikasi Keadaan Pepejal	27
2.4.2	Teknik Fabrikasi Keadaan Cecair	29
2.5	Bahan Mentah Komposit Zn diperkuat SiC	35
2.5.1	Zink (Zn)	35
2.5.2	Silikon Karbida (SiC)	37
2.6	Metalurgi Serbuk	39
2.6.1	Pencampuran Kering	41
2.6.2	Penekanan dan Pembentukan	44
2.6.3	Pensinteran	49
2.7	Haus	52
2.7.1	Pengkelasan Haus	52
2.7.1.1	Haus Lelasan ( <i>abrasive wear</i> )	53
2.7.1.2	Haus Rekatan ( <i>adhesive wear</i> )	53
2.7.1.3	Penggeselsuaian ( <i>fretting</i> )	54

	2.7.1.4	Hakisan ( <i>erosion</i> )	55
	2.7.1.5	Haus Lesu ( <i>fatigue</i> )	56
BAB 3	TATACARA EKSPERIMEN		
	3.1	Pengenalan	58
	3.2	Pencirian Bahan Mentah	58
	3.2.1	Penentuan Saiz dan Taburan Saiz serta Morfologi Partikel	59
	3.2.2	Penentuan Graviti Tentu	60
	3.2.3	Penentuan Fasa	61
	3.3	Rekabentuk Eksperimen dan Penyediaan Sampel	61
	3.3.1	Rekabentuk Eksperimen	62
	3.3.2	Penyediaan Sampel	63
	3.3.2.1	Pencampuran	63
	3.3.2.2	Proses Penekanan / Pempadatan	65
	3.3.2.3	Pensinteran	66
	3.4	Analisis Sampel	67
	3.4.1	Perubahan Warna dan Keadaan Sampel	68
	3.4.2	Analisis Fasa	68
	3.4.3	Analisis Pengembangan Linear	68
	3.4.4	Ujian Ketumpatan Pukul dan Keliangan Ketara	70
	3.4.5	Ujian Modulus Sonik	71
	3.4.6	Ujian Kekerasan	71
	3.4.7	Mikrostruktur	72
	3.4.8	Ujian Kekuatan	73

	3.4.9	Ujian Haus	73
BAB 4		KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
	4.1	Pengenalan	77
	4.2	Pencirian Serbuk Bahan Mentah	77
	4.2.1	Serbuk Zn	77
	4.2.2	Serbuk SiC	80
	4.3	Pemilihan Parameter Tekanan Pematatan	82
	4.4	Analisis Sampel Selepas Pensinteran	90
	4.4.1	Perubahan Warna dan Keadaan Sampel	91
	4.4.2	Analisis Fasa	92
	4.4.3	Analisis Pengembangan Linear	93
	4.4.4	Analisis Ketumpatan Pukul dan Keliangan Ketara	94
	4.4.5	Analisis Modulus Sonik	97
	4.4.6	Analisis Kekerasan Knoop	98
	4.4.7	Analisis Mikrostruktur	100
	4.4.8	Analisis Kekuatan	106
	4.4.9	Analisis Haus	114
BAB 5		KESIMPULAN & CADANGAN	
	5.1	Kesimpulan	128
	5.2	Cadangan Penyelidikan Selanjutnya	130
		SENARAI RUJUKAN	131
		LAMPIRAN	135
		PENERBITAN	137

## SENARAI RAJAH

Rajah 1.1:	Carta alir menunjukkan keseluruhan ujikaji bermula daripada pencirian bahan mentah, penghasilan sampel sehingga kepada ujian yang dijalankan.	8
Rajah 2.1:	Pengkelasan pelbagai jenis komposit (Callister, 1996).	10
Rajah 2.2:	Pengkelasan komposit mengikut jenis matriks.	21
Rajah 2.3:	Skematik langkah-langkah fabrikasi B/Al melalui ikatan resapan (Chawla, 1987).	29
Rajah 2.4:	Gambarajah skematik (a) penyusukan spontan dan (b) penyusukan dengan tekanan (Michaud, 1993).	31
Rajah 2.5:	Skematik proses penyerakan (Michaud, 1993).	32
Rajah 2.6:	Skematik proses penyemburan (Michaud, 1993).	33
Rajah 2.7:	Skematik proses in-situ (a) tindak balas antara gas dan leburan logam dan (b) pemejalan terus aloi eutektoid (Michaud,1993).	34
Rajah 2.8:	Aliran prinsip metalurgi serbuk bermula daripada bahan serbuk melalui pemprosesan sehingga kepada penghasilan produk akhir. Contoh-contoh dinyatakan bagi setiap tiga langkah utama (German, 1997).	40
Rajah 2.9:	Tiga jenis pencampuran serbuk iaitu pembauran, perolakan dan ricihan (German, 1997).	43
Rajah 2.10:	Beberapa bentuk bekas yang digunakan untuk pemcampuran dan pengisaran (a) silinder berputar (b) kiub	



	berputar (c) dwi-kon dan (d) kelompang berkembar. Penggunaan bilah berkelajuan tinggi di dalam bekas boleh meningkatkan pencampuran (German, 1997).	43
Rajah 2.11:	Lakaran lengkung ketumpatan melawan tekanan semasa pemadatan serbuk menunjukkan langkah-langkah asas dan penurunan kebolehtumpatan apabila ketumpatan meningkat (German, 1997).	45
Rajah 2.12:	Gambaran langkah-langkah pemadatan serbuk logam. Peringkat permulaan, penyusunan semula partikel terjadi dengan menghapuskan jambatan partikel. Tekanan pemadatan yang lebih tinggi menghasilkan penumpatan dengan cara ubah bentuk plastik (German, 1997).	46
Rajah 2.13:	Alat penekan dan acuan yang biasa digunakan untuk penekanan serbuk, bahagian penekan memberi tekanan dan acuan memberi sokongan pada bahagian sisi (German, 1997).	47
Rajah 2.14:	Pergerakan alatan semasa kitaran pemadatan serbuk, menunjukkan langkah-langkah pengisian serbuk, penekanan dan penolakan keluar sampel (German, 1997).	48
Rajah 2.15:	Mikrograf imbasan elektron bagi pembentukan leher semasa pensinteran. (German, 1997).	49
Rajah 2.16:	Contoh mikrostruktur menunjukkan kejadian penumpatan dan pembesaran butir yang terjadi semasa proses pensinteran (German, 1997).	51

Rajah 2.17:	Haus lelasan (a) daripada sentuhan yang bergerak dengan bahan granul keras dan (b) partikel keras yang terperangkap antara permukaan yang bergerak.	53
Rajah 2.18:	Haus rekatan daripada geselan antara permukaan rata.	54
Rajah 2.19:	Penggeselsuaian daripada pergerakan ayunan antara sentuhan permukaan rata.	55
Rajah 2.20:	Hakisan (a) rongga (b) butiran.	56
Rajah 2.21:	Kehilangan partikel daripada permukaan akibat haus lesu.	56
Rajah 3.1:	Acuan yang digunakan untuk menghasilkan sampel.	65
Rajah 3.2:	Sampel berdimensi 15 mm x 40 mm x 5 mm yang dihasilkan melalui proses penekanan.	66
Rajah 3.3:	Graf menunjukkan kadar kenaikan suhu, tempoh rendaman, dan suhu pensinteran bagi penghasilan komposit matriks Zn.	67
Rajah 3.4:	Alat pemegang sampel untuk ujian haus.	75
Rajah 3.5:	Pemasangan alat-alat untuk ujian haus kepada mesin penggilap.	76
Rajah 3.6:	Mesin yang telah diubah suai bagi menjalankan ujian haus.	76
Rajah 4.1:	Keputusan analisis partikel saiz dan taburan partikel Zn dengan menggunakan mesin Malvern.	78
Rajah 4.2:	Mikrograf SEM menunjukkan partikel Zn berbentuk sfera dengan julat taburan saiz yang besar.	79
Rajah 4.3:	Corak belauan XRD serbuk Zn yang dikenalpasti sebagai Zn (no. fail ICDD 04-0831).	79

Rajah 4.4:	Keputusan analisis partikel saiz dan taburan partikel SiC dengan menggunakan mesin Malvern.	80
Rajah 4.5:	Mikrograf SEM menunjukkan partikel SiC yang berbentuk pelbagai sudut .	81
Rajah 4.6:	Corak belauan XRD serbuk SiC yang dikenalpasti sebagai Moissanite-6H (no. fail ICDD 29-1128).	81
Rajah 4.7:	Sampel yang ditekan dengan tekanan 250 MPa menunjukkan keadaan meleding, retak dan pelapisan.	83
Rajah 4.8:	Mikrostruktur sampel yang dihasilkan dengan tekanan 100-250 MPa.	84
Rajah 4.9:	Taburan nilai peratus pengembangan terhadap peningkatan tekanan pemadatan.	85
Rajah 4.10:	Taburan nilai ketumpatan pukal terhadap pertambahan tekanan semasa pemadatan.	87
Rajah 4.11:	Taburan nilai peratus keliangan ketara terhadap peningkatan tekanan pemadatan.	88
Rajah 4.12:	Taburan nilai kekerasan mikro Knoop terhadap pertambahan tekanan semasa pemadatan.	89
Rajah 4.13:	Taburan nilai modulus Young terhadap tekanan pemadatan yang dikenakan.	90
Rajah 4.14:	Kecerahan warna sampel berkurang dengan peratus penambahan SiC.	91
Rajah 4.15:	Susunan analisis XRD bagi sampel bahan mentah dan komposit yang dihasilkan.	92

Rajah 4.16:	Nilai peratus pengembangan isipadu dengan peratus penambahan SiC pada tekanan 150 dan 200 MPa.	93
Rajah 4.17:	Taburan ketumpatan melawan kandungan SiC bagi komposit Zn-SiC.	94
Rajah 4.18:	Taburan nilai peratus keliangan ketara terhadap penambahan SiC.	96
Rajah 4.19:	Taburan nilai Modulus Young terhadap peratus penambahan SiC bagi sampel dengan tekanan pemadatan 150 dan 200 MPa.	98
Rajah 4.20:	Taburan nilai kekerasan terhadap penambahan partikel SiC.	99
Rajah 4.21:	Mikrostruktur setiap sampel dengan peningkatan peratus berat SiC.	100
Rajah 4.22:	Model dua unit sfera yang menggambarkan fenomena peleheran ideal yang terhasil semasa pensinteran (German, 1997).	103
Rajah 4.23:	Taburan nilai kekuatan terhadap peratus penambahan partikel SiC.	106
Rajah 4.24:	Pembentukan bentuk seperti lesung pada partikel Zn menunjukkan kejadian patah mulur.	108
Rajah 4.25:	Bentuk lesung terhasil di kawasan partikel Zn yang bersentuhan dengan hujung partikel SiC yang merupakan kawasan punca penukleusan retak.	109
Rajah 4.26:	Kehadiran retak pada partikel SiC.	109
Rajah 4.27:	Kejadian patah pada partikel SiC.	110

Rajah 4.28:	Kesan penanggalan partikel SiC meninggalkan kawasan lubang pada komposit.	110
Rajah 4.29:	Kewujudan kawasan pemisahan permukaan Zn-SiC oleh - liang mikro.	111
Rajah 4.30:	Kawasan gabungan liang-liang mikro, lubang bekas SiC dan bentuk lesung yang pelbagai saiz.	111
Rajah 4.31:	Pemerhatian permukaan patah pada pertambahan kandungan SiC.	113
Rajah 4.32:	Perbandingan kesan beban (a) 5 N dan (b) 10 N terhadap kadar haus.	117
Rajah 4.33:	Kesan haus ke atas mikrostruktur sampel ZSC0 (kadar haus paling tinggi) pada jarak gelongsoran 0 – 20263 cm / sela masa 0 – 300 saat.	118
Rajah 4.34:	Kesan haus ke atas mikrostruktur sampel ZSC15 (kadar haus sederhana) pada jarak gelongsoran 0 – 20263 cm / sela masa 0 – 300 saat.	119
Rajah 4.35:	Kesan haus ke atas mikrostruktur sampel ZSC5 (kadar haus paling tinggi) SiC pada jarak gelongsoran 0 – 20263 cm / sela masa 0 – 300 saat.	120
Rajah 4.36:	Taburan nilai kadar haus melawan peratus berat SiC.	121
Rajah 4.37:	Kesan haus ke atas mikrostruktur sampel ZSC0, ZSC5, ZSC10, ZSC15, ZSC20 dan ZSC25 di bawah mikroskop optik dan SEM.	126

Rajah 4.38: Kadar haus pada beban 5 dan 10 N diperhatikan pada sampel (a) ZSC0 (b) ZSC5 (c) ZSC10 dan (d) ZSC15.	127
--	-----

## **SENARAI JADUAL**

Jadual 2.1: Ciri-ciri Zn secara umum (Callister, 1996).	35
Jadual 2.2: Ciri-ciri SiC secara umum (Callister, 1996).	37
Jadual 3.1: Komposisi peratus berat yang ditetapkan.	64

## ABSTRAK

Komposit matriks Zn terdiri daripada matriks logam/aloi Zn yang diperkuat samada dengan partikel atau gentian seramik. Kajian terdahulu hanya tertumpu kepada penghasilan komposit matriks Zn yang dihasilkan melalui kaedah metalurgi cecair (tuangan). Dalam penyelidikan ini, komposit matriks Zn dihasilkan melalui proses metalurgi serbuk iaitu matriks Zn diperkuat dengan partikel SiC. Sampel bagi Zn tulen dan komposit Zn dengan penambahan peratus berat SiC (0.5-25 %) disediakan, tiga set sampel dihasilkan untuk setiap komposisi. Serbuk Zn bersaiz 5.94  $\mu\text{m}$  dan serbuk SiC bersaiz 12.91  $\mu\text{m}$  dicampur, ditekan pada tekanan 150 MPa dan disinter pada suhu 400 °C selama 2 jam dengan kadar kenaikan suhu 2 °C/minit. Pencirian dilakukan ke atas sampel yang disinter dari segi perubahan warna dan keadaan sampel, analisis fasa (XRD), pengembangan linear, ketumpatan pukal dan keliangan ketara, modulus sonik, kekerasan, mikrostruktur, kekuatan dan rintangan haus. Tiada sebarang perubahan fasa atau tindak balas dikesan terhadap sampel yang disinter. Penambahan peratusan SiC menyebabkan warna sampel semakin hitam, pengurangan dalam peratus pengembangan, keliangan ketara dan peningkatan dalam nilai ketumpatan pukal. Pemerhatian mikrostruktur menunjukkan partikel penguat terserak secara seragam dalam matriks Zn. Nilai modulus Young tertinggi dicapai pada sampel dengan 5 %berat SiC dan kekerasan maksimum diperolehi pada sampel dengan 3 %berat SiC, manakala nilai kekuatan tertinggi didapati pada sampel dengan 10 %berat SiC. Morfologi patah menunjukkan mekanisme patah mulur dan patah rapuh berlaku. Penambahan jarak gelongsoran, sela masa dan beban meningkatkan kadar haus pada komposit matriks Zn dan Zn tulen. Sampel dengan 5 %berat SiC menunjukkan kerintangan haus yang paling tinggi, diikuti dengan 10, 15, 25, 20 %berat SiC berbanding dengan Zn tulen. Komposit matriks Zn yang dihasilkan mempunyai kekerasan, kekuatan dan rintangan haus yang lebih tinggi daripada Zn tulen. Oleh itu, komposit matriks Zn yang diperkuat dengan SiC berpotensi untuk digunakan sebagai bahan rintangan haus.

## **Fabrication and Characterizations of Zn Matrix Composite Reinforced with SiC Particle via Powder Metallurgy Method**

### **ABSTRACT**

Zn matrix composite consists of Zn metal/alloys reinforced either with ceramic particle or fibre. The earlier study focused only on the fabrication of Zn matrix composites using liquid metallurgy (casting). In this study, Zn matrix composites which reinforced with SiC particles were prepared by powder metallurgy. Samples for pure Zn and Zn composites with different SiC content ranging from 0.5-25 wt% were prepared, three sets of samples were fabricated for each composition. Zn and SiC powder with particle size of 5.94  $\mu\text{m}$  and 12.91  $\mu\text{m}$  respectively were mixed according to the desired weight proportion, the mixture is pressed at 150 MPa followed by sintering process at 400 °C for 2 hours with heating rate of 2 °C/minutes. Sintered samples were characterized in term of physical appearance, phase analysis (XRD), expansion, bulk density and porosity, sonic modulus, hardness, microstructure, strength and wear resistance. Based on phase analysis, the sintered samples did not show any phase change. Increment of SiC amount in the samples resulted darker colour, decreased in expansion values and porosity; and increased in bulk density value. Microstructure analysis showed that SiC particles were well distributed in the Zn matrix. Highest Young's modulus was obtained from sample with 5 %wt of SiC, whereas sample with 3 wt% of SiC has the maximum hardness; meanwhile sample with 10 %wt of SiC possessed highest strength. Fracture morphology showed the presence of ductile and brittle fracture mechanisms. Increasing of sliding distance, time and load increased the wear rate of Zn metal and its composite. For wear resistance, 5 wt% of SiC composite show the best wear resistance followed by 10, 15, 25 and 20 %wt of SiC compared to pure Zn. All the Zn composites have higher hardness, strength and wear resistance compared to Zn metal. Reinforcement of SiC particle increased the physical and mechanical properties of Zn metal. Based on this study, Zn matrix composites reinforced with SiC have a potential to be used as a wear resistance materials.



# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Pendahuluan**

Komposit matriks logam (KML) sekurang-kurangnya mengandungi dua bahagian atau fasa iaitu matriks dan penguat. Matriks KML terdiri daripada logam atau aloi logam. Manakala fasa penguat ditakrifkan sebagai bahan penambah samada berbentuk partikel, gentian atau sesungut untuk memberi sifat-sifat tambahan yang tidak dimiliki oleh matriks. Penguat mungkin daripada bahan seramik, polimer dan/atau juga logam (Callister, 1996).

KML adalah antara terbitan bahan baru yang popular. Sifat yang dimiliki seperti kekuatan dan kekerasan tinggi, kerintangan haus yang baik dan penggunaan yang lebih meluas dengan kos yang efektif menjadikan KML antara bahan yang mendapat permintaan tinggi dalam pasaran. Gabungan sifat-sifat yang baik, kos rendah serta kebolehkerjaan yang tinggi menarik minat para penyelidik untuk mencipta dan sekaligus mengaplikasi secara komersial bahan termaju ini.

Objektif utama apabila merekabentuk KML adalah untuk menggabungkan matriks logam dengan suatu bahan lain yang dipanggil penguat bagi memperbaiki dan menambahkan sifat yang tidak dimiliki oleh bahan asal matriks. Contohnya penambahan bahan seramik yang keras dan mampu menanggung beban tinggi sebagai penguat kepada matriks logam yang bersifat mulur bagi menghasilkan bahan baru yang berkekuatan tinggi (Clyne, 2000).

Kemunculan awal KML bermula dengan penghasilan komposit Al dan Cu yang diperkuat dengan 30-70% gentian selanjur tungsten atau gentian boron, iaitu pada sekitar tahun 1960-an (Clyne, 2000). Kemudiannya, pada sekitar tahun 1980-an, perhatian mula tertumpu kepada komposit yang diperkuatkan partikel. Al dan Cu yang diperkuat dengan partikel silikon karbida (SiC) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adalah antara komposit yang mula-mula dihasilkan (Clyne, 2000). Pemilihan Al dan Cu sebagai perintis adalah kerana sifat-sifat yang dimiliki serta sumber kebolehdapatannya. Al dikatakan menarik disebabkan oleh ketumpatan yang rendah, kebolehan untuk diperkuat dengan pemendakan, konduktiviti terma dan elektrik yang tinggi, dan juga sifat rintang haus yang agak baik. Sifat yang sama juga terdapat pada Cu, kecuali ketumpatan yang agak tinggi, iaitu lebih kurang tiga kali ganda jika dibandingkan dengan Al ( $\text{Cu} = 8.96 \text{ g/cm}^3$ ,  $\text{Al} = 2.70 \text{ g/cm}^3$ ).

Untuk dekad ini, pendekatan terkini cuba diketengahkan melalui modifikasi logam Zn sebagai matriks KML. Logam Zn tulen dipilih memandangkan ciri-cirinya seperti kekonduksian terma dan elektrik yang baik, rintang terhadap serangan haus dan nilainya yang ekonomik. Logam ini mudah diubahbentuk disebabkan sifat mulur yang tinggi dan takat leburnya yang sangat rendah jika dibandingkan dengan logam lain ( $420^\circ\text{C}$ ). Tambahan pula, logam Zn banyak menyamai sifat-sifat logam Al dan Cu yang terlebih dahulu diteroka dengan meluas dalam KML terutamanya sebagai perintang haus. Ini dapat dilihat daripada penyelidikan yang telah dijalankan, yang mana majoritinya memfokuskan kepada sifat haus sebagai kriteria utama dalam ujian (Prasad *et al.*, 1999, Tjong *et al.*, 2001).

Daripada kajian terdahulu, logam tulen Zn belum pernah digunakan dalam KML. Tetapi, aloi Zn yang mengandungi Al dan Cu (ACuZink) banyak dihasilkan. ACuZink adalah komposit Zn yang dihasilkan melalui proses pengacuanan yang memiliki sifat kekuatan, kekerasan, kualiti permukaan yang lebih baik, keliangan yang rendah dan tahan rayapan yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan aloi Zn yang dikomersialkan. Alois Zn-Al (ZA) pula dikembangkan sejak 50 tahun dahulu di Jerman bagi menggantikan aloi Cu disebabkan pengeluaran Cu yang terhad pada masa tersebut. ZA memberikan kekerasan dan kekuatan tinggi, kos, ketumpatan, geseran dan haus yang rendah, serta kebolehan yang tinggi jika dibandingkan dengan gangsa (Hanna *et al.*, 1997). Kebolehan rintang hausnya di bawah tekanan beban yang tinggi dan keadaan yang kurang pelinciran telah menggantikan penggunaan gangsa dan loyang dalam industri gelas (Yu *et al.*, 1996). Dalam sistem Cu-Zn pula, atau lebih dikenali sebagai loyang, Zn berfungsi sebagai unsur aloi utama iaitu hampir 35 % berat. Loyang banyak digunakan dalam radiator automobil, peralatan muzik, pembungkusan elektronik, duit syiling dan barang perhiasan (Callister, 1996).

Fabrikasi logam dan aloi Zn sebelum ini hanya dipelopori melalui proses metalurgi cecair, contohnya penuangan acuan, penuangan pasir dan penekanan isostatik panas (Smith, 1993). Sebagai contoh, tuangan acuan aloi Zn digunakan dengan meluas dalam pembuatan komponen automotif, seperti badan karburetor, badan pam bahanapi, pemegang pintu dan pengeluaran model permainan dengan skala yang tepat (Vernon, 1997).

Dalam projek ini, kaedah metalurgi serbuk diperkenalkan berdasarkan kepada kejayaan terdahulu dalam penghasilan bahan komposit matriks aloi Mg, aloi Al, dan matriks Cu

(Kaezmar, 2000). Metalurgi serbuk merupakan proses yang berasaskan pencampuran bahan serbuk matriks dan penguat, diikuti dengan penekanan dan pensinteran. Kaedah ini menarik disebabkan kebolehnya untuk menfabrikasi serbuk kepada hasilan komponen yang berkualiti tinggi dan berbentuk kompleks (German, 1997). Proses ini juga dapat menghasilkan komponen berukuran tepat yang tidak memerlukan pemesinan dan tiada bahan lebihan. Walaupun kos serbuk sesuatu logam adalah tinggi, tetapi jika dibandingkan dengan proses pemesinan biasa, metalurgi serbuk adalah lebih menguntungkan (Vernon, 1997). Penggunaan teknik dan bahan yang belum pernah dicuba sebelum ini menjadikan kajian ini lebih mencabar dan menarik.

SiC dipilih sebagai partikel bahan penguat disebabkan penggunaan yang meluas dan praktikal. Dalam kajian terdahulu, SiC dalam bentuk partikel, sesungut, dan gentian pendek banyak digunakan sebagai penguat terutamanya dalam sistem Al dan aloinya. Kepentingan utama penggunaan partikel SiC ini adalah kerana sifatnya yang rintang terhadap serangan kimia dan banyak alat pengerjaan logam yang lazim boleh digunakan untuk proses kedua. Selain daripada sifat mekanikal yang baik, kos SiC juga didapati amat rendah (Chawla, 1987). Keberkesanannya telah terbukti dan sebagai contoh, dalam sistem Cu diperkuat partikel SiC yang dibandingkan dengan sistem Cu tulen, kehadiran SiC menunjukkan peningkatan dari segi kekerasan, kekuatan tegangan, ketumpatan dan juga kerintangan haus. Pelbagai kelemahan sifat Cu tulen dapat diperbaiki dengan penambahan partikel penguat SiC ini (Tjong *et al.*, 2001). Begitu juga dalam sistem Al diperkuat partikel SiC, kehadiran SiC memperbaiki kelemahan yang wujud dalam sistem Al, contohnya meningkatkan kekuatan tegangan, Modulus Young, dan juga sifat lesu (Masuda, 1992).

Kebolehdapatan, kos serta sifat mekanikal yang diperlukan menjadikan SiC seiring dengan penggunaan  $Al_2O_3$  dan boron karbida ( $B_4C$ ) dalam KML pada masa kini (Clyne, 2000).

Kajian ini diharapkan dapat menyelidiki dan mengenalpasti samada KML logam tulen Zn diperkuatkan partikel SiC dapat memberikan hasil yang terbaik melalui kaedah metalurgi serbuk. Ini kerana kaedah fabrikasi sebelum ini banyak merujuk kepada penghasilan KML aloi Zn yang diperkuat SiC melalui teknik tuangan. Gabungan kedua-dua bahan ini diharapkan dapat menghasilkan satu komposit baru yang mempunyai kedua-dua kelebihan sifat bahan asal. Antara sifat yang dikehendaki adalah kekerasan dan kekuatan tinggi, ketumpatan dan keliangan yang optimum serta kerintangan haus yang baik.

## **1.2 Objektif Penyelidikan**

Tujuan penyelidikan ini dijalankan adalah:

- (i) Menghasilkan komposit matriks Zn tulen dengan partikel SiC sebagai penguat melalui kaedah metalurgi serbuk.
- (ii) Untuk mencirikan bahan melalui kajian sifat mekanik dan fizik komposit yang dihasilkan.

## **1.3 Pendekatan Projek**

Rajah 1.1 menunjukkan carta alir bagi keseluruhan projek yang dijalankan. Rekabentuk eksperimen adalah hasil gabungan dan ubahsuaian daripada pelbagai kajian yang dilakukan sebelum ini berdasarkan penghasilan KML melalui teknik metalurgi serbuk.

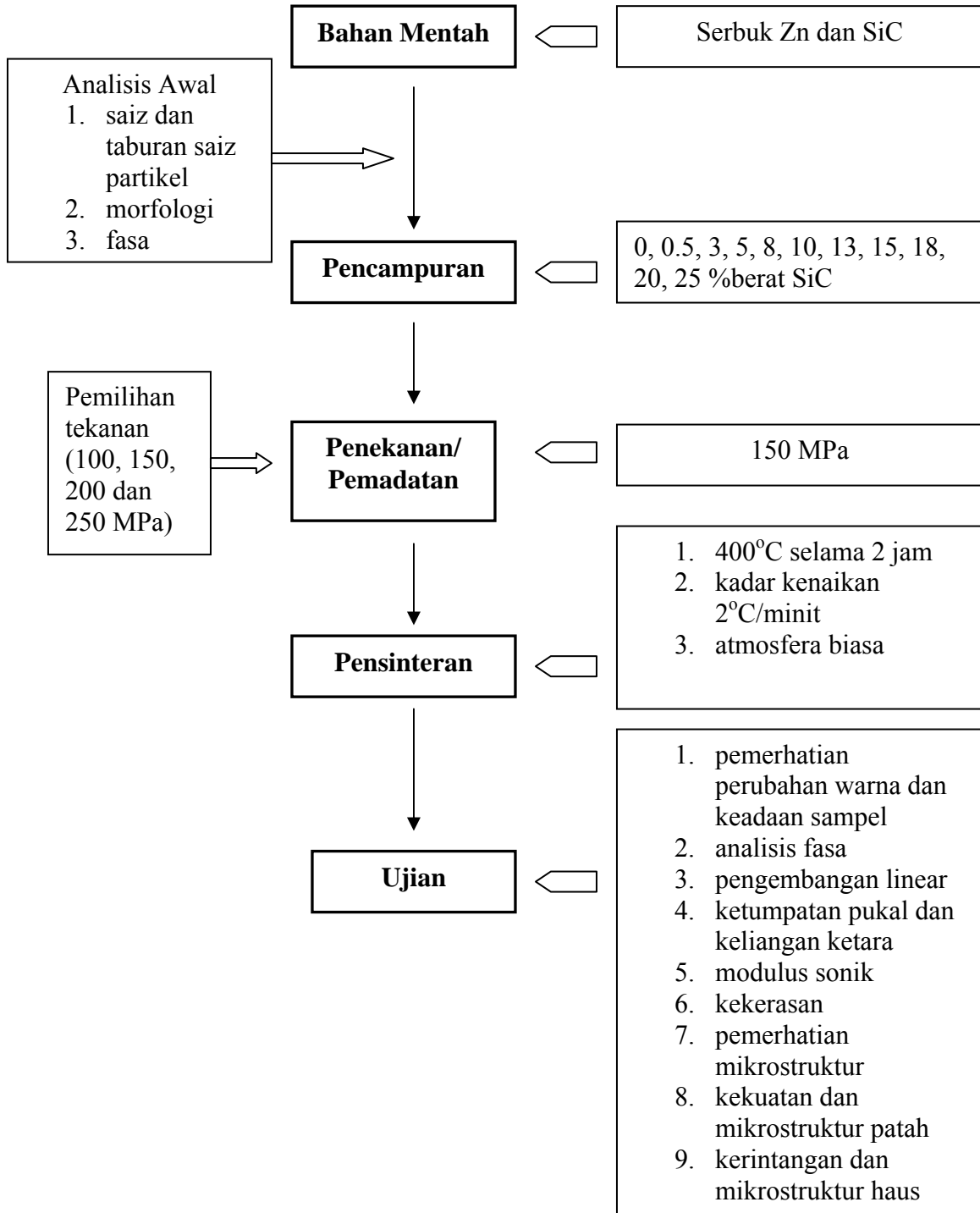
Proses pemilihan tekanan pemadatan yang sesuai dirujuk kepada kajian yang telah dijalankan oleh Ling *et al.* (1995) mengenai kesan teknik fabrikasi terhadap sifat-sifat komposit Al-SiC. Sebelum penghasilan komposit bagi ujian-ujian seperti ujian ketumpatan, keliangan, mikrostruktur, dan ujian-ujian mekanikal, beliau terlebih dahulu membuat penyelidikan terhadap pemilihan tekanan pemadatan yang paling sesuai. Beliau menguji tekanan daripada 100, 150, 200, 250, 300 hingga 350 MPa. Hasilnya beliau mendapati 300 MPa merupakan tekanan paling sesuai untuk penghasilan komposit Al-SiC. Dalam kajian ini, parameter sampel komposit matriks Zn diperkuat 10 %berat partikel SiC dipilih dan dihasilkan dengan tekanan pemadatan daripada 100, 150, 200 dan 250 MPa. Ujian-ujian pemerhatian mata kasar, mikrostruktur, peratus pengembangan linear, ketumpatan pukal, keliangan ketara, kekerasan dan modulus sonik dilakukan bagi memilih parameter tekanan. Hasil keputusan analisis-analisis menunjukkan bahawa tekanan 150 MPa merupakan tekanan pemadatan yang paling sesuai.

Bagi proses penyediaan sampel, turutan kaedah daripada eksperimen yang dijalankan oleh Wang *et al.*, (1993) untuk penghasilan komposit matriks Al diperkuat partikel SiC dengan menggunakan kaedah metalurgi serbuk dirujuk. Untuk diaplikasi ke dalam sistem komposit matriks Zn diperkuat SiC ini, terdapat beberapa perubahan dilakukan untuk disesuaikan dengan kemudahan peralatan dan bahan yang digunakan. Bahan mentah yang digunakan untuk ujikaji ini adalah partikel Zn tulen (99.8%) dengan purata diameter 5.94  $\mu\text{m}$  dan partikel SiC berdiameter purata 17.20  $\mu\text{m}$ . Kedua-dua partikel dilakukan proses pencampuran bagi memperolehi taburan partikel yang seragam. Dalam kebanyakan rekabentuk eksperimen rujukan, teknik pencampuran dengan kaedah pengisaran bebola digunakan. Dalam kajian ini, penggunaan bebola tidak dapat diaplikasi kerana timbul

masalah iaitu terdapat sisa lekatan bahan mentah pada bebola yang mungkin menyebabkan ralat pada peratus berat setiap bahan yang digunakan. Percubaan untuk menggunakan teknik pencampuran secara pembauran dilakukan dan daripada pemerhatian SEM, didapati kehomogenan dicapai. Dengan ini, teknik pencampuran secara pembauran diteruskan dalam ujikaji ini.

Campuran bahan disediakan mengikut peratus berat partikel SiC yang telah ditetapkan, iaitu 0, 0.5, 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18, 20 dan 25. Seterusnya, penekanan dilakukan dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Tensile Machine*). Bentuk sampel yang dikehendaki mengikut syarat ujian dihasilkan dengan acuan yang berbeza. Sampel disinter pada suhu 400°C selama 2 jam, dengan kadar kenaikan suhu 2°C/minit. Pensinteran dalam gas Ar tidak menunjukkan hasil yang baik. Kekuatan sampel didapati tidak memuaskan kerana mampu dipatahkan dengan hanya menggunakan tangan. Percubaan dilakukan dengan pensinteran dalam atmosfera biasa, dan hasilnya adalah lebih baik. Sampel yang dihasilkan sedia untuk diuji. Ujian yang dijalankan adalah pemerhatian perubahan warna dan keadaan sampel, analisis fasa, peratus pengembangan linear, ketumpatan pukal, keliangan ketara, modulus sonik, kekerasan, pemerhatian mikrostruktur, kekuatan, mikrostruktur patah, kerintangan dan mikrostruktur haus.

## CARTA ALIR UJIKAJI



Rajah 1.1: Carta alir menunjukkan keseluruhan ujikaji bermula daripada pencirian bahan mentah, penghasilan sampel sehingga kepada ujian yang dijalankan.



## **BAB 2**

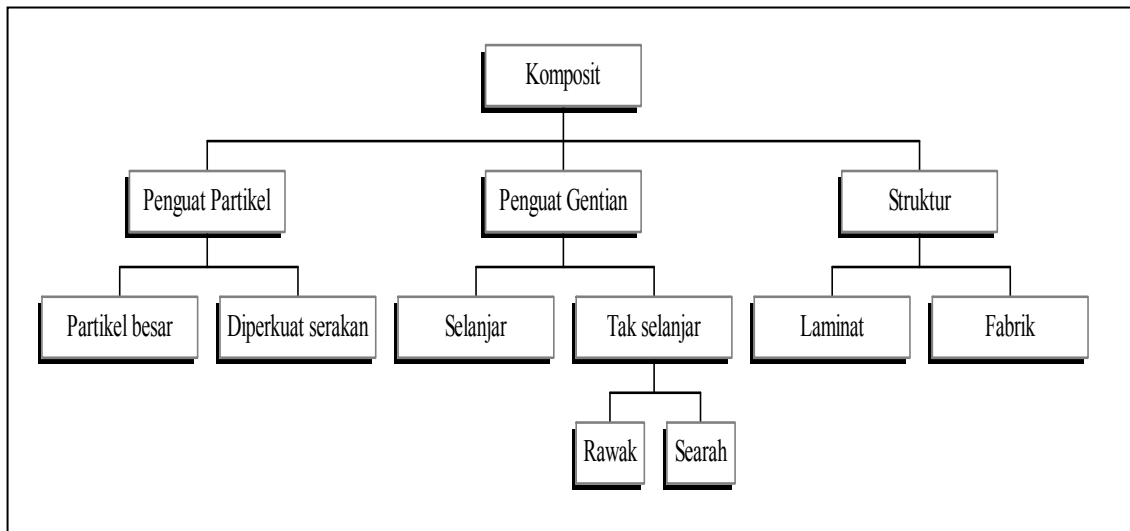
### **KAJIAN PERSURATAN**

#### **2.1 Bahan Komposit**

Komposit adalah bahan baru hasil dari kombinasi dua atau lebih bahan dengan sifat hasilan gabungan kedua-dua bahan asal (Budinski, 1999). Komposit mengandungi dua bahagian iaitu matriks dan penguat. Bahagian matriks merupakan struktur asas komposit yang mengelilingi bahagian penguat. Manakala bahagian penguat ditakrifkan sebagai bahan penambah samada berbentuk partikel, gentian pendek, gentian selanjar, gentian tak selanjar atau sesungut untuk memberi sifat-sifat tambahan yang tidak dimiliki oleh matriks (Callister, 1996, Frantserich, 2000).

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. Ubahsuai 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 (Frantserich, 2000).

Contoh komposit yang lain ialah sistem gentian kaca iaitu kaca yang diperkuat dengan polimer. Gentian kaca adalah sangat kuat tetapi akan terus pecah jika ditakik. Gentian ini dikapsulkan ke dalam matriks resin poliester untuk dilindungi daripada kegagalan. Poliester akan memindahkan beban yang dikenakan kepada kaca supaya kekerasan dan kekuatan kaca dapat digunakan. Komposit yang lebih maju menggunakan gentian daripada grafit dan boron kerana gentian ini sangat kuat dan keras. Kesan penguatan daripada penguat yang digunakan bergantung kepada orientasi terhadap arah beban. Komposit adalah sebahagian daripada bahan kejuruteraan yang membekalkan kebanyakan bahan berpotensi bagi kekuatan yang lebih tinggi, keras, rintang haus dan rintang karat berbanding sistem bahan asal logam, seramik dan polimer (Budinski, 1999). Kegunaan komposit meluas dalam teknologi roket dan angkasa lepas serta dalam bidang penerbangan (Frantserich, 2000). Rajah 2.1 menunjukkan pengelasan pelbagai jenis bahan komposit. Terdapat tiga jenis komposit, iaitu komposit diperkuat partikel, komposit diperkuat gentian dan komposit struktur.



Rajah 2.1: Pengelasan pelbagai jenis komposit (Callister, 1996).

### **2.1.1 Bahan Matriks**

Bahan matriks didefinisikan sebagai bahagian utama yang mengelilingi dan mengikat bahagian penguat. Bahagian matriks bertindak sebagai pengikat kepada bahagian penguat yang berfungsi untuk menyerap dan menyebarkan tekanan yang dikenakan daripada luar. Bahagian matriks hanya menahan sebahagian daripada tekanan yang dikenakan. Untuk tujuan sedemikian, bahan matriks seharusnya bersifat mulur dan bahan penguat perlu mempunyai modulus kenyal yang lebih tinggi daripada bahagian matriks (Callister, 1996, Chawla, 1987, Frantserich, 2000). Matriks juga dikatakan bahagian yang melindungi bahagian penguat daripada tindak balas kimia dan mekanikal dengan persekitaran yang boleh menjejaskan permukaannya. Faktor tindak balas boleh mendatangkan kecacatan pada permukaan, contohnya retak yang akan menyebabkan kegagalan pada peringkat tekanan tegangan yang rendah. Oleh itu, bahagian matriks direka dengan susunan memisahkan bahagian-bahagian gentian. Sifatnya yang mulur dan plastik akan mengelakkan pemanjangan retak daripada satu penguat kepada penguat yang lain. Bahagian matriks bertindak sebagai penghalang perambatan retak. Bahan komposit tidak akan gagal sekiranya hanya satu individu penguat yang rosak, sehinggalah kepada sebilangan besar penguat yang berdekatan menunjukkan tanda kecacatan.

Ikatan perekatan yang tinggi antara matriks dan penguat penting bagi memastikan bahagian penguat tidak tercabut keluar. Fakta menyatakan bahawa kekuatan ikatan adalah perkara paling penting dalam pemilihan untuk kombinasi matriks-penguat (Budinski, 1999). Kekuatan sebenar komposit bergantung kepada nilai ikatan ini bagi meningkatkan kadar pemindahan tekanan daripada matriks yang lemah kepada penguat yang lebih kuat.

## **2.1.2 Jenis Bahan Matriks**

Terdapat tiga jenis bahan yang dijadikan sebagai bahagian matriks dalam penghasilan komposit. Bahan-bahan tersebut adalah logam, seramik dan polimer.

### **2.1.2.1 Bahan Matriks Logam**

Logam merupakan bahan kejuruteraan yang mempunyai kekuatan tinggi, boleh diubah bentuk secara percanggaaan plastik dan boleh diperkuatkan dengan pelbagai kaedah yang membabitkan halangan pergerakan kecacatan linear (Chawla, 1987). Penggunaan logam sebagai matriks akan menghasilkan komposit yang mempunyai kekakuan dan kekuatan 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. Logam yang banyak digunakan adalah Cu, Al, Ti dan Mg yang biasanya diperkuatkan dengan SiC atau  $Al_2O_3$ . Proses yang digunakan dalam penghasilan komposit jenis ini adalah kaedah metalurgi serbuk, ikatan resapan dan penyusupan logam cecair ke dalam prabentuk gentian (Callister, 1996).

### **2.1.2.2 Bahan Matriks Seramik**

Bahan seramik mengandungi gabungan satu atau lebih unsur logam dengan unsur bukan logam seperti  $O_2$ , C atau  $N_2$ . Contoh bahan seramik yang biasa diperolehi adalah seperti  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ , NaO, CaO, SiAlON,  $Si_3N_4$ , 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 tekanan kegagalan dan keliatan yang rendah. Selain terkenal dengan sifat rapuh, seramik juga mempunyai kerintangan termal, kejutan mekanikal serta kekuatan tegangan yang rendah. Kelebihannya, bahan seramik mempunyai ketumpatan rendah dan 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  $800^{\circ}\text{C}$ , dan mungkin sehingga  $1000^{\circ}\text{C}$  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 sehinggakan hanya sedikit kecacatan permukaan (calar, takik) atau kecacatan dalaman (liang, retak mikro, rangkuman) boleh mengakibatkan kemusnahan.

SiC mempunyai kerintangan pada suhu tinggi yang baik tetapi bahan ini sangat rapuh pada suhu tersebut. Titanium dwiborida dan silikon nitrida juga merupakan bahan matriks seramik yang penting. Antara seramik-seramik oksida,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Zr}_2\text{O}_3$  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 diperkuatkan gentian dengan tujuan bukan hanya untuk mencapai kekuatan dan kekerasan tinggi, tetapi juga untuk kestabilan pada suhu tinggi dan menambahkan sifat keliatan patah (Chawla, 1987).

### 2.1.2.3 Bahan Matriks Polimer

Struktur polimer berbentuk seperti rantai molekul panjang dengan ikatan kovalen C membentuk tulang belakang. Proses pembentukan rantai molekul yang besar daripada molekul-molekul kecil dipanggil pempolimeran iaitu proses penggabungan monomer-monomer, struktur asas binaan membentuk polimer. Struktur polimer lebih kompleks berbanding struktur logam atau seramik. Bahan ini murah dan mudah diproses tetapi mempunyai kekuatan dan ketahanan suhu yang rendah. Pendedahan kepada cahaya ultraungu dan sesetengah pelarut akan mengakitkannya terdegradasi. Disebabkan ikatan kovalen yang dominan, kekonduktifan terma dan elektrik polimer sangat lemah, tetapi lebih rintang kimia berbanding dengan logam.

Antara matriks polimer yang biasa dihasilkan dengan gentian selanjur adalah poliester dan resin epoksi. Kelebihan komposit ini termasuk rintang terhadap air dan pelbagai bahan kimia, cuaca, tempoh penuaan dan kos penghasilannya juga rendah. Matriks polimer boleh bertahan sehingga suhu 80°C dan boleh digabungkan dengan gentian kaca secara mudah. Resin poliester tidak tepu merupakan bahan matriks jenis pertama yang digunakan bersama gentian tetulang kaca dan bahan poliester GRP (*Glass Reinforced Polymer*) sebagai bahan pembinaan sejak lebih 40 tahun (Chawla, 1987). Resin ini murah, mudah dikendalikan dan boleh diawet pada suhu bilik. Kadar pengawetan boleh dipercepatkan dengan pemanasan. Antara aplikasi komposit poliester/kaca adalah dalam pembinaan bekas mesin, pemasangan badan kereta dan kenderaan bermotor lain, kolek serta badan kapal. Penggunaan GRP yang terbesar adalah penghasilan pengacuanan untuk badan kapal tentera laut. Poliester

mengecut antara 4-8% semasa pengawetan. Majoriti komposit polimer diperkuat gentian kaca yang dihasilkan banyak menggunakan poliester sebagai matriks.

Satu lagi bahan resin termoset yang popular adalah epoksida. Epoksida merupakan bahan matriks utama untuk diperkuatkan dengan karbon dan aramid. Epoksida mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan resin poliester, iaitu lebih kuat dan mempunyai sifat kekakuan yang lebih baik. Resin epoksi termoset ini lebih mahal daripada poliester tetapi lebih rintang terhadap kelembapan, pengecutan yang lebih rendah semasa pengawetan (~ 3%), kegunaan pada suhu yang lebih tinggi dan perekatan yang baik dengan gentian kaca. Setakat ini kepelbagaian epoksi yang penting adalah produk dari kombinasi epiklorohidrin dan bisfenol A. Agen pengawet adalah amino organik atau bahan asid. Pautan silang dicapai dengan mencampurkan bahan kimia yang bertindak balas dengan kumpulan epoksi dan hidroksi antara rantai bersebelahan. Darjah pautan silang adalah fungsi jumlah agen penguat yang digunakan (Chawla, 1987).

Poliamida juga merupakan polimer termoset yang boleh digunakan pada suhu yang agak tinggi, iaitu antara 250-300°C. Tetapi sama juga seperti resin termoset yang lain, polimer ini bersifat rapuh. Tenaga untuk mematahkan bahan ini adalah dalam julat 15-70Jm<sup>-2</sup>. Bismalamida (BMI) juga salah satu bahan polimer termoset yang boleh digunakan pada suhu tinggi, iaitu antara 180 hingga 200°C dengan kerintangan yang baik terhadap kesan kelembapan. Sebagai termoset, sifatnya agak rapuh dan harus diawet pada suhu yang lebih tinggi daripada epoksi yang biasa (Chawla, 1987).

Resin termoplastik lebih mudah untuk difabrikasi berbanding resin termoset dan juga boleh dikitar semula. Haba dan tekanan dikenakan semasa proses pembentukan. Antara keburukan termoplastik adalah penyusupan ke seluruh gentian adalah sukar disebabkan sifat pengembangan, pengecutan dan kelikatan leburan polimer yang tinggi. Banyak bahan telah dicuba untuk dijadikan sebagai matriks, antaranya adalah PA 6.6, PAI, PBT, PET, PES, PPS, dan PEEK. Telah banyak usaha dilakukan untuk mengembangkan matriks termoplastik, terutamanya PEEK dengan tetulang karbon dan aramid, bagi mendapatkan komposit berprestasi tinggi. Sifat kekuatan patah dan lesu komposit yang berasaskan PEEK adalah lebih tinggi berbanding epoksida. Bahan ini banyak diaplikasikan dalam peralatan angkasa lepas. Masalah utama matriks polimer adalah berkait rapat dengan kesan persekitaran. Polimer boleh terdegradasi pada suhu tinggi dan juga melalui penyerapan kelembapan. Pengaruh kelembapan daripada persekitaran boleh menyebabkan bengkak sekaligus menurunkan suhu peralihan kaca, ( $T_g$ ). Dengan kehadiran gentian yang terikat dengan matriks, kesan kelembapan ini akan mengakibatkan tekanan dalaman yang tinggi dalam komposit. Kewujudan tekanan haba hasil daripada ketidakpadanan antara matriks dan penguat merupakan masalah yang telah sedia maklum dalam semua jenis bahan komposit, tetapi masalah ini lebih teruk dalam kes komposit matriks polimer (KMP) disebabkan polimer mempunyai nilai pengembangan yang tinggi (Chawla, 1987).

### **2.1.3 Bahan Penguat / Gentian**

Bahan penguat didefinisikan sebagai sebarang bahan logam, polimer atau seramik yang digunakan sebagai bahan penguat dalam penghasilan komposit. Bahan penguat boleh berbentuk samada partikel, kepingan, sesungut, gentian tak selanjar, gentian selanjar dan



lapisan. Pemilihan bahan penguat penting bagi memastikan kesesuaian sistem komposit dan sifat hasilan yang dikehendaki. Ketidaksesuaian pemilihan bahan akan menyebabkan kekurangan pada sistem. Contohnya, partikel silikon karbida boleh menimbulkan masalah apabila digunakan dalam sistem komposit aluminium, logam ferus dan titanium kerana wujudnya tindak balas kimia semasa pemprosesan. Alumina adalah kurang reaktif berbanding silikon karbida dalam sistem komposit aluminium, tetapi dalam sistem titanium, tindak balas turut berlaku pada suhu tinggi (Clyne, 2000). Umumnya, bahan penguat dikategorikan sebagai gentian kaca, boron, karbon, organik dan seramik.

#### **2.1.3.1 Gentian Kaca**

Gentian kaca am adalah berasaskan (~50-60 %  $\text{SiO}_2$ ) dan mengandungi oksida-oksida lain seperti kalsium, boron, sodium, aluminium dan ferum (Chawla, 1987). Gentian kaca yang mengandungi pelbagai komposisi bahan kimia boleh didapati secara komersial. Gentian yang berdiameter 6-10  $\mu\text{m}$  menunjukkan kekuatan tegangan yang sangat tinggi berbanding bahan pukal. Terdapat dua jenis gentian kaca utama iaitu kaca-e (borosilikat tak beralkali) dan kaca-s (alumino-silikat magnesium). Jika penghasilan komposit yang tidak memerlukan sifat kekakuan tinggi, gentian kaca merupakan bahan penguat yang menarik berbanding karbon dan gentian bermodulus tinggi yang lain kerana kebolehdapatan dan harganya yang murah (Vernon, 1997).

### **2.1.3.2 Gentian Boron**

Boron merupakan bahan yang rapuh. Secara komersial, penghasilannya adalah secara pengendapan wap kimia (CVD) boron ke atas substrat. Memandangkan suhu tinggi diperlukan semasa proses pengendapan, pilihan bahan substrat sebagai teras gentian boron adalah terhad. Umumnya, wayar tungsten digunakan bagi tujuan ini. Substrat karbon juga boleh digunakan (Chawla, 1987). Terdapat beberapa penggunaan komposit epoksida diperkuat gentian boron dalam program angkasa lepas US (Vernon, 1997).

### **2.1.3.3 Gentian Karbon**

Karbon merupakan elemen yang ringan dengan ketumpatan  $2.268 \text{ g/cm}^3$ . Karbon boleh wujud dalam pelbagai bentuk kristal. Dalam komposit, karbon yang digunakan adalah struktur grafit yang mana atom karbon disusun dalam bentuk heksagonal. Gentian karbon yang bersifat modulus tinggi boleh dihasilkan melalui pengkarbonan terhadap gentian organik diikuti dengan penggrafitan pada suhu tinggi. Bahan pemula gentian organik atau bahan mentah penghasilan gentian karbon biasanya daripada gentian polimer tekstil yang boleh dikarbonkan tanpa proses peleburan. Kebanyakan proses penghasilan gentian karbon melibatkan langkah-langkah berikut:

- 1) Rawatan penstabilan yang menghalang gentian daripada melebur dalam rawatan seterusnya yang melibatkan suhu tinggi.
- 2) Rawatan haba / terma yang dipanggil pengkarbonan, untuk membuang sebahagian besar bahan bukan karbon.

- 3) Rawatan haba / terma tambahan dinamakan penggrafitan untuk meningkatkan sifat-sifat gentian karbon yang dihasilkan (Chawla, 1987).

Gentian karbon dalam julat diameter 6-10  $\mu\text{m}$  mempunyai modulus elastik dan kekuatan yang tinggi dan digunakan sebagai penguat dalam resin epoksida dan poliester. Gentian karbon juga digunakan dalam beberapa termoplastik, logam dan dalam karbon sendiri (Vernon, 1997).

#### **2.1.3.4 Gentian Organik**

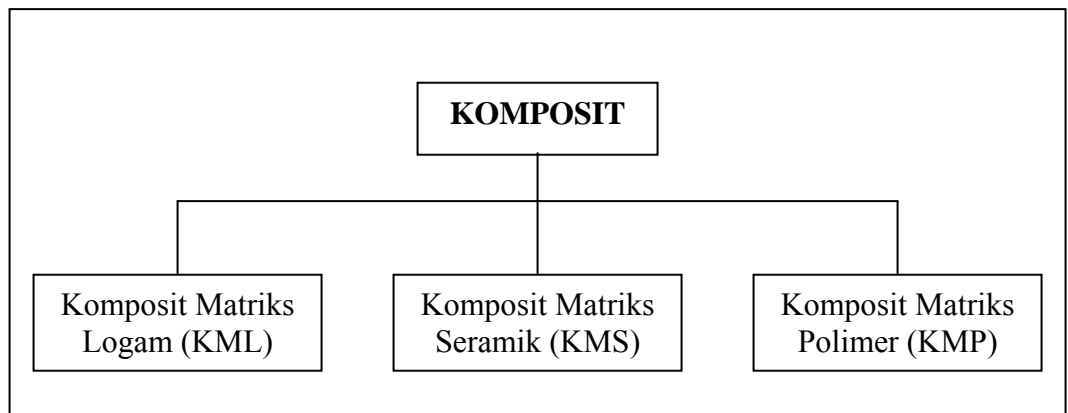
Gentian organik terdiri daripada polimer termoplastik dan aramid. Polimer termoplastik, termasuk polietilena, polipropilena dan poliamida dihasilkan sebagai gentian yang mempunyai kekuatan dan modulus tinggi. Polietilena dianggap sebagai bahan yang mempunyai kekuatan rendah, boleh dihasilkan dalam bentuk gentian dengan nilai modulus Young sehingga 100 GPa dan kekuatan tegangan setinggi 3-4 GPa. Gentian polietilena dan polipropilena hanya sesuai untuk penggunaan suhu rendah kerana struktur penghalaannya akan hilang apabila dipanaskan. Aramid merupakan poliamida aromatik. Polimer kumpulan ini telah digunakan untuk menghasilkan gentian yang bersifat modulus dan kekuatan tinggi. Sifat ini adalah hasil daripada sifat tegar gelung benzena dan molekul berupa rod polimer. Gentian aramid yang terkenal dikenali sebagai *Kevlar* dan digunakan dalam komposit berprestasi tinggi (Vernon, 1997).

### **2.1.3.5 Gentian Seramik**

Gentian seramik merupakan bahan penguat yang dihasilkan daripada bahan seramik. Gentian seramik tak selanjar mempunyai sifat-sifat yang dikehendaki iaitu kekuatan dan modulus elastik yang tinggi pada penggunaan suhu tinggi serta rintang terhadap serangan persekitaran. Sifat-sifat ini menjadikan gentian seramik sebagai bahan penguat dalam kebanyakan struktur bahan pada suhu tinggi. Terdapat 3 jenis kaedah penghasilan gentian seramik iaitu pengendapan gas kimia (CVD), pirolisis polimer dan sol-gel. Antara gentian seramik yang banyak digunakan adalah gentian alumina, silikon karbida, silikon nitrida, boron karbida dan boron nitrida (Chawla, 1987). Gentian alumina dan silikon karbida lebih banyak digunakan berbanding bahan-bahan penguat seramik yang lain disebabkan kebolehdapatan dan kos yang lebih rendah serta mempunyai sifat kekuatan yang tinggi (Clyne, 2000).

## 2.2 Jenis-jenis Komposit

Rajah 2.2 menunjukkan pengelasan jenis-jenis komposit dibuat berdasarkan kepada jenis bahan matriks yang digunakan. Terdapat tiga jenis komposit iaitu komposit matriks logam, komposit matriks seramik dan komposit matriks polimer.



Rajah 2.2: Pengelasan komposit mengikut jenis matriks.

### 2.2.1 Komposit Matriks Logam (KML)

KML merupakan komposit yang terbina daripada logam sebagai bahan asas matriks dan diperkuatkan samada dengan partikel, sesungut dan juga gentian. Komposit ini boleh digunakan pada suhu yang lebih tinggi daripada suhu ketahanan logam asas matriks. Ini disebabkan kehadiran bahan penguat yang meningkatkan sifat kekakuan, kekuatan, kerintangan terhadap kakisan, rintangan rayapan, konduktiviti terma dan kestabilan dimensi. Antara kelebihan KML berbanding dengan komposit matriks polimer (KMP) adalah dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi, tidak mudah terbakar dan lebih rintang

terhadap degradasi oleh cecair organik. KML lebih mahal dan ini menjadikan penggunaannya terhad.

KML telah mula mendapat perhatian untuk penyelidikan bagi penggunaan yang lebih meluas dalam industri. Logam dan/atau aloinya yang biasa dijadikan bahan matriks adalah Al, Ti, Cu, dan Mg. Penguat yang biasa digunakan adalah SiC dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Bentuk penguat adalah terdiri daripada partikel, gentian selanjar dan tak selanjar, serta sesungut, dengan kandungan antara 10 hingga 60 peratus isipadu. Gentian selanjar adalah termasuk karbon, SiC, B, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan logam-logam refraktori seperti tungsten dan Ti. Manakala gentian tak selanjar pula adalah terdiri daripada sesungut SiC, gentian Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan karbon yang dipotong, serta serbuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiC. Seseengah kombinasi matriks dan penguat adalah sangat reaktif pada suhu tertentu yang agak tinggi dan sebagai akibatnya, degradasi komposit mungkin berlaku. Masalah ini sering diatasi samada dengan menambahkan lapisan pelindung permukaan kepada penguat atau mengubahsuai komposisi aloi matriks.

KML banyak digunakan dalam struktur kritikal disebabkan gabungan sifat-sifat mekanikal seperti modulus elastik, kekuatan tegangan, stabil pada suhu tinggi, rintang terhadap haus dan lesu jika dibandingkan dengan logam atau aloi asal (Zhu *et al.*, 1996, Ranganath *et. al.*, 2001). Penyelidikan lebih difokuskan kepada komposit matriks Al (Zhu *et. al.*, 1996). Kebelakangan ini, seseengah pengusaha automobil telah memperkenalkan komponen enjin yang terdiri daripada matriks aloi Al diperkuatkan dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. KML ini ringan serta rintang terhadap haus dan perubahan rupa bentuk pada suhu tinggi. KML aloi Al termaju juga banyak diaplikasi dalam struktur aeroangkasa. Bagi *Space Shuttle Orbite*, gentian B digunakan sebagai penguat manakala bagi *Teleskop Hubble*, gentian selanjar grafit

diperkenalkan. Sifat rayapan pada suhu tinggi bagi sesetengah superaloi seperti Ni dan Co boleh ditingkatkan dengan penambahan gentian penguat menggunakan logam refraktori, contohnya tungsten. Sifat rintang oksida pada suhu tinggi dan kekuatan hentaman juga dapat dikekalkan. Rekabentuk yang melibatkan KML ini membolehkannya berfungsi pada suhu yang lebih tinggi dan lebih berkesan dalam kegunaan turbin (Chawla, 1987, Callister, 1996).

### **2.2.2 Komposit Matriks Seramik (KMS)**

KMS adalah komposit yang mana komposisi kedua-dua matriks dan penguat adalah daripada bahan seramik. Seramik yang sedia ada adalah rintang terhadap pengoksidaan dan tahan pada suhu yang sangat tinggi. Jika bukan kerana sifat rapuh yang dimiliki, seramik sesuai digunakan pada keadaan tekanan dan suhu tinggi, terutamanya dalam kegunaan automobil dan enjin turbin. Fasa penguat ditambahkan untuk meningkatkan sifat ketahanan patah ( $K_{IC}$ ) bahan matriks. Nilai ketahanan patah bagi seramik agak rendah, iaitu antara 1 sehingga 5 MPam<sup>1/2</sup> jika dibandingkan dengan nilai bagi logam, iaitu antara 15 sehingga lebih 150 MPam<sup>1/2</sup>. Dalam KMS, sifat ketahanan patah diperbaiki dengan menyusupkan serbuk partikel, gentian atau sesungut bahan seramik lain ke dalam bahan seramik induk. Nilai  $K_{IC}$  berjaya ditingkatkan kepada 6 sehingga 20 MPam<sup>1/2</sup>. Peningkatan sifat  $K_{IC}$  adalah hasil daripada interaksi antara retak awalan (*advancing cracks*) dengan partikel fasa penguat. Permulaan retak biasanya muncul daripada fasa matriks, seterusnya pemanjangan retak tersebut akan dihalang oleh partikel, gentian atau sesungut.

### **2.2.3 Komposit Matriks Polimer (KMP)**

KMP adalah komposit yang terdiri daripada resin polimer sebagai fasa matriks dan gentian samada kaca, karbon atau aramid sebagai fasa penguat. Penggunaan KMP sangat meluas dan pelbagai disebabkan sifatnya yang ringan pada suhu bilik, mudah difabrikasi dan kos yang ekonomik. KMP terdapat dalam pelbagai jenis dan diklasifikasikan mengikut bahan penguat yang digunakan. Bahan penguat ditambah bersesuaian dengan kegunaan dan bahan matriks polimer yang pelbagai. Contoh KMP adalah komposit polimer diperkuat gentian kaca, komposit polimer diperkuat gentian karbon dan komposit diperkuat gentian aramid.

KMP yang paling banyak dihasilkan adalah matriks polimer yang mengandungi gentian kaca samada selanjar atau tak selanjar sebagai penguat. Kaca terkenal sebagai penguat kerana bahan ini mudah dibentuk kepada gentian yang berkekuatan tinggi dalam keadaan cecair. Kewujudannya banyak, dan jika perlu, bahan ini boleh difabrikasi kepada kaca diperkuat plastik secara ekonomik dengan menggunakan teknik pembuatan komposit yang pelbagai. Kaca sebagai gentian sememangnya kuat, dan apabila ditanamkan ke dalam matriks plastik, komposit akan mempunyai kekuatan yang sangat tinggi. Satu sebab yang menjadikan gentian kaca menarik adalah kerana apabila digabungkan dengan plastik, komposit yang terhasil adalah sangat lengai terhadap tindak balas kimia dan ini membolehkannya beroperasi dalam keadaan yang mengkakis.

Gentian karbon banyak digunakan sebagai penguat dalam KMP termaju. Ini kerana gentian karbon mempunyai kekuatan spesifik yang paling tinggi dan dapat mengekalkan sifat itu pada suhu-suhu tertentu. Tetapi, masalah timbul apabila berada dalam keadaan