

raf

TA418.9.L3 .A22 2007



0000044138

Proses fabrikasi dan pencirian bahan komposit laminat  
untuk industri kapal terbang / Abdul Razak Bahtrem.

“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur dan Bahan)”

Tandatangan

:  .....

Nama Penyelia

: SU. HAJAR DINTI. SHEKH MD FADZULLAH

Tarikh

: 14. MEI 2007 .....

**PROSES FABRIKASI DAN PENCIRIAN BAHAN KOMPOSIT LAMINAT  
UNTUK INDUSTRI KAPAL TERBANG**

**ABDUL RAZAK BIN BAHTREM**

Laporan ini diserahkan kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal Struktur dan Bahan

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

April 2007

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya”



Tandatangan : .....  
Nama Penulis : ABDUL RAZAK B. BAHREM .....  
Tarikh : 14. 5. 2007 .....

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi kesyukuran keda Allah S.W.T dengan segala nikmat dan rezeki yang dikurniakan-NYA, Dalam penghasilan tesis ini saya telah berhubung dengan banyak pihak samaada secara lansung ataupun tidak. Mereka telah banyak menyumbang idea, tenaga, memberi semangat, kerjasama, nasihat, bantuan dalam penghasilan tesis ini dengan jayanya. Dengan rasa penuh berterima kasih saya ingin memberi penghargaan kepada penasihat utama saya iaitu Pn Siti Hajar Bt Md Sheikh Fadzullah kerana banyak memberi tunjuk ajar, kerjasama, persahabatan dan nasihat. Tidak lupa juga setinggi-tinggi penghargaan saya ucapkan kepada dekan fakulti kejuruteraan mekanikal Prof. Madya Dr. Mohd Radzai Bin Said yang sentiasa memberi nasihat yang tidak putus-putus. Tanpa sokongan dan tunjuk ajar mereka tesis ini tidak akan berjalan dengan lancar.

Selain itu, tidak dilupakan juga buat pihak pengurusan Composite Technology Research Melaka (CTRM) terutamanya kepada En Muhammad Hamdan B Mohd Sanusi dan En. Shamsuri Jelani di atas kerjasama yang diberikan dan mendapat pengalaman, pengetahuan, dan maklumat sepanjang analisis saya di sana.

Selain itu juga saya ingin berterima kasih kepada pihak perpustakaan Universiti kerana menyediakan kemudahan rujukan dan sumber-sumber jurnal yang penting dalam kandungan tesis ini. Rakan-rakan seperjuangan yang tidak putus-putus memberi sokongan moral dan kerjasama termasuklah individu-individu yang terlibat secara tidak lansung. Akhir sekali saya ingin mengucapkan setinggi penghargaan kepada keluarga saya di atas setiap pengorbanan mereka selama ini.

## ABSTRACT

Laminate composite of CFRP were fabricated using hand lay up process at  $\pm 45^\circ$  orientation with 10 layers of plies. The laminates were autoclave cured at  $140^\circ\text{C}$ . The laminates composite were trimmed and cut to size to Tensile Test as per ASTM D3039-76 and Impact Test as per ASTM D6110 for mechanical testing and surface analysis via Scanning Electron Microscope (SEM). Five samples of  $200\text{mm} \times 15\text{mm} \times 3.5\text{mm}$  were tested under tensile load at  $2\text{mm}/\text{min}$ . Five specimens were cut to dimension of  $50\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$  at angle  $+120^\circ$  were tested under Impact Test. Surface analyses via SEM were made for specimens before and after mechanical testing. It was found that the average tensile stress at maximum load is  $175.86 \pm 4.49\text{MPa}$  via UTM Instron. From Impact Test, the average energy absorbed is  $27.5\text{J}$ . SEM analysis of specimens after Impact Test showed that delaminataion, matrix cracking and fibre pull-out occur in the laminate composite systems. After tensile test, it was observed that brittle fracture occurs for the laminate composites with some fibre pull-out from composite system.



## ABSTRAK

Fabrikasi komposit laminat adalah dengan proses bengkalai tangan pada orientasi  $\pm 45^\circ$  dan dengan 10 lapisan (*ply*). Laminat diawet melalui autoklaf pada suhu  $140^\circ\text{C}$ . Komposit laminat ditrim dan dipotong mengikut saiz piawaian Ujian Tegasan menurut ASTM D3039-76 dan Ujian Hentaman menurut ASTM D6110 bagi ujian mekanikal. Manakala analisis permukaan adalah dengan menggunakan Mikrograf Mikroskop Elektron (SEM). Lima sampel berdimensi  $200\text{mm} \times 15\text{ mm} \times 3.5\text{ mm}$  diuji melalui Ujian Tegasan dengan kelajuan  $2\text{ mm} / \text{min}$ . Lima lagi sampel berdimensi  $50\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$  dengan sudut pendulum  $+120^\circ$  diuji melalui Ujian Hentaman. Analisis permukaan sebelum dan selepas ujian mekanikal direkod dengan menggunakan SEM. Keputusan menunjukkan purata bagi Ujian Tegasan pada beban maksimum adalah  $175.86 \pm 4.49\text{ MPa}$  dengan menggunakan mesin tegasan. Manakala Ujian Hentaman menunjukkan purata tenaga yang diserap oleh komposit laminat adalah  $27.5\text{ J}$ . Analisis SEM menunjukkan panyahlaminatan, keretakan matriks dan gentian terkeluar berlaku pada komposit laminat. Selepas Ujian Tegasan, dapat diperhatikan patah rapuh berlaku pada komposit laminat di mana sebahagian gentian terkeluar daripada sistem komposit.

## KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
1	<b>PENGENALAN</b>	1
	1.1 Objektif	2
	1.2 Skop kajian	3
	1.3 Pernyataan masalah	3
	1.4 Penyelesaian masalah	
2	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	4
	2.1 Konsep asas	4
	2.2 Apa itu komposit?	5
	2.3 Kandungan bahan komposit	5
	2.4 Gentian karbon	7
	2.5 <i>Prepreg</i>	7
	2.6 Komposit termaju	8
	2.7 Teori pengiraan pada komposit	9
	2.8 Aplikasi struktur komposit pada pesawat	11
	2.9 Proses fabrikasi komposit	13
	2.9.1 Lilitan filamen	13
	2.9.2 <i>Pultrusi</i>	14
	2.9.3 Pengacuan pemindahan matriks	15
	2.9.4 Pengacuan suntikan	17
	2.9.5 Pengacuan mampatan	18



2.9.6	Pengacuan beg vakum	19
2.9.7	Bengkalai tangan	20
2.9.8	Semburan	22
2.10	Terminologi mekanik	23
2.10.1	Analisis mekanikal komposit	23
2.11	Komposit polimer diperkuat gentian karbon ( <i>Carbon Fiber Reinforced Plastic-CFRP</i> )	26
<b>3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>29</b>
3.1	Ujian Tegasan ( <i>Tensile Test</i> )	29
3.1.1	Modulus keanjalan	31
3.1.2	Kekuatan alah	32
3.1.3	Kekuatan tegangan muktamad ( <i>Ultimate Tensile Strength</i> )	32
3.1.4	Peratusan pemanjangan	33
3.1.5	Peratus pengurangan pada luas	34
3.1.6	Tegasan sebenar dan terikan sebenar	35
3.2	Ujian Hentaman ( <i>Impact Test</i> )	36
<b>4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PEBINCANGAN</b>	<b>40</b>
4.1	Bentuk kerosakan pada komposit laminat	40
4.2	Ujian tegasan menurut astm D6110	42
4.2.1	Signifikan	42
4.2.2	Gangguan	43
4.2.3	Sampel dan ujian spesimen	44
4.2.4	Geometri	44
4.2.5	Prosedur	46
4.2.6.1.1	Pengiraan	51
4.2.6.1.2	Tegasan-tegangan / Kekuatan tegangan	51
4.2.6.1.3	Terikan-tegangan	52

4.3 Analisis Mikrograf Mikroskop Elektron (SEM) Komposit Polimer Diperkuat Gentian Karbon (CFRP) bagi Ujian Tegasan menurut ASTM D3039-76	53
4.3.1 Keadaan permukaan CFRP sebelum ujian tegasan	53
4.3.1 Keadaan Permukaan CFRP selepas Ujian Tegangan	55
4.4 Ujian Hentaman (Charpy)	56
4.4.1 Teknik pengukuran hentaman	57
4.4.2 Spesimen Ujian Hentaman (Charpy) menurut ASTM D6110	58
4.4.3 Penentuan Tenaga Hentaman Charpy	59
4.4.4 Keputusan	60
4.4.5 Faktor yang mempengaruhi tenaga hentaman	61
4.4.6 Kekuatan alah dan kemuluran	61
4.4.7 Mekanisme patah	61
4.4.8 Takuk	62
4.4.9 Suhu dan kadar terikan	62
4.5 Analisis Mikrograf Mikroskop Elektron (Sem) Polimer Diperkuat Gentian Karbon (CFRP) bagi Ujian Hentaman menurut ASTM D6110	62
4.5.1 Keadaan permukaan CFRP sebelum Ujian Hentaman	63
4.5.2 Keadaan permukaan CFRP selepas Ujian Hentaman	65
<b>5.0 CADANGAN</b>	<b>65</b>
<b>6.0 KESIMPULAN</b>	<b>66</b>
<b>RUJUKAN</b>	<b>68</b>

## SENARAI JADUAL

NO JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Komponen pada pesawat Boeing 757 serta senarai bahan komposit yang digunakan.	12
2.2	Ciri gentian karbon yang diperbuat daripada <i>precursor PAN</i>	28
3.1	Dimensi bahan komposit untuk ujian ketegangan mengikut piawaian ASTM.	29
4.1	Perbandingan <i>Yarn properties</i> bagi tetulang gentian untuk plastik	41
4.2	Parameter dan keperluan digunakan semasa ujian tegasan	45
4.3	Keputusan yang diperolehi selepas ujian tegasan dilaksanakan	48
4.4	Pengiraan untuk kekuatan tegangan muktamad komposit polimer diperkuat gentian karbon (CFRP)gentian karbon (CFRP)	51
4.5	Pengiraan untuk peratusan terikan pada komposit polimer diperkuat	52
4.6	Menunjukkan dimensi yang diperlukan untuk ujian hentaman	58
4.7	Sudut dan tenaga yang terhsil pada komposit laminat setelah ujian hentaman dilaksanakan	60

## SENARAI RAJAH

NO RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Hierarki bahan komposit berasaskan polimer	6
2.2	Kronologi penggunaan bahan logam kepada bahan komposit	10
2.3	Kegunaan komposit pada pesawat canggih AV-8B	11
2.4	Lilitan filamen	13
2.5	<i>Pultrusi</i>	14
2.6	Pengacuan pemindahan damar	16
2.7	Suntikan damar	18
2.8	Pengacuan mampatan	18
2.9	Pengacuan vakum	19
2.10	Pengacuan autoklaf ( <i>autoclave moulding</i> )	20
2.11	Proses bengkalai tangan	21
2.12	Semburan	22
2.13	Analisis skema untuk komposit laminat	26
3.1	Graf tegasan-terikan	31
3.2	<i>Offset 2</i> peratus pada graf tegasan-terikan	32
3.3	Penentuan kekuatan tegangan muktamad	33
3.4	Panjang tolok sebelum dan selepas ujian tegasan	34
3.5	Radas yang digunakan untuk ujian hentaman	37
3.6	Hentaman pada spesimen	38
4.1	SEM mikrograf menunjukkan susunan matriks dan gentian pada komposit laminat	41
4.2	Kedudukan komposit laminat dengan cengkaman ( $90^0$ )	44

4.3	Spesimen bagi plastik diperkuat gentian karbon (CFRP) sebelum ujian tegangan dengan dimensi 200mm x 15mm x 3.5 mm	45
4.4	Kedudukan komposit laminat ketika cengkaman pada kedua-dua bahagian atas dan bawah	47
4.5	Ilustrasi kedudukan specimen pada cengkaman ( <i>Gripping</i> )	47
4.6	Kedudukan komposit polimer diperkuat gentian plastik (CFRP) pada cengkaman	49
4.7	Kedudukan komposit polimer diperkuat gentian plastik (CFRP) selepas Ujian Tegasan	49
4.9	Keadaan bagi kelima-lima specimen selepas Ujian Tegasan	50
4.10	SEM Mikrograf menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP sebelum dikenakan daya tegangan. (x28)	53
4.11	Mikrograf (SEM) menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP (x 100)	54
4.12	SEM Mikrograf menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP (x 200)	54
4.13	SEM Mikrograf menunjukkan lapisan laminat yang terdiri daripada banyak lapisan lamina (x 37)	55
4.14	SEM Mikrograf menunjukkan struktur jelas kelihatan pada pembesaran (x 100)	55
4.15	SEM Mikrograf menunjukkan kegagalan tegangan bahan CFRP (x 500)	56
4.16	Kedudukan bahan komposit laminat semasa ujian hentaman dilaksanakan	57
4.17	Ilustrasi bagi arah ricih bahan kegagalan struktur komposit laminat apabila daya hentaman dikenakan.	57
4.18	Spesimen komposit polimer diperkuat gentian karbon (CFRP) sebelum ujian hentaman	58



4.19	Radas yang digunakan untuk ujian hentaman	58
4.20	Kedudukan spesimen pada radas	59
4.21	Keadaan komposit laminat bagi CFRP selepas ujian hentaman	60
4.22	SEM Mikrograf menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP sebelum dikenakan daya tegangan. (x28)	63
4.23	SEM Mikrograf menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP (x 100)	64
4.24	SEM Mikrograf menunjukkan struktur pada keratan rentas CFRP (x 200)	64
4.25	SEM Mikrograf menunjukkan struktur CFRP selepas ujian hentaman (x 50)	65
4.26	SEM Mikrograf menunjukkan struktur gentian dan Matriks yang lebih jelas (x 100)	65
4.27	SEM menunjukkan terdapat lompong halus pada CFRP selepas ujian hentaman (x 500)	66



## SENARAI SIMBOL

<b>SIMBOL</b>	<b>DEFINISI</b>
E	Modulus Young
g	Graviti
l	Panjang
A	Luas
m	Jisim
h	Ketinggian
e	Kekuatan hentaman
F	Daya

<b>HURUF GREEK</b>	<b>DEFINISI</b>
$\rho$	Ketumpatan
$\sigma$	Tegasan
$\varepsilon$	Terikan
$\delta L$	Perubahan panjang

<b>SUBSKRIP</b>	<b>DEFINISI</b>
ut	Muktamad
o	Asal

## BAB 1

### Pengenalan

Penggunaan komposit polimer diperkuat gentian karbon (CFRP) memberi tiga kelebihan utama dalam aplikasi struktur. Pertama, CFRP mempunyai kekuatan spesifik dan ketegaran yang tinggi. Penggunaannya boleh mengurangkan sebahagian besar bebanan terutamanya untuk industri kapal terbang. Kedua, CFRP mempunyai ketahanan yang boleh diterima pakai. Dengan adanya kekuatan lesu, rintangan kerosakan adalah tinggi serta sifat tahan kepada pengaratan, CFRP mampu mengurangkan kos penyelenggaraan. Ketiga, kelebihan terhadap pengurangan kos pembuatan. Melalui ketiga-tiga kelebihan ini, industri aeroangkasa umpamanya kini sedang giat berusaha untuk menghasilkan komposit termaju.

Di samping mengetahui kelebihan komposit, memahami sejarahnya adalah turut penting dalam mencari atau menghasilkan nilai bahan komposit yang lebih tinggi pada masa akan datang. Ini kerana penggunaan komposit yang kian meluas mewujudkan pelbagai jenis teknologi serta radas eksperimen untuk menghasilkannya di samping kajian yang dilaksanakan. Penggunaan komposit adalah begitu meluas dalam industri kapal terbang kerana dapat membantu dalam mengurangkan kos, beban dan penyelenggaraan sesebuah pesawat. Komposit juga menghasilkan struktur yang stabil bagi pesawat. Pun begitu, terdapat lagi kajian yang berterusan dilaksanakan untuk mengatasi masalah dan kekurangan yang sedia ada. Dalam kajian ini, kita berbalik semula kepada asas binaan komposit serta memahami sifat-sifat mekanikal bahan itu supaya komposit yang terhasil pada masa akan datang lebih bertahan lama.

## 1.1 OBJEKTIF

Kajian ini adalah untuk mengkaji dan memahami sifat bagi sesuatu bahan komposit laminat untuk kapal terbang. Selain itu, proses fabrikasi bagi komposit turut difahami untuk mengetahui asas binaan komposit. Dengan memahami kedua-dua perkara di atas, segala permasalahan yang timbul dapat sedikit sebanyak membantu dalam memajukan lagi bahan komposit yang sedia ada. Selain itu, objektif juga merangkumi perkara-perakira berikut:

- a) Mengetahui kesan komposit terhadap hentaman
- b) Memahami sifat atau perlakuan komposit jika apabila daya mampan dikenakan ke atasnya.
- c) Mempelajari sifat-sifat mekanikal berdasarkan rajah tegasan-terikan bahan komposit

## 1.2 SKOP KAJIAN

Skop kajian adalah berdasarkan penghasilan serta penggunaan komposit pada pesawat di samping memahami sifat-sifat mekanikal bagi komposit. Terdapat beberapa langkah yang perlul difahami untuk mengahsilkan komposit. Antaranya ialah lilitan filamen, *pultrusi*, pengacuan pemindahan damar, pengacuan suntikan dan mampatan dan pengacuan beg vakum (autoklaf). Dalam memahami aplikasi komposit dalam pesawat, terlebih dahulu kita perlu memahami apakah yang dikatakan komposit polimer diperkuat gentian plastic (CFRP). Ini akan dapat membantu kita mencari punca mengapa penggunaan CFRP begitu meluas dalam industri kapal terbang. Seterusnya, skop adalah termasuk menjalankan beberapa eksperimen untuk mengetahui sifat-sifat mekanikal bahan komposit dan mencari masalah yang timbul serta mencari jalan penyelesaiannya. Dengan adanya eksperimen yang dijalankan, ini akan memudahkan lagi untuk menganalisa komposit laminat yang sering menjadi kajian pada masa sekarang.

### **1.3 PERNYATAAN MASALAH**

Komposit adalah salah satu bahan yang perlu dikaji secara berterusan bagi menghasilkan nilai bahan komposit yang lebih bermutu. Namun terdapat masalah kepada mereka yang hendak mengkaji dalam julat yang kecil. Ini disebabkan komposit hanya terhad kepada syarikat-syarikat yang mempunyai nama besar dalam industri ini. Bahan komposit adalah bahan yang sukar diperolehi. Di samping itu, masalah yang utama adalah untuk memahami keadaan yang sebenar berlaku pada pesawat dalam penggunaan komposit laminat.

### **1.4 PENYELESAIAN MASALAH**

Bagi menyelesaikan masalah ini, lawatan ke kilang adalah sangat perlu untuk mengetahui lebih lanjut bahan komposit serta memahami sifat-sifat mekanikal bahan itu. Kajian yang dibuat hendaklah bertepatan dengan keperluan industri agar dapat memberi sedikit sebanyak sumbangan dalam memajukan bahan komposit. Di samping itu, mempelajari kaedah-kaedah fabrikasi secara praktikal dapat membantu kita dalam membentuk komposit yang lebih bermutu. Ini adalah kerana mutu sesuatu bahan komposit adalah terletak pada pembuatnya.

## **BAB 2**

### **KAJIAN ILMIAH**

#### **2.1 KONSEP ASAS**

Struktur bahan boleh dibahagikan kepada 4 kategori iaitu:

- a) Logam
- b) Polimer
- c) Seramik
- d) Komposit

Kajian ini adalah berkaitan dengan komposit yang menjadi bahan yang termaju dalam industri pesawat berat mahupun ringan.



## 2.2 APA ITU KOMPOSIT?

Komposit adalah bahan struktur yang bergabung antara dua atau lebih jujuk (bahan). Jujuk yang bergabung pada tahap makroskopik (*macroscopic*) adalah tidak terlarut antara satu dengan yang lain. Dalam komposit terdapat satu jujuk dipanggil *reinforcing phase*. Manakala jujuk yang lain dipanggil matriks. *Reinforcing phase* mungkin terdiri daripada gentian, zarah ataupun epingan. Fasa matrik pada umumnya adalah bersambungan. Antara contoh sistem komposit adalah konkrit yang diperkuat dengan besi dan epoksi diperbuat gentian grafit.

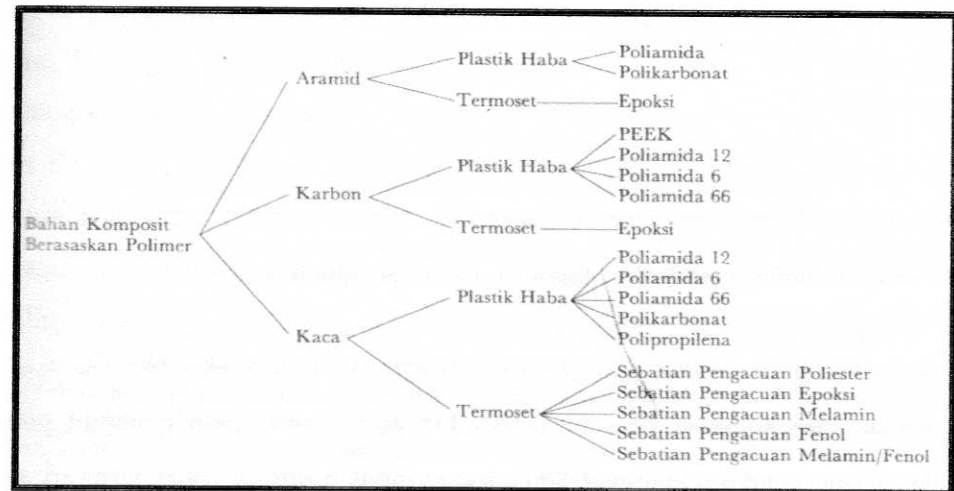
## 2.3 KANDUNGAN BAHAN KOMPOSIT

Walaupun terdapat pelbagai jenis bahan komposit seperti zarah dalam matriks, gentian dalam matriks, gabungan kedua-duanya atau lapisan, tumpuan utama bagi struktur ini adalah bahan komposit bertetulang. Secara umumnya bahan komposit dianggap sebagai gabungan gentian dan matriks.

Bahan matriks terdiri daripada polimer termoplastik atau termoset, matriks logam (aluminium, titanium dan superaloi) dan matriks seramik (termasuk karbon dan kaca). Pelbagai spektrum bagi susunan rencaman kimia dan mikrostruktur boleh dibuat pada setiap kategori matriks tersebut. Bahan komposit bertetulang gentian adalah gentian dalam matriks polimer, logam atau seramik. Bahan komposit mengandungi gentian terbenam dalam atau terikat kepada matriks dengan antara permukaan yang berbeza di antara dua jujuk. Gentian selalunya mempunyai kekuatan dan modulus yang tinggi dan menjadi unsur yang menyokong beban yang utama. Matriks meletakkan gentian ditempatnya, menentukan tempat penghalaannya dan memisahkan antara satu gentian dengan yang lain. Matriks bertindak sebagai medium yang memindahkan beban antara gentian dan apabila beban-beban begitu kompleks, matriks menahan beban melintang daripada paksi gentian.



Oleh sebab matriks pada umumnya lebih mulur daripada gentian, ia merupakan sumber keliatan bagi komposit. Matriks juga bertindak memelihara gentian daripada persekitaran sebelum, semasa dan selepas pemrosesan bahan komposit. Di dalam bahan komposit, gentian dan matriks mengekalkan identiti mereka tetapi sebaliknya menghasilkan sifat-sifat yang boleh diperolehi daripada jujuk yang bertindak secara bersendirian. Biasanya bahan komposit termaju digunakan dalam industri kapal terbang ataupun pesawat. Bahan komposit termaju adalah sejenis bahan komposit yang mempunyai nisbah kekuatan dan keukuhan kepada jisim yang lebih tinggi daripada bahan komposit biasa. Kosnya lebih tinggi dan sifat-sifatnya direkabentuk dengan tepat bagi memperolehi objektif tertentu. Menggabungkan polimer dengan gentian bagi membentuk bahan komposit ialah satu cara terbaik dan murah untuk memperbaiki keukuhan, kekuatan dan rintangan suhu dan rayap bagi polimer. Dalam bahan bertetulang ini, kekuatan dan keukuhan gentian yang menggalas beban digabungkan dengan matriks polimer untuk memberi gabungan kekuatan dan keliatan yang baik. Berikut adalah hierarki bahan komposit berasaskan polimer:



Rajah 2.1 Hierarki bahan komposit berasaskan polimer

## 2.4 GENTIAN KARBON

Gentian karbon agak terhad penggunaannya jika dibandingkan dengan gentian kaca. Gentian ini lebih baik, mempunyai ketumpatan yang lebih rendah yang boleh menyebabkan sifat tentu yang lebih tinggi dan mempunyai keukuhan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gentian kaca. Gentian karbon juga mempunyai modulus ketegangan yang lebih tinggi daripada gentian kaca dan faktor ini menggalakkan penggunaan gentian tetulang gentian karbon dalam bahan komposit termaju. Sifat-sifat di antara permukaan gentian atau matriks yang baik adalah penting untuk bahan komposit bertetulang karbon bagi menghasilkan rekabentuk yang optimum.

## 2.5 PREPREG

*Prepreg* terdiri daripada gabungan matriks (damar) yang dimangkin dan gentian bertetulang. Gentian tersebut telah dikenakan proses penyerapan (*impregnation*) oleh matriks. Ia wujud dalam bentuk akaarah atau fabrik. Bahan ini dibuat dengan pragabungan matriks dan tetulang kepada bahan komposit yang sedia untuk diacu. Bahan ini masih lagi berada dalam keadaan yang belum diawet. Sifat-sifat yang optimum akan didapati dalam acauan. Bahan ini memerlukan simpanan sejuk dalam peti sejuk dan hayatnya dikira menurut minggu. Apabila dibuka kepada suhu sekeliling, hayatnya berkurang kepada beberapa jam. Aturan rekabentuk bagi *prepreg* pada umumnya boleh diubahsuai dengan kaedah pengacuan yang digunakan. *Prepreg* biasanya digunakan dalam industri kapal terbang, helikopter, marin dan sukan. *Prepreg* boleh diproses untuk membentuk komponen dengan menggunakan proses beg vakum, autoklaf, pengacuan tekanan panas, tiub penggelek dan beg tekanan.

## 2.6 KOMPOSIT TERMAJU

Komposit termaju adalah komposit yang biasa digunakan dalam industri penerbangan. Komposit ini memiliki keteguhan yang tinggi pada diameter matriks seperti aluminium dan epoksi.

Pada kebiasaannya bahan yang digunakan dalam menghasilkan sesuatu adalah terdiri daripada satu jenis logam sahaja seperti ferum dan aluminium. Pun begitu, dengan adanya teknologi yang menggabungkan dua atau lebih bahan akan menjadikan bahan tersebut lebih teguh dan kukuh jika dibandingkan dengan sebelumnya. Antara kelebihan yang dapat diuraikan dalam penggunaan komposit jika dibandingkan dengan satu bahan sahaja adalah seperti berikut:

- 1) Penggunaan bahan monolitik atau satu bahan sahaja tidak mampu memenuhi kriteria teknologi pada masa kini. Hanya dengan menggabungkan dua atau lebih bahan dapat mengatasi masalah tersebut. Kajian telah dilakukan menunjukkan bahawa rangka (*trusses*) yang digunakan pada satelit memerlukan dimensi dan bahan yang stabil di ruang angkasa. Pada masa yang sama, perbezaan suhu dunia dan ruang angkasa adalah berbeza iaitu antara  $-160^{\circ}\text{C}$  hingga  $93.3^{\circ}\text{C}$ . Ini membuktikan bahawa pentingnya penggunaan komposit dalam mengatasi masalah perbezaan suhu ketara yang boleh menyebabkan kerosakan pada satelit. Pemalar pengembangan haba (*thermal expansion*) yang terhad adalah rendah dan menyebabkan bahan monolitik tidak dapat memenuhi kriteria tersebut.
- 2) Dalam banyak kes, penggunaan komposit adalah lebih efisien. Sebagai contoh dalam pasaran pesawat penerbangan yang kini bersaing hebat. Terdapat di antara mereka mencari jalan untuk mengurangkan beban pada pesawat tanpa mengubah kekuatan dan kekakuan (*stiffness*) pada komponen pesawat. Keputusan yang diperolehi daripada semua ini menunjukkan



penggunaan komposit pada pesawat mampu mengurangkan kos bahan api serta mampu mengurangkan beban pesawat.

## 2.7 TEORI PENGIRAAN PADA KOMPOSIT

Secara amnya, terdapat dua keadah yang biasa digunakan dalam pengiraan untuk komposit iaitu:

### 1) Modulus Spesifik

Modulus spesifik adalah nisbah Young Modulus kepada ketumpatan.

$$\text{Modulus spesifik} = \frac{E}{\rho} \dots\dots\dots(1)$$

### 2) Kekuatan spesifik

Kekuatan spesifik adalah nisbah antara tegasan akhir  $\sigma_{ult}$  kepada ketumpatan pada bahan.

$$\text{Kekuatan spesifik} = \frac{\sigma_{ult}}{\rho} \dots\dots\dots(2)$$

Kedua-dua nisbah ini adalah tinggi pada komposit. Sebagai contoh kekuatan grafit dan epoksi pada mana-mana arah adalah sama seperti besi. Namun kekuatan spesifik bagi komposit adalah tiga kali ganda lebih besar dari besi. Kepentingan komposit