



---

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN  
BAHAN DAN SUMBER MINERAL  
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA  
KAMPUS KEJURUTERAAN**

**KAJIAN PENGARUH SAIZ PARTIKEL ALUMINA TERHADAP  
SIFAT-SIFAT KOMPOSIT MATRIKS LOGAM ALUMINIUM YANG  
DIPERKUATKAN DENGAN PARTIKEL ALUMINA DIHASILKAN  
MELALUI KAEDAH METALURGI SERBUK**

OLEH

**SEOW ENG HENG**

Penyelia: Prof. Madya Dr.Zainal Arifin Ahmad

Disertasi ini dikemukakan kepada  
**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

Sebagai keperluan memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan untuk penganugerahan  
ijazah dengan kepujian

**SARJANA MUDA KEJURUTERAAN**

**(BAHAN)**

Mac 2004

## **PENGHARGAAN.**

Pertama sekali ucapan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Zainal Ariffin Ahmad sebagai penyelia utama yang sentiasa memberikan dorongan, bimbingan dan bantuan sepanjang perjalanan projek ini. Juga ucapan terima kasih kepada Khairul Rafezi ahmad sebagai penyelia bersama 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 menjalankan penyelidikan tahun akhir. 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 Puan 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 Mohd. Al-Amin, Mohd. Nazree, Shah Rizal, Wan. Mohd. Arif dan Yeoh Chew Keat. Segala tunjuk ajar dan bantuan amat saya hargai.

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.

SEOW ENG HENG.

## **KANDUNGAN**

	<b>Muka Surat</b>
Penghargaan	ii
Kandungan	iv
Senarai rajah dan jadual	viii
Abstrak	xiii
Abstract	xiv

### **BAB1      PENGENALAN**

1.1	Pendahuluan	1
1.2	Objektif kajian	6
1.3	Pendekatan penyelidikan	6
1.3.1	Fasa Pertama : Kajian awal bahan mentah	6
1.3.2	Fasa Kedua : Fabrikasi KML	7
1.3.3	Fasa ketiga : Ujian dan analisis KML selepas pensinteran	7

### **BAB2      KAJIAN PERSURATAN**

2.1	Pengenalan kepada bahan komposit	10
2.2	Fasa matriks	13
2.3	Komposit matriks logam	13
2.4	Komposit matriks logam diperkuatkan oleh fasa penguat partikel	14
2.5	Matriks Aluminium	16
2.6	Kaedah metalurgi serbuk	20

2.7	Faktor pemilihan bahan penguat	22
2.8	Faktor pemilihan matriks	23
2.9	Pencirian saiz partikel serbuk	24
2.9.1	Kaedah pengayakan	24
2.9.2	Kaedah pegenapan	25
2.9.3	Kaedah pembiasan sinar laser	26
2.9.4	Kaedah mikroskop imbasan elektron	27
2.10	Pencirian bentuk partikel	27
2.11	Pencampuran	28
2.12	Penekanan	33
2.13	Taburan partikel dalam KML	33

### **BAB 3 REKABENTUK EKSPERIMEN**

3.1	Pendahuluan	37
3.2	Bahan mentah	38
3.3	Peralatan yang digunakan dalam penyelidikan ini	39
3.4	Tatacara penyelidikan	41
3.4.1	Pencirian bahan mentah	41
3.4.1.1	Analisis taburan saiz partikel	42
3.4.2	Analisis fasa serbuk	42
3.4.3	Analisis komposisi kimia	43
3.4.4	Penentuan ketumpatan serbuk	43
3.4.5	Tatacara fabrikasi KML	45

3.4.6	Ujian selepas pensinteran	52
3.4.6.1	Pemerhatian mikrostruktur	53
3.4.6.2	Ujian fizikal	54
3.4.6.3	Sifat mekanikal	56
<b>BAB4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1	Pendahuluan	62
4.2	Fasa pencirian bahan mentah	64
4.2.1	Analisis saiz dan bentuk partikel bahan mentah	64
4.2.2	Analisis fasa bahan mentah	67
4.2.3	Analisis komposisi kimia bahan mentah	68
4.2.4	Analisis ketumpatan serbuk bahan mentah	69
4.3	Penentuan sifat selepas pencampuran	70
4.3.1	Pemerhatian visual hasil campuran untuk setiap komposisi	72
4.3.2	Analisis fasa dengan XRD	73
4.3.3	Ujian penentuan ketumpatan serbuk KML	74
4.4	Ujian selepas penekanan	74
4.4.1	Pemerhatian visual spesimen selepas penekanan	74
4.4.2	Analisis mikrostruktur keratan rentas pada tekanan berbeza	74
4.4.3	Ketumpatan sebelum pensinteran	75
4.5	Fasa ujian penentuan sifat-sifat bahan selepas persinteran	76
4.5.1	Analisis fasa KML	76
4.5.2	Morfologi permukaan spesimen	78

4.5.3	Analisis mikrostruktur keratan rentas spesimen	82
4.5.4	Ujian pengembangan linear	84
4.5.5	Ketumpatan dan peratus keliangan	87
4.5.5.1	Peratus keliangan	87
4.5.5.2	Ketumpatan pukal	88
4.5.6	Ujian kekerasan	91
4.5.7	Ujian modulus sonik	92
4.5.8	Ujian pengembangan terma	95
4.5.9	Ujian kehausan	97
4.5.9.1	Morfologi permukaan kehausan	100
4.5.9.1	Morfologi lelasan haus	110
4.5.10	Ujian kelenturan tiga titik	111
4.5.11	Pemerhatian mikrostruktur permukaan patah	114
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	117
	<b>RUJUKAN</b>	118
	<b>LAMPIRAN</b>	

## SENARAI RAJAH

<b>Rajah</b>	<b>Perkara</b>	<b>Muka surat</b>
1.1	Carta alir penyelidikan kajian pengaruh saiz partikel $\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap sifat-sifat KML diperkuatkan bahan penguat partikel $\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan kaedah metalurgi serbuk.	9
2.1	Carta alir ringkas proses metalurgi serbuk.	24
3.1	Profil pensinteran untuk Al dan setiap komposisi KML.	62
3.2	Profil pemanasan spesimen dalam ujian pengembangan terma.	68
3.3	Skematik untuk menentukan tegasan patah dalam ujian kelenturan tiga titik	69
3.4	Kedudukan pin dan cakera dalam ujian kehausan pin di atas cakera dengan piawaian ASTM 99 – 95 a.	71
4.1	Morfologi serbuk dengan menggunakan SEM.	76
4.2	Analisis XRD dalam pencamkan fasa yang hadir dalam serbuk $\text{Al}_2\text{O}_3$ .	78
4.3	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap ketumpatan serbuk.	80
4.4	Morfologi serbuk selepas proses pencampuran selama 8 jam.	82
4.5	Pengenalpastian fasa yang hadir dalam serbuk KML selepas pencampuran.	83
4.6	Pengenalpastian fasa yang hadir dalam serbuk KML selepas pencampuran.	83
4.7	Graf garis pengaruh saiz partikel terhadap ketumpatan serbuk KML.	84
4.8	Morfologi keratan rentas spesimen aluminium pada tekanan berbeza menggunakan SEM.	86
4.9	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap ketumpatan sebelum pensinteran.	87
4.10	Pengenalpastian fasa yang hadir dalam keadaan pukal KML	88



	selepas pensinteran.	
4.11	Pengenalpastian fasa yang hadir dalam keadaan pukal KML selepas pensinteran.	88
4.12	Morfologi keadaan permukaan spesimen dengan menggunakan SEM serakan balik elektron.	90
4.13	Morfologi keadaan permukaan spesimen dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 20 X.	91
4.14	Morfologi keadaan permukaan spesimen dengan menggunakan miroskop optik dengan pembesaran 10 X.	92
4.15	Morfologi keratan rentas spesimen dengan menggunakan SEM dengan serakan balik elektron.	93
4.16	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap peratus pengembangan jisim dan isipadu.	95
4.17	Graf peratus keliangan pada saiz partikel alumina berbeza yang ditambah ke dalam KML	98
4.18	Graf menunjukkan nilai ketumpatan pukal pada saiz partikel Alumina berbeza yang ditambah ke dalam KML diperkuatkan dengan 10 % berat partikel Alumina.	99
4.19	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap peratus penambahan ketumpatan selepas pensinteran.	100
4.20	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap peratus nilai kekerasan mikro 'Vickers' untuk sampel berdiameter 16 mm.	102
4.21	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina terhadap nilai modulus keelastikan, modulus melintang dan modulus ricih.	104

4.22	Graf garis pengaruh saiz partikel terhadap pekali pengembangan terma pada suhu 250 °C.	106
4.23	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina sifat kehausan KML.	108
4.24	Graf garis pengaruh saiz partikel alumina ke atas pekali kehausan KML aluminium.	109
4.25	Morfologi permukaan haus spesimen Al dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 5 X.	112
4.26	Morfologi permukaan haus spesimen Al 0.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 5 X.	113
4.27	Morfologi permukaan haus Al 1.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 5 X.	114
4.28	Morfologi permukaan haus Al 12.5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 5 X.	115
4.29	Morfologi permukaan haus Al 25.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan menggunakan mikroskop optikal dengan pembesaran 5 X.	117
4.30	Morfologi permukaan kehausan dengan menggunakan SEM keadaan elektron sekunder.	118
4.31	Morfologi lelasan haus dengan menggunakan SEM keadaan elektron sekunder.	119
4.32	Morfologi lelasan kehausan dengan menggunakan SEM keadaan elektron sekunder.	120
4.33	Graf garis menunjukkan kesan pertambahan saiz partikel alumina terhadap tegasan alah untuk spesimen KML dalam ujian kelenturan tiga titik.	121
4.34	Graf garis menunjukkan kesan pertambahan saiz partikel alumina terhadap modulus kekenyalan untuk spesimen KML dalam ujian kelenturan tiga titik.	121
4.35	Morfologi permukaan patah dengan menggunakan SEM dengan	123

	elektron sekunder.	
--	--------------------	--

## SENARAI JADUAL

<b>Jadual</b>	<b>Perkara</b>	<b>Muka Surat</b>
2.1	Jenis bahan yang selalu digunakan dalam setiap kelas bahan matriks.	14
2.2	Sifat-sifat KML yang berbanding dengan KMP dan potensi yang sepadan dalam bidang aeroangkasa.	15
2.3	Sifat-sifat beberapa bahan yang penting dalam aplikasi struktur.	21
2.4	Siri matriks Al yang selalu digunakan dan jenis aloi yang digunakan dalam setiap siri.	22
2.5	Sifat-sifat untuk beberapa aloi Al yang penting dan kegunaan yang sepadan.	22
2.6	Parameter dalam pencampuran partikel.	37
3.1	komposisi KML yang dihasilkan dalam penyelidikan ini.	56
3.2	Senarai jisim serbuk KML, nilai daya, tujuan penyediaan dan mesin penekan sepadan dengan acuan yang digunakan.	61
4.1	Saiz partikel anggaran untuk serbuk alumina.	78
4.2	Analisis XRF untuk penentuan komposisi kimia serbuk aluminium	79
4.3	Analisis XRF untuk penentuan komposisi kimia serbuk alumina.	79
4.4	Ketumpatan serbuk alumina yang ditentukan oleh dua kaedah yang berbeza.	80

## ABSTRAK

Komposit matriks logam (KML) terdiri daripada fasa matriks logam yang diperkuat dengan penguat supaya sifat mekanikal matriks ditingkatkan. Penguat yang boleh ditambahkan dalam KML ialah filamen tungsten dan seramik. Penambahan partikel seramik ke dalam matriks logam dapat meningkatkan sifat mekanikal KML. Saiz partikel penguat merupakan satu faktor mikroskopik yang boleh mempengaruhi sifat-sifat KML. Di dalam kajian ini, serbuk aluminium dicampurkan 10 peratus berat serbuk alumina bersaiz 0.3  $\mu\text{m}$ , 1.0  $\mu\text{m}$ , 3.0  $\mu\text{m}$ , 12.5  $\mu\text{m}$  dan 25.0  $\mu\text{m}$  melalui kaedah metalurgi serbuk. Sifat-sifat komposit diuji pada peringkat pencampuran, penekanan dan pensinteran. Morfologi iaitu taburan partikel penguat pada permukaan dan keratan rentas spesimen, permukaan spesimen yang haus serta patah diperhatikan di bawah mikroskop. Sifat-sifat yang diuji ialah fizikal dan mekanikal. Sifat fizikal yang dikaji ialah ketumpatan serbuk, ketumpatan sebelum serta selepas pensinteran dan peratus perubahan linear. Sifat mekanikal yang dikaji ialah kekerasan, modulus sonik, pekali pengembangan terma, haus, kekuatan lentur dan kekuatan tegangan. Secara teori, saiz partikel alumina yang semakin kecil akan menunjukkan peningkatan sifat mekanikal dan ketumpatan. Daripada keputusan, partikel alumina tertabur secara seragam apabila saiz partikel semakin bertambah besar. Serbuk alumina dengan saiz 1.0  $\mu\text{m}$  mempunyai sifat ketumpatan dan mekanikal yang paling rendah. Serbuk alumina bersaiz 25.0  $\mu\text{m}$  menunjukkan sifat kekerasan, rintangan haus dan kekuatan lentur yang paling rendah. Serbuk alumina bersaiz 0.3  $\mu\text{m}$  pula menunjukkan sifat ketumpatan, kekerasan, modulus sonik, pengembangan terma, rintangan haus dan kekuatan lentur yang paling tinggi.

**STUDY OF EFFECT PARTICLE SIZE ALUMINA ON THE PROPERTIES OF  
ALUMINIUM COMPOSITE REINFORCED WITH ALUMINA PARTICLES VIA  
POWDER METALLURGY ROUTE**

**ABSTRACT**

Development of MMC in aerospace application attract more researcher focus find the way to improve mechanical properties and anisotropic. The distribution of particulate reinforcement will give effect to the mechanical properties. MMC reinforced with reinforcement particulate phase will solve the problem of anisotropic properties for MMC. Composite Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> use in this research. Reinforcement Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> used because stable and inert with aluminium. Powder metallurgy route use to produced component composite. Component powder composite mixes in ball mixer at 8 hour. Compacting pressure 250 Mpa and sintered at 600°C in 5 hours. MMC samples prepared by 10 w t% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Effect of various particulate size (0.3 µm, 1.0 µm, 3.0 µm, 12.5 µm, 25.0 µm) on the morphology at the composite surface observed by SEM. Distribution particulate more homogenous for larger size of particle. Particle size alumina 1.0 µm has density value and mechanical properties more smaller than other size. Size 25.0 µm has the smallest hardness, wear resistance and flexural strength value. Size 0.3 µm has the highest result for density, hardness, modulus sonic, coefficient thermal expansion, wear resistance and flexural strength but has small value for modulus elastic.



# **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 dalamnya. 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 (Mathew dan Rawlings, 1994).

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.

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, 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 penambahan 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 memperbaiki 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, 1993).

Dalam KML, bahan penguat partikel yang ditambah ke dalam logam selalunya adalah seramik, tetapi pada kes tertentu bahan refraktori 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) Tindak balas 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 membaiki sifat matriks asal (Clyne, 1993).

Aluminium (Al) merupakan satu logam yang sangat ringan iaitu mempunyai ketumpatan pukal sebanyak  $2.71\text{g/cm}^3$ , iaitu satu pertiga daripada logam besi ( $7.87\text{g/cm}^3$ ). 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 dapat menghasilkan satu lapisan oksida terlindung iaitu alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang menyebabkan Al mempunyai rintangan kakisan yang baik. Al mempunyai sifat kekonduksian haba dan elektrik yang baik. Al bersifat mulur kerana mempunyai pemanjangan terikan sebanyak 21 %. Tetapi Al mempunyai kekuatan tegangan yang rendah iaitu 70 MPa dan kekerasan yang rendah (Kaczmar, 2000).

$\text{Al}_2\text{O}_3$  mempunyai ketumpatan pukal  $3.96\text{ g/cm}^3$ , takat lebur yang tinggi iaitu  $2054\text{ }^\circ\text{C}$ , sifat rintangan aliran elektrik baik dan kekonduksian haba lemah.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mempunyai nilai kekerasan yang baik dan kekuatan tegangan yang tinggi.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bersifat tegar dan pekali pekali pengembangan terma pada suhu tinggi adalah rendah iaitu sebanyak  $8.2\text{ }\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ .  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ke dalam matriks Al akan memperbaiki beberapa sifat matriks seperti rintangan haus, kekuatan tegangan, pekali pengembangan terma dan kekerasan. KML ini bukan sahaja memperbaiki 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 kekonduktiviti 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 contoh KMP kerana 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. Aplikasi KML kemungkinan diluaskan sehingga

sektor pembuatan enjin aeroangkasa, kerangka luar, sayap dan pengawal senjata (Cahn, 1996)

## **1.2 Objektif Kajian**

Objektif kajian terbahagi kepada dua bahagian iaitu:

- a) Menghasilkan KML Al yang diperkuatkan dengan partikel  $Al_2O_3$  melalui kaedah metalurgi serbuk.
- b) Mengkaji sifat-sifat fizikal, mekanikal dan mikrostruktur KML Al yang diperkuatkan dengan partikel  $Al_2O_3$  pada beberapa saiz yang berbeza.

## **1.3 Pendekatan penyelidikan**

Penyelidikan ini menghasilkan KML yang diperkuatkan bahan penguat partikel  $Al_2O_3$  pada lima saiz berbeza dengan kaedah metalurgi serbuk. Saiz partikel alumina merupakan parameter utama penyelidikan ini. Penyelidikan ini terbahagi kepada tiga fasa.

### **1.3.1 Fasa Pertama : Kajian awal bahan mentah.**

Fasa ini akan menjalankan beberapa siri analisis untuk mengkaji sifat-sifat fizikal serbuk aluminium dan  $Al_2O_3$ . Empat ujian dijalankan seperti senarai berikut.

- a) Analisis saiz dan taburan saiz partikel bahan mentah.
- b) Analisis komposisi kimia serbuk bahan mentah.
- c) Pengecaman fasa serbuk bahan mentah.

- d) Pengecaman ketumpatan serbuk bahan mentah.

### **1.3.2 Fasa Kedua : Fabrikasi KML**

Fasa ini merupakan proses fabrikasi sampel KML Al diperkuatkan dengan partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Kaedah penghasilan yang digunakan ialah metalurgi serbuk. Sampel yang terhasil akan diuji sifat fizikal dan mekanikal secara berasingan. Terdapat tiga bahagian penting dalam kaedah metalurgi serbuk iaitu:

- a) Pencampuran
- b) Penekanan
- c) Pensinteran

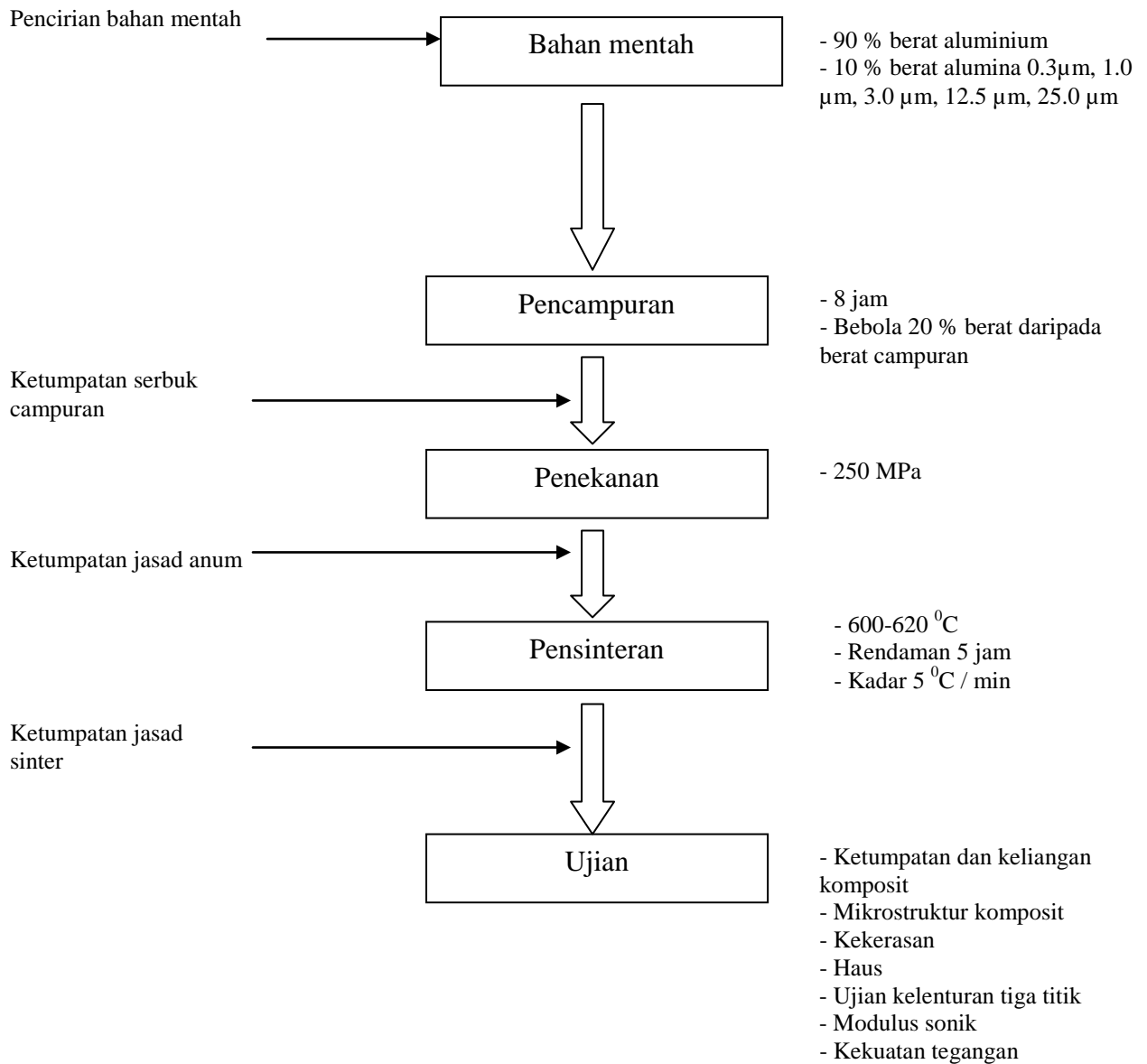
### **1.3.3 Fasa Ketiga : Ujian dan analisis sifat-sifat komposit selepas persinteran.**

Beberapa ujian dijalankan untuk mengkaji sifat-sifat fizikal, mekanikal dan mikrostruktur KML Al diperkuatkan dengan bahan penguat partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ujian ini bertujuan untuk mengkaji kesan pertambahan bahan penguat partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ke dalam matriks Al dan perubahan saiz partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap sifat-sifat KML Al diperkuatkan dengan partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Lapan ujian yang telah dijalankan iaitu:

- a) Ujian penentuan ketumpatan dan keliangan komposit.
- b) Pemerhatian mikrostruktur

- c) Ujian kekerasan
- d) Ujian haus
- e) Ujian kelenturan tiga titik
- f) Ujian modulus sonik
- g) Ujian tegangan
- h) Ujian pengembangan terma

Ringkasan kajian ini boleh digambarkan dalam rajah 1.1



Rajah 1.1: Carta alir penyelidikan kajian pengaruh saiz partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap sifat-sifat KML diperkuatkan bahan penguat partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan kaedah metalurgi serbuk.



## **BAB 2**

### **KAJIAN MUKA PERSURATAN**

#### **2.1 Pengenalan kepada bahan komposit**

Istilah bahan komposit terdapat banyak takrifan yang berbeza bergantung kepada pandangan penulis masing-masing. Secara umum istilah bahan komposit boleh ditakrifkan sebagai gabungan secara makroskopik dua atau lebih bahan dan terbentuk antarafasa yang mengikat bersama kumpulan bahan tersebut. Dari segi sifat struktur, bahan komposit boleh ditakrifkan secara ringkas dengan suatu bahan yang terdiri daripada fasa matriks dan gentian (Theodore,1999).

Selalunya, bahan komposit mempunyai fasa gentian yang bersifat lebih tegar daripada fasa matriks. Contohnya KML kuprum yang diperkuatkan dengan alumina. Jadi sebahagian besar daya tindakan pada komposit akan ditampung oleh fasa gentian. Tetapi prestasi penampungan beban oleh fasa gentian juga bergantung kepada sifat antarafasa yang terbentuk di antara fasa matriks yang berterusan dengan fasa gentian. Kedudukan fasa gentian juga perlu disokong kuat oleh fasa matriks untuk mengelakkan masalah penanggalan keluar fasa gentian daripada fasa matriks berlaku. Jadi sifat fizikal dan sifat mekanikal adalah bergantung kepada sifat fasa matriks, gentian dan antarafasa (Theodore,1999).

Dalam kajian yang berkaitan dengan sifat bahan komposit, hukum pencampuran amat berguna dalam ramalan sifat akhir bahan komposit yang terhasil. Sifat yang dapat diramalkan ialah sifat fizikal seperti, ketumpatan dan sifat mekanikal seperti, kekuatan,

kekonduksian terma dan sifat lain. Nilai ramalan ini boleh diambil sebagai rujukan yang penting dalam kajian penyelidikan berkaitan bahan komposit. Tetapi selalunya, sifat-sifat akhir komposit yang dikaji dalam makmal adalah bersisih pada skala tertentu dengan nilai tersebut. Faktor sisihan adalah disebabkan oleh parameter lain iaitu:

*i) Sifat mikroskopik bahan komposit*

Saiz partikel, taburan partikel dan peratus kehadiran keliangan. Kawalan sifat mikroskopik pada tahap optimum seperti: pengurangan jumlah isipadu keliangan dan penggumpalan partikel berlaku dapat meningkatkan prestasi sifat bahan komposit.

*ii) Parameter penghasilan*

Kaedah penghasilan yang digunakan, kaedah pencampuran dan keadaan sekitar operasi. Kaedah penghasilan yang sesuai adalah bergantung kepada sifat-sifat bahan mentah yang digunakan. Kaedah penghasilan yang sesuai akan menghasilkan bahan komposit yang mempunyai sifat mikroskopik dan makroskopik yang baik.

Jadi perbandingan sifat di antara teori dengan praktikal dapat menentukan kesesuaian parameter yang digunakan. Selain itu, kawalan parameter yang terlibat dapat dijalankan dengan beberapa siri ujian sifat-sifat bahan komposit dalam makmal. Persamaan hukum pencampuran adalah ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$E_C = E_M V_M + E_F V_F$$

(2.1)

$E_C$  = sifat fizikal atau mekanikal komposit

$E_M$  = sifat fizikal atau mekanikal matriks

$E_C$  = sifat fizikal atau mekanikal gentian

$V_M$  = pecahan isipadu matriks

$V_F$  = pecahan isipadu gentian

Terdapat beberapa anggapan penting dalam hukum pencampuran iaitu:

- i) Sifat akhir fasa matriks dan bahan penguat adalah sama dengan sifat asal walaupun telah bercampur dalam bahan komposit.
- ii) Jumlah keliangan yang hadir adalah sifar.
- iii) Tindakbalas kimia secara reaktif di antara fasa matriks dan bahan penguat tidak berlaku.

Sejak kebelakangan ini, bahan komposit telah menarik perhatian dalam bidang kejuruteraan. Berdasarkan hukum pencampuran itu, sifat-sifat mekanikal mahupun fizikal komposit dapat ditingkatkan pada peratus tertentu dengan pertambahan pecahan isipadu tertentu fasa bahan penguat. Oleh itu, para penyelidik dan jurutera berusaha mencari jalan penyelesaian dalam penghasilan bahan komposit secara besar-besaran dan membaiki sifat prestasi bahan komposit. Bahan komposit juga mampu menunaikan impian manusia dalam penghasilan bahan yang ringan dan sifat mekanikal baik untuk aplikasi aeroangkasa, automatif dan bidang lain yang beroperasi dalam keadaan sekitar yang kritikal.

## 2.2 Fasa matriks

Fasa matriks merupakan fasa yang hadir dengan peratusan isipadu terbanyak dalam bahan komposit. Secara umum terdapat tiga kumpulan bahan matriks yang selalu digunakan dalam penghasilan komposit iaitu polimer, logam, seramik.

Jadual 2.1: Jenis bahan yang selalu digunakan dalam setiap kelas bahan matriks.

<b>Matriks</b>		
<b>Polimer</b>	<b>Logam</b>	<b>Seramik</b>
epoksi	Al	alumina
poliimida	magnesium	porselin
polisulfonat	titanium	plaster
polistirena	kuprum	karbon
fenolik	nikel	silikon nitrida
aramid	plumbum	
poliester	perak	
polikarbonat	zink	
	gangsa	
	kobalt	
	ferum	
	semua aloi di atas	

## 2.3 Komposit matriks logam

Komposit matriks logam merupakan satu jenis komposit yang terdiri daripada matriks logam yang diperkuatkan oleh penguat. Penguat yang selalu ditambahkan ialah seramik kerana seramik mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi. penambahan penguat seramik akan meningkatkan modulus kenyal, rintangan haus dan kekuatan matriks logam. KML yang mempunyai kekuatan tegangan dan modulus kenyal yang sangat tinggi akan mempunyai potensi yang tinggi dalam industri aeroangkasa (Pagounis, 1997). Jadual 2.2 menunjukkan perbandingan sifat-sifat KML dan KMP dalam aplikasi yang berpotensi dalam industri aeroangkasa.

Jadual 2.2 : Sifat-sifat KML yang berbanding dengan KMP dan potensi yang sepadan dalam bidang aeroangkasa.

Sifat-sifat KML berbanding dengan KMP	Potensi aplikasi dalam industri aeroangkasa
Kekuatan matriks dan modulus tinggi a) tegangan b) ricih c) mampatan d) kilasan	Berbanding dengan KMP: - Aplikasi kepingan kilasan lebih efektif - Arah tindakan beban melintang lebih efektif - Tindakan beban tegangan, mampatan atau ricih kurang menyebabkan matriks logam retak
Permukaan keras	Rintangan hakisan baik dan sesuai dalam aplikasi nozel
Kemampuan operasi pada suhu tinggi	Aplikasi dalam suhu tinggi terutama melebihi 600 °F, aplikasi KMP dalam suhu tinggi dihadkan
Konduktiviti terma yang baik	Penyebaran haba baik dan mengelakkan penggumpalan haba setempat, beroperasi pada suhu rendah dan mampu dalam pembuatan nozel.
Kekonduktiviti termal tinggi	Pelindung cahaya baik, menyebarkan cas elektrik statik, mengelakkan pembakaran bahan api berlaku akibat cas elektrik terkumpul dan mengurangkan masalah pembiasan elektromagnet.
Matriks logam ialah bahan tak organik	Mampu beroperasi pada keadaan suhu tinggi dan kepekatan oksigen tinggi berbanding dengan KMP.
Boleh dibentuk dalam kepingan yang nipis	Kaedah pembentukan konvensional boleh digunakan.

#### 2.4 Komposit matriks logam diperkuatkan oleh fasa penguat partikel

Logam yang diperkuatkan dengan bahan penguat partikel telah dihasilkan untuk tujuan penyelidikan sejak tahun 1960. Kaedah metalurgi serbuk telah diperkenalkan dalam penghasilan kumpulan bahan ini secara eksperimen atau prototaip pada abad seterusnya. Oleh itu, kaedah metalurgi serbuk adalah kaedah paling awal diperkenalkan untuk menghasilkan komposit matriks logam yang diperkuatkan dengan fasa bahan penguat partikel. Hasil daripada pembangunan seterusnya kumpulan bahan ini oleh

'*Skibo*' dan '*Schuster*', kaedah leburan logam telah diperkenalkan pada tahun 1980. Kos kaedah penghasilan ini didapati lebih rendah daripada kaedah metalurgi serbuk. Oleh itu, kaedah penghasilan ini digunakan dalam industri pada skala yang besar dan penghasilan bahan pada kualiti yang baik. Pada hari ini, bahan ini boleh dikategorikan melalui kumpulan metalurgi serbuk, kumpulan tuangan campuran logam diperkuatkan partikel, kumpulan '*in-situ*' iaitu penguat dihasilkan dalam fasa matriks melalui tindakbalas kimia dan kumpulan penembusan yang selalu digunakan dalam penghasilan bahan elektronik. Fasa matriks selalu digunakan ialah Al, dan bahan logam lain seperti magnesium, kuprum, keluli, nikel dan kobalt juga boleh diperkuatkan oleh fasa bahan penguat partikel (Clyne, 1993).

Dalam keadaan tertentu, setiap matriks logam yang berbeza akan diperkuatkan dengan fasa bahan penguat partikel yang tertentu sahaja. Selalunya partikel seramik digunakan sebagai fasa penguat partikel dalam komposit matriks logam diperkuatkan oleh fasa bahan penguat partikel. Contohnya, dua kumpulan fasa bahan penguat seramik yang boleh digunakan ialah silikon karbida (SiC) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Partikel SiC yang digunakan selalunya adalah proses '*Acheson*' yang diikuti dengan proses pengisaran. Partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sering digunakan sebagai bahan pengasaran dan berbentuk bersudut adalah berkost rendah iaitu berharga beberapa '*Euros*' dalam satu kilogram. Partikel yang lain boleh digunakan ialah silikon yang selalu diaplikasikan dalam bidang enjin automotif dan Boron Karbida juga berbentuk bersudut yang jauh lebih mahal berbanding dengan SiC dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta sangat reaktif bertindakbalas kimia dengan Al. Partikel silika dan silikon adalah tidak sesuai digunakan kerana partikel itu sangat reaktif dengan fasa matriks Al dan mempunyai nilai modulus keelastikan yang lebih rendah berbanding dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiC (Clyne, 1993).

Kos fasa penguat partikel yang digunakan mestilah rendah kerana kos penghasilan kumpulan komposit ini sangat bergantung kepada kos bahan mentah. Oleh itu, peringkat pra-rawatan haba fasa penguat partikel adalah tidak digalakkan jika kos penghasilan dititikberatkan. Namun begitu, bahan monofilamen selalu disalutkan dengan bahan lain walaupun kosnya meningkat. Tetapi terdapat kaedah pra-rawatan lain berkos rendah dan efektif digunakan dalam industri. Contoh utama ialah pengoksidaan partikel SiC sebelum dicampurkan ke dalam leburan Al. Tujuan utama pra-rawatan ini adalah untuk meningkatkan sifat kebasahan dan mengurangkan sifat reaktif secara kimia partikel SiC dalam keadaan leburan.

## **2.5 Matriks Aluminium**

Dalam penyelidikan ini, bahan fasa matriks yang digunakan ialah serbuk Al. Oleh itu, kefahaman tentang sifat-sifat Al adalah amat diperlukan. Secara umum, Al ialah satu bahan logam kerana sifat fizikal, kimia dan mekanikal sama seperti logam lain iaitu: keluli, kuprum, zink, plumbum atau titanium. Seperti logam lain, Al boleh dibentuk dengan proses penuangan, pemesinan dan perleburan seperti logam keluli. Al juga merupakan suatu bahan konduktor elektrik dan terma yang baik seperti logam lain.

Al ialah satu logam yang ringan dan mampu diperkuatkan dengan pertambahan unsur aloi lain. Ini kerana Al mempunyai ketumpatan sebanyak  $2.7 \text{ g/cm}^3$  iaitu satu pertiga sahaja daripada logam keluli karbon rendah (daripada jadual 2.3). Sifat keringanan ini menyebabkan Al mempunyai potensi tinggi dalam penghasilan rangka luar kenderaan darat kerana dapat mengurangkan berat bersih kenderaan dan penggunaan bahan api di samping itu juga menambahkan kapasiti beban yang ditampung. Kekuatan Al juga

dapat diperbaiki dengan penambahan unsur aloi lain atau bahan penguat supaya aplikasi Al dapat dikembangkan dengan meluas.

Satu lagi kelebihan Al ialah dalam keadaan semulajadi bahan ini membentuk satu lapisan oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada permukaan atas Al. Lapisan oksida ini dapat melindungi Al daripada terdedah kepada persekitaran kakisan. Lapisan oksida ini bersifat seperti bahan seramik yang mempunyai rintangan kakisan yang baik. Pelbagai rawatan permukaan Al dilakukan seperti penganodan dan pengecatan akan meningkatkan sifat kerintangan kakisan bahan Al. Al yang bersifat rintangan kakisan yang baik menyebabkan bahan ini amat sesuai dalam aplikasi sebagai bahan pelindung yang efektif.

Daripada jadual 2.3, Al merupakan satu bahan yang mempunyai nilai konduktiviti terma dan elektrik yang baik walaupun bahan ini masih lagi tidak setanding dengan logam kuprum. Tetapi bahan ini sudah memadai dalam aplikasi yang berkaitan pengaliran elektrik dan komponen pertukaran tenaga. Logam ini juga dua kali ganda lebih ringan daripada kuprum, maka logam ini selalu digunakan dalam pembinaan sambungan tenaga utama di stesen penjana tenaga.

Al merupakan bahan yang mempunyai sifat pantulan cahaya nampak yang baik dan mempunyai ketumpatan yang rendah. Permukaan kepingan Al juga berkilat dan mampu memantulkan sejumlah besar sumber cahaya nampak. Maka Al merupakan suatu bahan yang penting dalam pembuatan peralatan pantulan seperti pengekal lampu.



Daripada jadual 2.3, Al mempunyai takat alah yang rendah iaitu 2 kali lebih rendah daripada keluli. Al mempunyai kekuatan tegangan rendah pada suhu bilik di kalangan logam. Al juga bersifat mulur, kebolehan pembentukan yang baik, takat lebur rendah dan ketumpatan rendah akan menyebabkan Al sesuai dibentuk dengan pelbagai kaedah penghasilan dan mampu dibentuk sehingga bentuk hampir sama dengan produk akhir. Nilai kekuatan tegangan Al dapat ditingkatkan dalam julat 70 hingga 700 N/mm<sup>2</sup> pada suhu rendah malah masalah kerapuhan seperti aloi keluli tidak berlaku. Tetapi sifat kekuatan tegangan Al akan menurun apabila suhu ditingkatkan. Daripada jadual 2.3, nilai pengembangan linear Al adalah dua kali lebih tinggi daripada logam keluli. Sifat ini menyebabkan kekuatan tegangan Al turun pada suhu tinggi. Maka semasa fabrikasi produk Al pada suhu tinggi, faktor ini dititikberatkan.

Sifat logam Al yang tidak toksik dan bukan magnet serta kepingan Al yang mempunyai ketebalan 0.007 nm yang kalis air dan udara, kurang berbau dan kandungan dalaman Al tidak tertanggal maka bahan ini amat sesuai dalam pembuatan pembungkus makanan atau farmasi.

Satu kelebihan penggunaan produk Al ialah Al boleh dikitar semula. Hasil akhir pemprosesan kitaran semula Al juga mempunyai kualiti yang baik seperti produk asal. Dalam perleburan semula Al, cuma 5 peratus tenaga daripada jumlah tenaga dalam penghasilan produk Al asal diperlukan. Kebolehan kitaran semula Al menambahkan lagi keistimewaan logam ini dalam aplikasi kejuruteraan.

Jadual 2.3: Sifat-sifat beberapa bahan yang penting dalam aplikasi struktur.

Sifat-sifat	Bahan					
	Aluminium	Ferum	Kuprum	Zink	Nilon	Delrin
Ketumpatan (g/cm <sup>3</sup> )	2.7	7.8	8.9	7.1	1.1	1.4
Takat Alah (MPa)	658	1540	1083	419	255	175
Kapasiti haba (J/kg)	900	450	390	390	1680	1470
Konduktiviti Terma (W/m)	220	75	390	110	0.23	0.23
Pengembangan Terma Linear (10 <sup>-6</sup> °C)	24	12	16	26	70 - 100	80 - 90
Konduktiviti Elektrik (%)	63	16	100	30	-	-
Rintangan Elektrik (10 <sup>-9</sup> Ω/m)	27.5	105	17	58	-	-
Modulus Elastik (GPa)	70	220	120	93	3	3

Jadual 2.4: Siri matriks Al yang selalu digunakan dan jenis aloi yang digunakan dalam setiap siri.

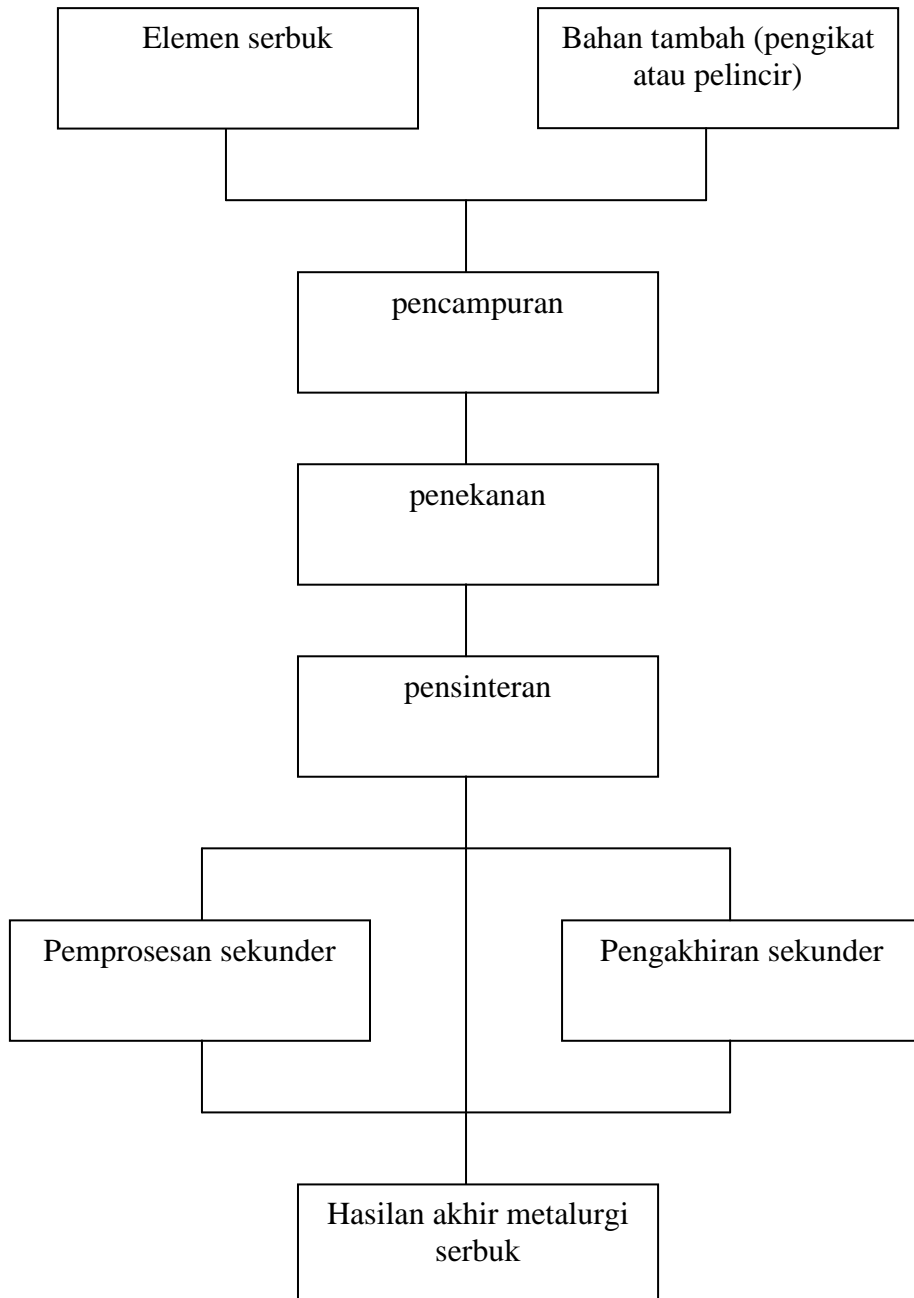
Siri Aloii	Unsur Pengaloiian
1xxx	Tiada
2xxx	Kuprum
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium Silika
7xxx	Zink

Jadual 2.5: Sifat-sifat untuk beberapa aloi Al yang penting dan kegunaan yang sepadan.

Aloi	Sifat	Bentuk	Kegunaan
1200	Al tulen komersial. Sifat mulur dalam keadaan penyemperitan, rintangan kakisan yang paling baik.	Bentuk ringkas	Pelindung, aplikasi yang mempunyai tegasan tidak banyak, sambungan dalam arkitek, kenderaan, peralatan kimia dan makanan serta komponen pertukaran tenaga
6063	Sesuai dalam kerja penyemperitan dengan kekuatan sederhana. Rintangan kakisan yang baik, permukaan akhir baik dan permukaan rawatan seperti penganodan yang sangat baik.	Semua bentuk yang wujud, tiub dan rod.	Komponen arkitek seperti: bar bingkai dan bingkai tingkap. Trim pada kenderaan.
6005	Struktur aloi yang selalu digunakan dalam aplikasi struktur. Sifat mekanikal baik, rintangan kakisan baik dan kebolehkimpalan baik.	Bentuk struktur, rod, bar dan tiub.	Semua aplikasi struktur. Kenderaan darat dan keretapi, kabel, jambatan, bambung dan struktur lain. Pemacu skrew, bolt dan nat.
6060	Struktur aloi yang istimewa. Permukaan akhir baik dan rintangan kakisan baik. Kebolehkimpalan baik.	Semua bentuk struktur. Rod, bar dan tiub.	Aplikasi struktur yang melibatkan permukaan akhir penting, ketebalan nipis dan bentuk kompleks diperlukan. Kapal layar.
6063	Aloi yang disyorkan untuk kegunaan struktur yang mempunyai kekuatan tegangan baik, rintangan kakisan agak baik dan kebolehkimpalan baik.	Bentuk struktur, rod, bar dan tiub.	Kenderaan, jambatan, kabel, bambung dan semua aplikasi struktur yang umum.
6082	Aloi yang boleh dimesin dengan kekuatan sederhana dan tidak sesuai dirawat dengan penganodan	Rod dan bar	Produk 'lathe' automatik

## 2.6 Kaedah metalurgi serbuk

Kaedah fabrikasi ini amat sesuai digunakan dalam penghasilan KML yang diperkuatkan bahan penguat partikel. Rajah 2.1 menunjukkan carta alir kaedah metalurgi serbuk yang selalu digunakan dalam penghasilan KML di industri atau makmal.



Rajah 2.1: Carta alir ringkas proses metalurgi serbuk.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi sifat mekanikal dan fizikal KML yang dihasil dengan kaedah metalurgi serbuk seperti, termasuk pemilihan jenis bahan, saiz dan peratus isipadu penguat serta sifat kimia, saiz dan bentuk partikel serbuk matriks. Parameter fabrikasi dalam kaedah metalurgi serbuk iaitu jenis pencampuran, prosedur penyahgas, suhu dan tekanan untuk penekanan akhir.

Terdapat empat kelebihan kaedah metalurgi serbuk yang menyebabkan kaedah ini menarik perhatian para penyelidik dan pengeluar. Kelebihan yang dimaksudkan dapat ditunjukkan seperti berikut.

- i) Mengurangkan tindakbalas kimia antara bahan penguat seramik dan matriks logam menerusi proses keadaan pepejal atau separa pepejal.
- ii) Beberapa jenis matriks dan bahan penguat dapat digabungkan dalam komposit yang sama.
- iii) Ketidakseimbangan fasa matriks aloi dapat dihasilkan dengan pemejalan cepat.
- iv) Peratus isipadu bahan penguat yang tinggi dapat digunakan.

Tetapi kaedah metalurgi serbuk terdapat tiga kelemahan yang disenaraikan berikut.

- i) Kaedah ini berkos lebih tinggi daripada proses pemejalan.
- ii) Kaedah ini lebih kompleks daripada kaedah lain.
- iii) Banyak faktor keselamatan perlu diambilkira terutama serbuk logam yang reaktif secara kimia digunakan.

## 2.7 Faktor pemilihan bahan penguat

Pemilihan bahan penguat dalam kaedah mtalurgi serbuk adalah bergantung kepada jenis aplikasi. Contohnya, aplikasi struktur memerlukan KML yang melibatkan sifat modulus kenyal, kekuatan tegangan tinggi dan ketumpatan rendah. Sifat penguat merupakan faktor yang mempengaruhi sifat akhir komposit. Dalam aplikasi yang melibatkan kitaran terma yang tinggi seperti enjin pembakaran, satu keperluan yang penting ialah ketidaksepadanan terma di antara bahan penguat dan matriks perlu dikurangkan sehingga pada tahap minimum. Kepentingan ini dapat dijelaskan sebagai terikan terhasil pada antaramuka fasa matriks dengan bahan penguat apabila pekali pengembangan terma di antara dua fasa ini berbeza. Dalam satu kitaran terma, terikan yang terhasil pada antaramuka ialah digambarkan dengan persamaan 2.2.

$$\varepsilon = \delta\alpha\delta T$$

(2.2)

Di mana,  $\varepsilon$  = terikan terhasil pada antaramuka

$\delta\alpha$  = perbezaan pekali terma di antara fasa matriks dan penguat

$\delta T$  = julat suhu eksperimen semasa perubahan terma

Daripada persamaan 2.2, jika terikan melebihi takat alah terikan, aliran plastik setempat pada antaramuka fasa matriks dan bahan penguat berlaku. Masalah ini akan menyebabkan kegagalan atau kerosakan bermula daripada antaramuka itu. Oleh itu, dalam aplikasi ini perbezaan pekali pengembangan terma di antara bahan penguat dan matriks perlu dikurangkan sehingga pada tahap minimum.

Darjah kegagalan atau kesilapan pemilihan bahan adalah bergantung kepada kaedah penghasilan bahan penguat. Morfologi dan komposisi kimia bahan penguat juga merupakan faktor yang penting dalam pemilihan bahan penguat yang sesuai. Kebanyakan bahan penguat seramik seperti silikon karbida (SiC). Bahan ini mempunyai beberapa polimorf yang berbeza. Oleh itu, pencirian bahan penguat merupakan langkah kawalan awal kaedah metalurgi serbuk.

Kereaktifan bahan penguat seramik dalam beberapa komposisi matriks logam perlu dititikberatkan. Tindakbalas matriks logam dan bahan penguat selalu membawa kerosakan pada KML. Maka suhu operasi dan tekanan perlu dikawal teliti supaya mengelakkan tindakbalas ini berlaku dalam KML. Pembentukan lapisan fasa antara logam pada antara fasa matriks dan bahan penguat merupakan tempat permulaan retakan, penyingkiran pertambahan unsur aloi dan meminimumkan sifat menarik dalam rawatan pengerasan.

## **2.8 Faktor pemilihan matriks**

Dalam KML sistem Al, pertambahan unsur aloi mangan (Mn) dan kromium (Cr) akan membawa mudarat kepada sifat mekanikal KML. Masalah ini disebabkan oleh pembentukan lapisan antaramuka logam yang terdiri daripada Mn dan Cr. Oleh itu, pemahaman komposisi aloi, spesifikasi piawaian aloi akan membangunkan gabungan sifat KML seperti kekuatan tegangan, kemuluran, keliatan patah dan lain-lain. Kaedah metalurgi serbuk selalu menggunakan serbuk yang dihasilkan dengan kaedah pengatoman. Saiz purata partikel serbuk yang selalu digunakan dalam kaedah metalurgi serbuk ialah 15  $\mu\text{m}$ .

## **2.9 Pencirian saiz partikel serbuk**

Saiz dan morfologi partikel serbuk termasuk matriks dan bahan penguat akan mempengaruhi kaedah metalurgi serbuk penghasilan KML. Sifat-sifat tersebut juga mempengaruhi sifat fizikal dan mekanikal KML. Pencirian saiz partikel merupakan langkah awal penentuan bahan mentah awal dalam kaedah metalurgi serbuk.

Penyediaan spesimen adalah penting dan selalu dititikbertkan dalam pencirian saiz partikel. Kaedah piwaian pensampelan telah dibangunkan oleh ASTM ahli jawatankuasa B – 9 (piawaian B 215) dan MPIF (piawaian 1). Namun begitu pengumpulan spesimen untuk dianalisis sukar dipiawaikan kerana banyak partikel matriks dan bahan penguat akan bergumpal dan keras semasa pengangkutan dan penyimpanan. Keadaan ini terjadi kerana getaran terhasil semasa pengangkutan dan pencampuran awal yang tidak diingini berlaku sebelum pensampelan dilakukan. Tambahan pula, serbuk logam dan bahan penguat bersifat hidroskopik. Oleh itu, serbuk itu senang bergumpal sebelum persampelan dijalankan. Oleh sebab itu, spesimen dikeringkan sebelum pensampelan berlaku.

Pencirian saiz partikel matriks dan bahan penguat dilakukan melalui kaedah pengayakan, pegenapan, pembiasaan sinar laser dan mikroskop elektron.

### **2.9.1 Kaedah pengayakan**

Kaedah ini selalu digunakan dalam penentuan saiz partikel. Dalam kaedah ini, serbuk akan ditapis menerusi satu skrin pada nilai mesh tertentu. Partikel yang bersaiz lebih kecil daripada bukaan skrin itu dapat menerusi bukaan itu. Saiz partikel ditentukan oleh