

**KOMPOSIT HIBRID VINIL ESTER DIPERKUAT  
GENTIAN TANDAN BUAH KOSONG KELAPA  
SAWIT DENGAN GENTIAN KACA**

**KANG CHEN WAI**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2011**

**KOMPOSIT HIBRID VINIL ESTER DIPERKUAT  
GENTIAN TANDAN BUAH KOSONG KELAPA  
SAWIT DENGAN GENTIAN KACA**

**Oleh**

**KANG CHEN WAI**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains**

**NOVEMBER 2011**

## PENGHARGAAN

Ribuan terima kasih yang tak terhingga saya ucapkan kepada Professor Dr. Abdul Khalil Shawkataly atas idea yang dicetuskan, nasihat yang membina, tunjuk ajar, perbincangan, dan perkongsian maklumat sepanjang menjalankan penyelidikan ini sehingga menjayakan pengajian Ijazah Sarjana. Bantuan dan jasa yang beliau berikan tidak mungkin terbalas oleh saya.

Penghargaan ditujukan kepada semua pemeriksa dalaman dan luaran tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada sesiapa sahaja yang telah terlibat secara langsung atau tidak langsung sepanjang saya menjalankan projek ini. Tidak ketinggalan sokongan dan bantuan serta komitmen yang diberikan oleh pembantu-pembantu makmal (En. Azhar, En. Abu, En. Shamsul, En. Raja dan Pn. Hasni) dalam pengendalian alatan makmal dan mesin dengan ucapan terima kasih yang tidak terhingga. Tidak dilupakan juga terima kasih diucapkan kepada sahabat-sahabatku dan rakan seperjuangan ijazah tinggi atas pertolongan semangat, bantuan dan kerjasama yang diberikan. Saya amat menghargainya.

Akhirnya, saya ingin mengambil kesempatan ini untuk menunjukkan penghargaan kepada ibu bapa dan ahli keluarga saya yang dikasihi. Mereka telah memberi nasihat dan motivasi kepada saya untuk meneruskan projek penyelidikan Ijazah Sarjana di Pusat Pengajian Teknologi Industri, Universiti Sains Malaysia. Pengorbanan dan kesabaran yang kalian berikan tidak ternilai harganya.

Sekian, terima kasih.

# KANDUNGAN

m/s

<b>PENGHARGAAN</b>	<b>ii</b>
<b>KANDUNGAN</b>	<b>iii</b>
<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>vi</b>
<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>vii</b>
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
1. PENGENALAN	
1.1. Pengenalan Komposit	1
1.2. Objektif	7
2. TINJAUAN LITERATUR	
2.1 Definisi Komposit	8
2.1.1 Klasifikasi Komposit	9
2.1.2 Bagaimana Komposit Berfungsi	10
2.1.3 Kelakuan atau Prestasi Komposit	11
2.1.4 Kelebihan Komposit	13
2.2 Matriks - Bahan Yang Digunakan	14
2.2.1 Matriks Termoset	16
2.2.2 Resin Vinil Ester	18
2.2.3 Metil Etil Keton Peroksida	20
2.2.4 Kobalt	21
2.3 Bahan Penguat	21
2.3.1 Antara-muka Gentian-Matriks	23
2.3.2 Interfasa Gentian - Matriks	25
2.3.3 Gentian penguat	27
2.3.4 Gentian Lignoselulosik	30
2.4 Komposisi Kimia Gentian Lignoselulosik	32
2.4.1 Karbohidrat	33
2.4.1.1 Holoselulosa	33
2.4.1.2 Selulosa	33
2.4.1.3 Hemiselulosa	35
2.4.2 Lignin	37
2.4.3 Bahan Tidak Organik	38
2.4.4 Ekstraktif	38
2.5 Hubungan Antara Sifat Fizikal dan Mekanikal Gentian Lignoselulosik	39

2.6	Gentian Kelapa Sawit	41
2.6.1	Ciri-Ciri Gentian Kelapa Sawit	42
2.6.1.1	Sifat-Sifat Fizikal Batang Kelapa Sawit	42
2.6.1.2	Sifat-Sifat Fizikal Gentian Kelapa Sawit	43
2.6.1.3	Komposisi Kimia Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit	44
2.7	Komposit Gentian Lignoselulosik	44
2.7.1	Komposit Hibrid	45
3	BAHAN DAN KAEDAH	
3.1	Bahan Mentah	48
3.1.1	Matriks Polimer - Resin Vinil Ester	48
3.1.2	Metil Etil Keton Peroksida	48
3.1.3	Kobalt	48
3.1.4	Natrium Hidroksida	49
3.1.5	Gentian Kaca	49
3.1.6	Gentian Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit	49
3.2	Metodologi	49
3.2.1	Penyediaan Gentian Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit Tetikar	49
3.2.2	Pemukulan	50
3.2.3	Pemulpaan Soda	50
3.2.4	Proses Pembentukan Tetikar Gentian	51
3.2.5	Proses Penyediaan Resin	53
3.2.6	Penyediaan Komposit Laminat Melalui Pengacuan Pemindahan Resin	53
3.3	Pengujian Sifat-Sifat Komposit	55
3.3.1	Ujian mekanikal	55
3.3.1.1	Ujian Fleksural	55
3.3.1.1.1	Kekuatan Fleksural	56
3.3.1.1.2	Modulus Fleksural	56
3.3.1.2	Ujian Tensil	57
3.3.1.2.1	Kekuatan Tensil	58
3.3.1.2.2	Modulus Tensil	58
3.3.1.3	Ujian Hentaman Charpy	59
3.3.1.4	Ujian Penyerapan Air	60
3.3.2	Ujian Ketahanan Biologikal	61
3.3.3	Ujian Mikroskop Penskanan Elektron	62

4.	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	Kesan Ujian Mekanikal	63
4.1.1	Sifat Fleksural Komposit	63
4.1.1.1	Kekuatan Fleksural Komposit	63
4.1.1.2	Modulus Fleksural Komposit	66
4.1.2	Sifat Tensil Komposit	71
4.1.2.1	Kekuatan Tensil Komposit	71
4.1.2.2	Modulus Tensil Komposit	77
4.1.3	Sifat Hentaman Komposit	80
4.2	Sifat Penyerapan Air Komposit	89
4.3	Kesan Biologikal Terhadap Sifat Mekanikal Komposit	99
4.3.1	Ujian Sifat Fleksural	99
4.3.2	Ujian Sifat Tensil	108
4.3.3	Ujian Sifat Hentaman	117
5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan	122
5.2	Cadangan	124
6	RUJUKAN	126
	LAMPIRAN	

## SENARAI JADUAL

<b>Jadual</b>	<b>m/s</b>
Jadual 2.1: Perbandingan antara gentian lignoselulosik dan gentian kaca (Wambua <i>et al.</i> , 2003)	29
Jadual 2.2: Komposisi kimia pelbagai jenis gentian lignoselulosik	33
Jadual 2.3: Sifat mekanikal dan fizikal pelbagai jenis gentian	40
Jadual 2.4: Tiga sumber gentian utama daripada kelapa sawit	41
Jadual 2.5: Dimensi gentian kelapa sawit berbanding kayu getah dan Douglas Fir	43
Jadual 2.6: Juzuk kimia utama dalam EFB	44
Jadual 4.1: Peratus penurunan kekuatan fleksural komposit akibat kesan biologikal	102
Jadual 4.2: Peratus penurunan modulus fleksural komposit akibat kesan biologikal	104
Jadual 4.3: Peratus penurunan kekuatan tensil komposit akibat kesan biologikal	110
Jadual 4.4: Peratus penurunan modulus tensil komposit akibat kesan biologikal	112
Jadual 4.5: Peratus penurunan kekuatan hentaman komposit akibat kesan biologikal	118

## SENARAI RAJAH

<b>Rajah</b>		<b>m/s</b>
Rajah 2.1:	Klasifikasi komposit (Schwartz, 1992)	9
Rajah 2.2:	Struktur polimer termoset vinil ester	18
Rajah 2.3:	Gambaran antara muka di antara penguat dan matriks (Zhang dan Richardson, 2003)	24
Rajah 2.4:	Klasifikasi gentian lignoselulosik dan bukan lignoselulosik (Khalil dan Rozman, 2004; Cheremisinoff, 1990)	27
Rajah 2.5:	Formula struktur bagi molekul rantai selulosa (Tsoumis, 1991)	34
Rajah 2.6:	Struktur mikroskopik dan submikroskopik selulosa (Smook, 1992)	35
Rajah 2.7:	Struktur utama galaktoglukomanan (Sjostrom, 1993)	36
Rajah 2.8:	Blok binaan lignin (Rowell dan Han, 2004)	37
Rajah 3.1:	Struktur kimia MEKP	48
Rajah 3.2:	Mesin pemulpaan (Computerised Pulping Unit)	51
Rajah 3.3:	Carta alir penghasilan hampan gentian	52
Rajah 3.4:	Gambar rajah skematik struktur sampel laminat-laminat hampan gentian tandan buah kosong buah kelapa sawit dan gentian kaca dalam matriks vinil ester	54
Rajah 3.5:	Graf tegasan melawan terikan bahan	58
Rajah 3.6:	Kedudukan sampel dan arah hentaman ujian hentaman Charpy	59
Rajah 3.7:	Rajah skematik kedudukan sampel yang ditanam dalam kotak kayu	61
Rajah 4.1 (a):	Graf kekuatan fleksural (MPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa mekanik	64
Rajah 4.1 (b):	Graf kekuatan fleksural (MPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa kimia	64



Rajah 4.2 (a):	Graf modulus fleksural (GPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa mekanik	67
Rajah 4.2 (b):	Graf modulus fleksural (GPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa kimia	68
Rajah 4.3 (a):	Graf kekuatan tensil (MPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa mekanik	71
Rajah 4.3 (b):	Graf kekuatan tensil (MPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa kimia	72
Rajah 4.4 (a):	Mikrograf SEM komposit gentian tandan kosong kelapa sawit selepas ujian tensil. Anak panah menunjukkan saiz dan bentuk yang tidak sekata bagi gentian tandan kosong gentian kelapa sawit (pembesaran 100x)	74
Rajah 4.4 (b):	Mikrograf SEM bungkus gentian tandan kosong kelapa sawit di dalam matriks vinil ester selepas ujian tensil (pembesaran 500x)	74
Rajah 4.5 (a):	Mikrograf SEM permukaan patah ujian tensil komposit gentian tandan kosong kelapa sawit. Permukaan licin gentian tandan buah kosong kelapa sawit menunjukkan perekatan lemah antara gentian dengan matriks (pembesaran 500x)	76
Rajah 4.5 (b):	Mikrograf SEM permukaan patah ujian tensil komposit gentian kaca. Penyalutan gentian kaca oleh matriks menunjukkan pembasahan yang baik antara gentian dan matriks (pembesaran 500x)	76
Rajah 4.6 (a):	Graf modulus tensil (GPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa mekanik	79
Rajah 4.6 (b):	Graf modulus tensil (GPa) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa kimia	79
Rajah 4.7 (a):	Graf kekuatan hentaman (J/m) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa mekanik	81
Rajah 4.7 (b):	Graf kekuatan hentaman (J/m) melawan pecahan isipadu untuk gentian pulpa kimia	82
Rajah 4.8 (a):	Mikrograf SEM permukaan patah sampel ujian hentaman komposit gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (pembesaran 100x).	84

Rajah 4.8 (b):	Mikrograf SEM permukaan patah sampel ujian hentaman komposit gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (pembesaran 100x).	84
Rajah 4.9:	Mikrograf SEM permukaan patah sampel ujian hentaman komposit vinil ester diperkuat gentian kaca (pembesaran 500x). (a) Pelucutan gentian pada permukaan komposit gentian kaca yang patah (b) Rekahan gentian atau gentian putus pada permukaan komposit gentian kaca yang patah	86
Rajah 4.10:	Mikrograf SEM permukaan patah sampel ujian hentaman komposit vinil ester diperkuat gentian kaca (pembesaran 30x). (a) Komposit hibrid dengan 0.2 pecahan isipadu gentian kaca (b) Komposit hibrid dengan 0.5 pecahan isipadu gentian kaca	88
Rajah 4.11 (a):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (M50:50)	91
Rajah 4.11 (b):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (M60:40)	91
Rajah 4.11 (c):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (M70:30)	92
Rajah 4.11 (d):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (M80:20)	92
Rajah 4.11 (e):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik (M90:10)	93
Rajah 4.12 (a):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (C50:50)	93
Rajah 4.12 (b):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (C60:40)	94

Rajah 4.12 (c):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (C70:30)	94
Rajah 4.12 (d):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (C80:20)	95
Rajah 4.12 (e):	Graf peratus penyerapan (%) melawan masa untuk komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa kimia (C90:10)	95
Rajah 4.13:	Mikrograf SEM pada permukaan komposit gentian tandan buah kosong kelapa sawit selepas ujian penyerapan air (pembesaran 100x)	97
Rajah 4.14:	Mikrograf SEM pada permukaan kegagalan komposit gentian tandan buah kosong kelapa sawit (pembesaran 100x)	97
Rajah 4.15 (a):	Mikrograf SEM pada permukaan kegagalan ujian komposit hibrid dengan 0.3 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 100x)	98
Rajah 4.15 (b):	Mikrograf SEM pada permukaan kegagalan ujian komposit hibrid dengan 0.5 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 100x)	98
Rajah 4.16:	Mikrograf SEM permukaan sampel komposit hibrid bagi tempoh 6 bulan ujian biological (a) 0.5 pecahan isipadu gentian kaca (pembesaran 100x) (b) 0.1 pecahan isipadu gentian kaca (pembesaran 100x)	108
Rajah 4.17:	Mikrograf SEM perubahan morfologi gentian tandan buah kosong kelapa sawit permukaan sampel mengikut sela masa ujian biologikal bagi komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik, (a) 0 bulan; (b) 1 bulan; (c) 6 bulan; (d) 12 bulan. (pembesaran 250x)	115
Rajah 4.18:	Mikrograf SEM permukaan sampel komposit hibrid gentian tandan buah kosong kelapa sawit bagi tempoh 6 bulan ujian biologikal (a) 0.1 pecahan isipadu gentian kaca; (b) 0.5 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 30x)	116
Rajah 4.19:	Mikrograf SEM permukaan sampel komposit hibrid gentian tandan buah kosong kelapa sawit pulpa mekanik [M70:30] mengikut sela masa ujian biologikal (a) 0 bulan; (b) 1 bulan; (c) 6 bulan; (d) 12 bulan. (pembesaran 100x)	120

## SENARAI SINGKATAN

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DP	Darjah Pempolimeran
C EFB	Gentian Tandan Kosong Buah Kelapa Sawit Pulpa Kimia
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida
CSM	Gentian Kaca
EFB	Tandan Kosong Buah Kelapa Sawit
FRP	Plastik Diperkuat Gentian
M EFB	Gentian Tandan Kosong Buah Kelapa Sawit Pulpa Mekanik
MEKP	Metil Etil Keton Peroksida
NaOH	Natrium Hidroksida
OPEFB	Gentian Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit
RTM	Pengacuan Pemindahan Resin
SEM	Mikroskop Penskanan Elektron
UV	Ultra Ungu

## **KOMPOSIT HIBRID VINIL ESTER DIPERKUAT GENTIAN TANDAN BUAH KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN GENTIAN KACA**

### **ABSTRAK**

Peningkatan bahan buangan sisa pertanian dan penghasilan bahan sintetik (gentian kaca) telah menyumbang kepada pelbagai masalah alam sekitar. Hal ini telah menarik minat para saintis untuk mencari idea baru bagi mengatasi masalah ini. Alternatif kepada masalah ini, komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit dengan gentian kaca dihasilkan. Gentian tandan buah kosong kelapa sawit mempunyai dua jenis pemulpaan, iaitu pulpa mekanik dan pulpa kimia yang berbeza diguna untuk menghasilkan komposit-komposit terhibrid. Komposit hibrid laminat gentian tandan buah kosong kelapa sawit dan gentian kaca dihasilkan pada nisbah pecahan yang berlainan (pecahan isipadu gentian) antara laminat-laminat dalam bod komposit terhibrid [50:50, 60:40, 70:30, 80:10, 90:10], 100% OPEFB dan 100% CSM. Ujian mekanikal (Fleksural, Tensil, dan Hentaman Charpy) dan kadar penyerapan air telah dijalankan. Analisis mikroskop penskanan electron turut dijalankan untuk mengkaji pengaruh faktor kualiti pelekatan antara gentian dengan matriks terhadap prestasi sifat mekanikal dan fizikal yang dipamerkan oleh komposit. Sifat mekanikal komposit hibrid vinil ester diperkuat gentian menunjukkan peningkatan dengan peratus berat pengukuh. Komposit Vinil Ester-OPEFB mempamerkan prestasi yang lebih rendah berbanding komposit Vinil Ester-CSM. Walau bagaimanapun, penambahan gentian kaca ke dalam komposit gentian tandan buah kosong kelapa sawit dapat memperbaiki sifat mekanikal dan fizikal komposit ini. Ujian terhadap kesan biologikal menunjukkan pengurangan kadar penyusutan sifat mekanikal komposit Vinil Ester-OPEFB dengan penambahan gentian kaca ke dalam komposit.

## **VINYL ESTER HYBRID COMPOSITE REINFORCED OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES WITH GLASS FIBER**

### **ABSTRACT**

Increased agricultural waste materials and the production of synthetic materials (glass fiber) contributed to a variety of environmental problems. This has attracted researchers to find new ideas to solve this problem. As an alternative, a hybrid composite reinforced vinyl ester oil palm empty fruit bunches with glass fiber was produced. Oil palm empty fruit bunches fiber has two methods of pulping, namely mechanical and chemical pulping were used to produce different hybrid composites. Hybrid fiber composite laminate oil palm empty fruit bunches and glass fiber were produced in the ratio of different fractions (fraction volume of fiber) between the laminate-laminate hybrid composite board [50:50, 60:40, 70:30, 80:10, 90:10] , 100% OPEFB and 100% CSM. Mechanical tests (Flexural, Tensile, Charpy Impact) and the rate of water absorption test were carried out. The scanning electron microscope analysis was conducted to investigate the influence of the quality of adhesion between the fiber and the matrices on the performance of mechanical and physical properties exhibited by the composites. Mechanical properties of hybrid composite-fiber reinforced vinyl ester increased the percentage of fiber loadings. Composite Vinyl Ester-OPEFB performed lower than the composite Vinyl Ester-CSM. The addition of glass fiber to the oil palm empty fruit bunches composite however improved the mechanical and physical properties of these composites. Tests on the biological effects showed a decrease in the rate of decline in mechanical properties of composite Vinyl Ester-OPEFB with the addition of glass fiber in composites.

# Agro-hybrid Composite: The Effects on Mechanical and Physical Properties of Oil Palm Fiber (EFB)/Glass Hybrid Reinforced Polyester Composites

H. P. S. ABDUL KHALIL,\* S. HANIDA AND C. W. KANG

*School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, 11800 Penang, Malaysia*

N. A. NIK FUAAD

*School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia  
11800 Penang, Malaysia*

**ABSTRACT:** In this research, the combination of oil palm fiber and glass fiber as reinforcing fibers in polyester composites was evaluated. The mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch/glass hybrid reinforced polyester composites were studied. Hybrid laminate composites with different weight ratios (w/w) of chopped strand mat (CSM) glass fibers : oil palm empty fruit bunch fiber (EFB) 3 : 7, 5 : 5, 7 : 3, 9 : 1 were prepared. The hybrid effect of glass and EFB fibers on the tensile, flexural, impact, and hardness of the composites were investigated. Water absorption and thickness swelling were also conducted. In general the hybrid composites exhibited good properties compared to the EFB/polyester composites.

**KEY WORDS:** hybrid laminate composite, oil palm empty fruit bunch fibers (EFB), chopped strand mat (CSM) glass fibers.

## INTRODUCTION

**I**N THE LAST few decades, research interest has been shifting from monolithic materials to fiber-reinforced polymeric materials as monolithic materials often have limitations on increasing performance requirements in various environments. These new composite materials (notably glass, aramid, and carbon fiber-reinforced plastics) now dominate the aerospace, automotive, construction, and sporting industries. While synthetic materials have supported the society by bringing advantages and conveniences to human life, they also impose a wide variety of burdens on the environment through each and every step of production [1]. For instance, glass fiber production is energy intensive processes depending mainly on fossil fuels [2]. Burning of substances derived from fossil products release enormous amounts of carbon dioxide into the atmosphere. This phenomenon is believed

---

\*Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: akhalil@usm.my

# The Effect of Different Laminations on Mechanical and Physical Properties of Hybrid Composites

H. P. S. ABDUL KHALIL\* AND C. W. KANG

*School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, 11800 Penang, Malaysia*

A. KHAIRUL

*Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Kepong, 52109 Kuala Lumpur, Malaysia*

R. RIDZUAN

*Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Biomass Technology Centre  
Engineering & Processing Division, Jalan Sekolah, Pekan Bangi Lama  
43000 Kajang, Selangor, Malaysia*

T. O. ADAWI

*Fibre & Biocomposite Development Centre, Malaysian Timber Industry Board  
Level 13–17, Menara PGRM, No 8 Jalan Pudu Ulu, Cheras P.O.Box 10887  
Kuala Lumpur, Malaysia*

**ABSTRACT:** The mechanical properties of the vinyl ester reinforced with oil palm of empty fruit bunch fibers (EFB) laminated at different layer arrangements with glass fiber (CSM) composites were investigated. The EFB and CSM fibers were laminated at different layer arrangements and then were impregnated with vinyl ester resin using resin transfer molding (RTM). Post-cure was carried out after cool press for about 24 h in an oven at 50°C. Six different layers of lamination with a ratio of 50/50 fiber composite (50% EFB and 50% CSM) were manufactured. Control fiber composites with 100% mechanical fibers, 100% chemical fibers and 100% glass fibers were investigated for comparison. The mechanical properties (tensile, flexural, and impact test) and physical properties (water absorption, dimension stability, and density) were analyzed. The mechanical properties, water absorption, and density of hybrid composites exhibited higher properties than control composites (chemical and mechanical fibers). While comparing the layers of orientation of hybrid composites, the results of the tensile and flexural tests showed that composites with glass fiber at the outer layer showed higher tensile and flexural properties than the others.

The impact test and the composites with natural fibers in the outer layer showed the highest results as compared to other layer laminations. However, hybrid composites exhibited comparable properties as compared to glass fiber composites, alone.

**KEY WORDS:** vinyl ester, empty fruit bunch (EFB), glass fibers, mechanical and physical properties, water absorption, dimension stability, thermoset composites.

---

\*Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: akhalil@usm.my



## **BAB 1 PENGENALAN**

### **1.1 Pengenalan Komposit**

Kehidupan manusia telah dipengaruhi dan dikuasai oleh segala aspek kebendaan sejak zaman dahulu lagi. Dengan kewujudan tamadun moden dan pembangunan dalam pengetahuan yang berasaskan teknologi saintifik, bidang-bidang yang berkaitan dengan arus ini semakin maju serta semakin pesat mengembang. Permintaan yang semakin tinggi terhadap sumber baru dan kegunaannya mendorong para pengkaji seluruh dunia lebih giat berusaha mempelbagaikan atau memperbaharui kegunaan sumber-sumber asli yang sedia ada. Komposit merupakan salah satu bahan yang mampu mengharungi segala arus perkembangan di mana bahan komposit moden telah memainkan peranan penting di pasaran bagi bahan kejuruteraan, pembinaan dan produk harian hinggalah kegunaan yang sofistikated (Khalil dan Rozman, 2004; Jennifer dan Shobha, 2005).

Sejak penggunaan komposit yang meluas dari tahun 60-an, banyak penerokaan dan pembangunan telah dicapai. Jumlah dan bilangan penggunaan bahan komposit telah meningkat selaras dengan perkembangan masa di mana bahan komposit telah menguasai pasaran kini dengan pesatnya bagaikan cendawan tumbuh selepas hujan. Perkembangan ini juga bukan sekadar tertumpu kepada penambahbaikan sistem komposit yang sedia ada, malah merangkumi perkembangan teknologi dan potensi pelbagai sumber bahan mentah untuk digunakan sebagai bahan asas komposit. Pada masa ini, plastik diperkuat gentian berkeupayaan tinggi (high performance fiber reinforced plastics (FRP)) telah muncul sebagai saingan kepada bahan monolit sedia ada, iaitu besi (Wambua *et al.*, 2003). Ia banyak digunakan dalam pelbagai kegunaan penting contohnya kerangka kenderaan (automotif) dan prasarana awam. Kemungkinan besar plastik diperkuat gentian berkeupayaan tinggi (FRP) mampu menggantikan besi

di mana besi kini merupakan sumber dominan dalam pelbagai kegunaan. Walau bagaimanapun, kemajuan yang berterusan dalam teknologi pembuatan bahan komposit moden ini akan menjadi penyumbang kepada kepelbagaian produk di pasaran, seperti alatan persukanan, infrastruktur awam, bidang aeroangkasa dan automotif (Bellman *et al.*, 2005; Tolinki *et al.*, 2005).

Permintaan dan tarikan terhadap penggunaan bahan dari sumber yang baru kini meningkat secara mendadak. Peningkatan secara mendadak ini telah menimbulkan kesedaran terhadap beberapa isu terutamanya dalam aspek keselamatan, kesihatan, penjagaan alam sekitar, penjimatan kos serta mencetuskan idea bernas dalam pencarian alternatif baru untuk menggantikan sumber yang tidak boleh diperbaharui seperti bahan sintetik. Penggunaan bahan atau gentian sintetik ini mendatangkan pelbagai kesan negatif, terutamanya terhadap isu alam sekitar. Walaupun gentian sintetik ini memberi faedah kepada masyarakat melalui keselesaan dalam kehidupan harian manusia, namun bahan ini turut menjadi bebanan kepada alam sekitar semasa proses penghasilannya. Sebagai contohnya, Joshi *et al.* (2003) melaporkan bahawa pembuatan gentian sintetik, iaitu gentian kaca menggunakan bahan api yang banyak untuk membentuk helaian dan seterusnya membebaskan gas CO<sub>2</sub> ke dalam atmosfera. Fenomena ini menyebabkan kesan rumah hijau hasil daripada pembakaran bahan api fosil, iaitu petroleum. Keadaan ini nyata berbeza dengan CO<sub>2</sub> semula jadi yang terdapat pada gentian lignoselulosik di mana ia memberi kebaikan kepada makhluk di Bumi ini.

Gentian lignoselulosik juga dikenali sebagai bahan yang mesra alam. Kos yang rendah dan mudah didapati bagi gentian lignoselulosik apatah lagi bahan mentah lignoselulosik ini adalah bioperosot di mana ia tidak mencemarkan persekitaran dan kesihatan

manusia. Keistimewaan serta sifat semula jadi gentian ini telah menarik perhatian penyelidik dunia untuk menjadikan sumber ini sebagai bahan penguatan dalam komposit kejuruteraan. Penyelidikan-penyelidikan yang dijalankan terhadap gentian lignoselulosik seperti jut (Alsina *et al.*, 2005; Jawaid *et al.*, 2010), gentian tandan buah kosong kelapa sawit (Hill *et al.*, 2000b; Rozman *et al.*, 2001a; Rozman *et al.*, 2001b; Khalil *et al.*, 2002), flaks (Baiardo *et al.*, 2004; Arbelaiz *et al.*, 2005), kenaf (Shibata *et al.*, 2005; Khalil *et al.*, 2010a), pisang (Iducila *et al.*, 2005) dan daun nenas (Mishra *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2005) telah mendapat perhatian para penyelidik kerana sumber lignoselulosik ini mempunyai potensi sebagai penguat yang efektif atau berkesan dalam bahan termoplastik dan termoset. Merujuk kepada jurnal yang disediakan oleh Torres dan Cubillas (2005), bahan plastik diperkuat gentian lignoselulosik mempunyai sifat mekanikal yang baik, bebas daripada masalah kesihatan, kos rendah, pengurangan berat dan berpotensi untuk penggunaan struktur. Sifat gentian lignoselulosik yang tidak berbahaya membolehkan keadaan pemprosesan yang lebih mudah serta meminimumkan kadar penghausan pada peralatan berbanding dengan komposit lazim yang menggunakan gentian sintetik seperti kaca, karbon, kevlar dan sebagainya (Rosato, 1982; Chew, 1999).

Namun, di luar daripada bidang ini, masih ramai yang tidak tahu apakah sebenarnya komposit dan kepentingannya. Kebanyakan barangan yang kita lihat pada hari ini dihasilkan daripada bahan monolitik, iaitu suatu komponen individu yang mengandungi satu bahan mentah (tanpa penambahan bahan penguat plastik) atau suatu kombinasi bahan mentah yang digabungkan dalam suatu keadaan di mana setiap komponen individu tidak dapat dipisahkan, contohnya besi.

Bahan komposit terbentuk daripada gabungan dua atau lebih bahan-bahan di mana ia masih mengekalkan sifat bahan masing-masing apabila digabungkan bersama untuk mencapai suatu sifat yang lebih kuat berbanding juzuk-juzuk individu. Bahan individu yang membentuk komposit dikenali sebagai juzuk. Kebanyakan bahan komposit mengandungi dua juzuk bahan mentah utama, iaitu pengikat atau matriks dan bahan penguat. Bahan penguat lazimnya lebih kuat dan kaku berbanding dengan matriks dan memberikan sifat-sifat komposit yang baik. Contoh bahan penguat yang biasa digunakan adalah seperti gentian kaca, karbon, aramid, partikel dan gentian lignoselulosik. Penambahan bahan penguat dapat mengurangkan berat komposit yang dihasilkan malah mengurangkan kos berbanding struktur yang diperbuat daripada bahan logam konvensional (Joshi *et al.*, 2003). Manakala matriks berperanan sebagai pengikat yang mengikat bahan penguat dalam suatu susunan yang rapi. Disebabkan oleh bahan penguat tidak bersambung antara satu sama lain, maka matriks berperanan memindahkan tegasan di sepanjang bahan penguat selain menyerap tenaga dan merencatkannya ketika berada di bawah tekanan. Oleh itu, matriks boleh dikatakan meningkatkan sifat keliatan komposit selain memperbaiki rupa bentuk komposit. Bahan-bahan lain seperti pengisi juga digunakan untuk mengurangkan dan meningkatkan kestabilan dimensi (Richardson, 1987; Mehta *et al.*, 2004).

Untuk meningkatkan kebolehan lumen gentian menerima kemasukan pengisi, proses pemukulan diperlukan. Pemukulan merupakan proses rawatan secara mekanik terhadap pulpa dengan kehadiran air melalui celah sempit antara satu rotor yang berputar dengan satu stator yang tidak bergerak. Pulpa mekanikal yang terdiri daripada campuran gentian keseluruhan atau serpihan gentian dengan saiz yang berbeza dapat memberikan karya nada kekuningan / kelabu dengan kelegapan tinggi dan permukaan yang sangat

licin. Selain itu, pulpa mekanikal juga memberikan hasil yang baik daripada kayu pulpa kerana ia menggunakan seluruh log kecuali kulit kayu. Bagi pengeluaran pulpa mekanik, kayu ialah permukaan terhadap batu putaran yang dilincirkan oleh air. Haba yang dihasilkan dengan cara mengisar dapat melembutkan lignin yang mengikat gentian dan kekuatan mekanikal dapat memisahkan gentian untuk membentuk '*groundwood*' (Rosazley *et al.*, 2009).

Pulpa kimia dihasilkan dengan menggabungkan gentian atau serpihan kayu dengan bahan-bahan kimia dimasak dalam digester yang bertekanan tinggi. Haba dan bahan kimia tersebut memecahkan lignin yang mengikat gentian selulosa bersama-sama tanpa merosakkan gentian selulosa secara serius. Semasa proses, kira-kira separuh daripada gentian larut dan dikenali sebagai '*black liquor*'. '*Black liquor*' dipisahkan daripada pulpa sebelum proses pelunturan. Pulpa yang dimasak kemudian dibasuh dan ditapis untuk mencapai kualiti yang lebih seragam (Smook, 1992). Hasil ciri-ciri komposit hibrid pulpa mekanik dan pulpa kimia yang dapat mempamerkan sifat-sifat yang optimum daripada segi kekuatan mekanikal, fizikal dan biologikal menyebabkan pulpa mekanik dan pulpa kimia digunakan dalam kajian ini.

Penggunaan bahan komposit dalam penghasilan pelbagai produk semakin meningkat. Hal ini telah berjaya mempengaruhi para penyelidik dan pengusaha industri dari beberapa buah negara untuk mengaplikasikannya dalam sektor perindustrian. Contohnya, syarikat gergasi permotoran *Diamler Chrysler* menggunakan tertikat gentian flaks/sisal yang tertanam dengan matriks epoksi bagi panel pintu model *E-class Mercedes Benz*. Gentian kelapa yang terikat dengan lateks getah asli juga digunakan sebagai kusyen tempat duduk *A-class Mercedes Benz* (Deem, 2003). Selain industri

permotoran, komposit gentian lignoselulosik seperti poliester diperkuat dengan gentian jut mula digunakan dalam industri pembuatan untuk siling, panel dan bod pemisah.

Penggunaan produk gentian lignoselulosik ini masih terhad kepada bahagian dalam kereta yang tidak terdedah kepada impak mekanikal yang tinggi dan komponen bukan struktur apabila dibandingkan komposit sintetik seperti gentian kaca yang digunakan dengan meluas dalam pelbagai bidang. Walaupun komposit gentian lignoselulosik mempunyai ciri dan sifat yang menarik, iaitu rintangan kelembapan yang rendah, ketahanan terhadap mikrob dan api yang rendah (Alsina *et al.*, 2005). Hal ini disebabkan oleh kehadiran kumpulan hidroksi dan kumpulan polar yang lain yang terdapat dalam gentian lignoselulosik. Penyerapan kelembapan yang tinggi ini melemahkan ikatan antara-muka gentian dan matriks polimer yang secara relatifnya bersifat hidropobik. Hal ini telah menghadkan penggunaan yang terdedah kepada persekitaran dalam tempoh masa yang lama.

Melalui hasil penyelidikan yang dilakukan sebelum ini, didapati kelembapan boleh mendegradasikan sifat-sifat mekanikal bod komposit diperkuat gentian lignoselulosik berbanding bod komposit diperkuat sintetik yang mampu bertahan lama. Kekurangan ini perlu dibaiki untuk meningkatkan hidropobisiti gentian lignoselulosik melalui perawatan secara kimia dengan agen gandingan yang secocok ataupun penglitupan menggunakan resin yang sesuai untuk mendapatkan komposit yang baik daripada segi sifat mekanikal dan tahan kepada faktor atau serangan dari persekitaran. Penghibridan gentian lignoselulosik dengan gentian sintetik yang lebih kuat dan tahan terhadap kekaratan, misalnya gentian kaca atau karbon juga boleh meningkat dan mengekalkan kekakuan serta kekuatan komposit terhadap kesan rintangan daripada kelembapan, di

samping membangunkan produk yang lebih mesra alam. Kelebihan yang ada dalam setiap gentian dapat menjadi pelengkap kepada kekurangan yang wujud pada gentian yang satu lagi melalui penggunaan komposit hibrid di mana ia mempunyai dua atau lebih gentian yang berlainan (John dan Naidu, 2004; Khalil *et al.*, 2010b).

## **1.2 Objektif**

Objektif umum kajian ini adalah untuk mengkaji kekuatan bod komposit yang dihasilkan daripada matriks vinil ester diperkuat gentian tandan buah kosong kelapa sawit serta gentian kaca dalam lingkungan susunan dan komposisi yang berlainan.

Objektif khusus disenaraikan seperti di bawah:

1. Untuk mengkaji penghasilan komposit hibrid dan bukan hibrid yang dihasilkan daripada pulpa mekanik dan pulpa kimia.
2. Untuk mengkaji kesan penggabungan gentian tandan buah kosong kelapa sawit bersama dengan gentian kaca terhadap kekuatan mekanikal, fizikal dan biologikal.
3. Untuk mengkaji kesan penghibridan terhadap keretakan interfasa (*interface fracture*) antara laminat-laminat dalam komposit hibrid dan bukan hibrid melalui kajian mikroskop penskanan elektron.

## **BAB 2 TINJAUAN LITERATUR**

### **2.1 Definisi Komposit**

Komposit boleh didefinisikan sebagai satu bahan pepejal yang mengandungi kombinasi dua atau lebih bahan dan setiap bahan dalam komposit mengekalkan sifat-sifat individu masing-masing (Richardson, 1987). Menurut Makoto (2009) mendefinisikan komposit secara umumnya adalah bahan kejuruteraan yang mengandungi dua atau lebih gabungan bahan yang dapat memberikan sifat-sifat yang lebih bagus daripada sifat-sifat asal bahan yang berasingan secara individu. Komposit mikrostruktur atau mikrokomposit boleh didefinisikan sebagai bahan-bahan yang mengandungi dua atau lebih fasa-fasa yang berbeza sebagai komponennya. Fasa-fasa itu mungkin fasa berterusan atau fasa tersebar yang terkandung di dalam suatu matriks yang berterusan, manakala komposit makrostruktur boleh ditakrifkan sebagai bahan yang menggabungkan bahan-bahan struktural untuk mendapatkan sifat-sifat kekuatan dan kekakuan. Contohnya pengukuhan dalam elemen matriks.

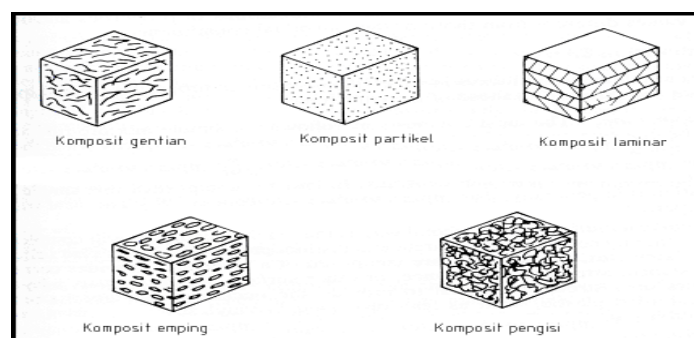
Satu lagi definisi yang bersesuaian dengan bahan komposit adalah dengan mengambilkira bentuk struktural dan komposisi unsur-unsur bahan digunakan. Menurut Schwartz (1992), bahan komposit adalah satu bahan yang terdiri daripada kombinasi bahan-bahan mentah yang berbeza pada komposisi atau bentuk berdasarkan suatu skala makro dengan tujuan mendapatkan suatu sifat atau ciri yang spesifik. Unsur-unsur yang terlibat mengekalkan sifat fizikal dan sifat kimia masing-masing, dan secara fizikalnya ia boleh dikenalpasti serta menghasilkan satu permukaan antara satu sama lain.



### 2.1.1 Klasifikasi Komposit

Berdasarkan definisi komposit, bahan ini boleh dihasilkan melalui sebarang pengkombinasian dua atau lebih bahan sama ada metalik, organik ataupun tak organik. Komposit ini boleh dikategorikan dalam tiga kumpulan utama mengikut kegunaan bahan matriks, iaitu berasaskan polimer, logam dan seramik. Komposit-komposit ini berbeza dalam sifat dan ciri-cirinya (Cheremisinoff, 1990).

Selain itu, satu pengelasan mudah turut digunakan melalui pengkombinasian bahan asas pengisi atau penguat, bentuk dan struktur unsur-unsurnya. Unsur-unsur yang telah digunakan secara meluas dalam bahan komposit adalah bentuk gentian, partikel, laminar atau lapisan, emping, pengisi dan matriks. Secara umumnya, bahan komposit dikelaskan berdasarkan kepada morfologi unsur penguat dan matriks. Menurut Khalil dan Rozman (2004), terdapat lima kelas umum bagi komposit seperti dalam Rajah 2.1, antaranya komposit gentian yang terhasil daripada gentian bersama atau tanpa matriks, yang kedua ialah komposit partikel yang terhasil daripada partikel bersama atau tanpa matriks, yang ketiga ialah komposit laminar yang terhasil daripada kepingan-kepingan laminar. Seterusnya ialah komposit emping yang terhasil daripada kepingan emping bersama atau tanpa matriks, dan akhir sekali ialah komposit terisi yang terhasil daripada skeletal berterusan terisi matriks melalui bahan kedua.



Rajah 2.1: Klasifikasi komposit (Schwartz, 1992)

Dalam komposit, matriks merupakan unsur badan yang melitupi dan memberi rupa bentuk kepada komposit. Matriks juga bertindak sebagai pengikat atau perekat untuk memegang unsur-unsur lain yang digunakan untuk membentuk suatu komposit. Gentian, partikel, laminar, emping dan pengisi adalah unsur-unsur struktur yang akan menentukan struktur dalaman komposit. Pada kebiasaannya, komposit mempunyai satu fasa gentian yang tidak berterusan yang lebih kaku dan kuat daripada fasa matriks yang berterusan.

### **2.1.2 Bagaimana Komposit Berfungsi**

Komposit seperti jenis yang dibincangkan dalam tesis ini adalah terdiri daripada dua komponen iaitu gentian pengukuh dan bahan matriks. Elemen pengukuh mampu menampung beban tensil yang tinggi, manakala bahan matriks memberikan sifat kekakuan pada komposit. Aplikasi beban ke atas komposit boleh menyebabkan daya beban dipindahkan dari satu gentian ke gentian yang lain melalui matriks. Kekakuan matriks biasanya diiringi dengan sifat kerapuhan. Walau bagaimanapun, kombinasi gentian dan matriks dapat membentuk bahan yang lebih kuat.

Secara umumnya, komposit mungkin gagal daripada segi satu atau dua mekanisma iaitu aliran plastik atau rekahan kerapuhan. Bahan yang digunakan dapat mentakrifkan mekanisma bahan logam (bersifat mulur dan kuat) secara umumnya akan menjadi lemah sebelum ia merekah manakala bahan-bahan bukan logam pula (tidak termasuk sesetengah polimer) akan merekah sebelum ia menjadi lemah. Oleh itu, bahan-bahan bukan logam adalah diklasifikasikan sebagai rapuh. Gentian komposit gagal kerana kecacatan dalam bahan yang digunakan. Kecacatan dalam bahan yang digunakan

adalah seperti gentian yang putus, kecacatan matriks atau tidak wujud ikatan antara gentian dan matriks (Khalil dan Rozman, 2004).

Di kawasan tekanan tinggi iaitu di hujung rekahan, kemungkinan ikatan antara gentian-gentian dengan bahan matriks terputus. Pemisahan interfasa ini menggunakan tenaga dari sistem yang tertekan. Apabila pemisahan sepenuhnya berlaku pada interfasa gentian dan matriks, tenaga tegangan di sepanjang kegagalan ikatan akan hilang sebagai tenaga haba. Gentian yang telah terpisah boleh ditarik keluar dari matriks dan tenaga akan hilang dari sistem dalam bentuk tenaga geseran. Gentian kemudiannya dibiarkan melekat sebagai penyebar rekahan. Walau bagaimanapun, sekiranya tekanan yang mencukupi dipindahkan kepada gentian, gentian itu akan retak.

### **2.1.3 Kelakuan atau Prestasi Komposit**

Menurut Schwartz (1992), kelakuan dan sifat-sifat komposit ditentukan oleh bahan mentah unsur-unsur yang bergabung, bentuk dan struktur bagi taburan unsur-unsur, dan interaksi antara unsur-unsur.

Berdasarkan faktor-faktor ini, sifat intrinsik bahan mentah yang membentuk unsur-unsur komposit merupakan perkara paling penting dalam menyumbang kepada prestasi sesuatu komposit. Sifat ini menentukan keadaan umum atau julat sifat-sifat yang akan ditunjuk oleh suatu komposit itu. Namun begitu, interaksi antara unsur-unsur yang terlibat memberikan satu set sifat-sifat baru yang diterbitkan daripada bahan-bahan asas individu.

Struktur dan bentuk geometri unsur-unsur juga memainkan peranan penting dalam sifat-sifat komposit. Bentuk dan saiz individu, aturan struktur dan taburan, serta kuantiti setiap bahan mentah adalah faktor penting yang menyumbang kepada prestasi komposit secara keseluruhannya. Pembolehubah inilah yang menjadikan komposit sebagai satu bahan yang dapat mencorakkan sifat-sifatnya yang tersendiri dan serbaguna.

Kesan kombinasi atau interaksi unsur-unsur mungkin mempengaruhi kelakuan serta prestasi penggunaan komposit. Sifat-sifat gabungan komposit adalah berbeza memandangkan bahan ini merupakan campuran atau kombinasi unsur-unsur berlainan sama ada berbeza dari segi bahan mahupun bentuk. Prinsip asas yang mendasari rekabentuk, perkembangan dan kegunaan komposit menyebabkan kita menggunakan unsur yang berbeza-beza untuk mencapai sifat dan nilai yang berlainan pada komposit yang dihasilkan.

Terdapat tiga cara di mana sifat-sifat baru yang ditunjukkan oleh komposit adalah berbeza daripada yang terdapat pada unsur-unsur individu (Schwartz, 1992), iaitu campuran (*summation*), pelengkapan (*complementation*), dan interaksi (*interaction*). Cara campuran (*summation*) merupakan cara yang paling jelas mengikut peraturan campuran yang ringkas dan menunjukkan campuran sifat-sifat individu. Hal ini berlaku apabila sumbangan daripada setiap jenis unsur-unsur adalah tidak bergantung antara satu sama lain. Manakala menurut cara pelengkapan (*complementation*), setiap unsur akan melengkapi antara satu sama lain dengan menyumbangkan sifat-sifat yang berasingan dan cemerlang. Seterusnya, cara interaksi (*interaction*) wujud apabila sifat-sifat dan prestasi yang ditunjukkan oleh suatu unsur adalah bergantung kepada sifat dan aksi unsur yang lain. Suatu unsur akan saling melengkapi dan menyempurnakan yang

lain. Sifat-sifat komposit yang dihasilkan biasanya adalah di pertengahan daripada unsur-unsurnya atau lebih tinggi daripada kedua-duanya.

Keaslian dan kejayaan interaksi antara unsur-unsur komposit adalah bergantung kepada darjah keberkesanan pada kawasan antara muka. Zhang dan Richardson (2003) menyatakan bahawa sifat dan ciri bagi antara-muka ini juga dianggap sebagai satu jenis fenomena perekatan dan selalunya ditaksirkan sebagai struktur permukaan bagi bahan-bahan yang terikat. Ciri-ciri sifat permukaan ini adalah seperti kebasahan, tenaga bebas permukaan, kumpulan berpolar di atas permukaan serta kekasaran permukaan bahan untuk pengikatan di mana ia merupakan faktor terbesar yang perlu dipertimbangkan apabila peningkatan dalam kekuatan ikatan diambil kira (Khalil dan Rozman, 2004). Ciri-ciri ini juga mempengaruhi tindak balas yang terlibat dalam fenomena perekatan seperti kesesuaian dari segi kimia, penyerapan, kebolehasahan dan tegangan yang wujud daripada pembengkakan yang berbeza. Apa-apa yang mengambil bahagian pada antara-muka adalah bergantung kepada tindak balas antara permukaan unsur tersebut dengan fasa pengikat (Schwartz, 1992; Zhang dan Richardson, 2003).

#### **2.1.4 Kelebihan Komposit**

Kini, bahan komposit telah menjadi bahan kejuruteraan dan bahan komoditi penting dalam sektor perindustrian. Pelbagai jenis produk sukan dan produk aktiviti rekreasi seperti bot, bod layar, ski, papan luncur dan raket juga diperbuat daripada komposit. Komposit-komposit juga kebanyakannya digunakan dalam sektor perindustrian dan agrikultur (tangki air, paip dan komponen-komponen kapal terbang atau aeroangkasa). Dalam sektor elektrik dan semikonduktor pula, komposit digunakan dalam pembuatan sarung suis, kotak sambungan, kabel dan kabinet, komponen-komponen pengganti dan

lain-lain lagi (Bowen, 1989). Secara komersilnya, komposit-komposit adalah diperbuat dari resin epoksi, poliester tak tepu dan lain-lain bahan termoset serta termoplastik sebagai bahan matriks. Dalam bidang kejuruteraan yang terbaru, bahan-bahan pengukuh yang digunakan adalah seperti kaca, grafit, aramid, gentian-gentian termoplastik, logam dan seramik.

Komposit ini mampu memenuhi keperluan pelbagai reka bentuk dengan penjimatan berat yang signifikan dan nisbah kekuatan kepada berat lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan konvensional. Beberapa kelebihan bahan komposit berbanding dengan bahan konvensional ialah kekuatan tensil komposit adalah 4 hingga 6 kali ganda lebih baik berbanding kekuatan tensil besi atau aluminium, tahap ketahanan yang lebih tinggi sehingga 60% daripada kekuatan tensil muktamad, jangka hayat yang panjang memberikan ketahanan impak dan ketahanan terhadap serangan alam sekitar yang sangat baik. Di samping itu, komposit adalah lebih versatil atau serbaguna daripada besi dan boleh diolah untuk memenuhi pelbagai keperluan prestasi dan reka bentuk yang kompleks. Komposit juga mempunyai kos kitar hayat yang lebih rendah berbanding besi, malahan menunjukkan ketahanan hakisan yang baik dan kalis api.

## **2.2 Matriks - Bahan Yang Digunakan**

Matriks adalah salah satu unsur terpenting dalam komposit gentian. Unsur ini menyumbangkan dua fungsi yang sangat penting, iaitu berperanan memegang fasa gentian pada satu tempat dan di bawah daya yang dikenakan di mana matriks akan mengalami kegagalan dan menyebarkan tegangan kepada unsur-unsur gentian yang mempunyai modulus tinggi.

Matriks merupakan satu laluan lemah dalam komposit kerana pada masa ini masih belum wujud lagi resin yang dapat menanggung tekanan yang sama seperti ditanggung oleh gentian. Apabila komposit di bawah bebanan, matriks mungkin akan mengalami keretakan mikro, membentuk retakan yang lebih besar melalui gabungan retakan-retakan mikro, penyahikatan daripada permukaan gentian serta menjadi lemah ketika peregangan komposit, iaitu jauh lebih rendah daripada yang dijangkakan. Namun, matriks dapat mempelbagaikan fungsinya dalam membina satu sistem komposit yang mampu bekerja mengikut kehendak yang ditetapkan.

Selain daripada fungsi yang dinyatakan di atas, matriks juga turut menyediakan suatu halangan ke atas perambatan rekahan dan kerosakan disebabkan oleh pengaliran plastik pada hujung rekahan. Matriks turut memainkan peranan penting dalam menentukan penghadan suhu keseluruhan komposit di samping mengawal halangan terhadap persekitaran yang didedahkan. Matriks berfungsi untuk melindungi penguat daripada kerosakan permukaan yang disebabkan oleh pelelasan dan tindak balas kimia dengan persekitaran (Mustaffa, 1991). Rintangan terhadap penembusan cecair serta bebas rongga pada komposit juga boleh dicapai melalui penggunaan matriks ini. Bagi menepati tujuan pemindahan bebanan dan mengurangkan peluang kegagalan pada matriks, pelekatan pada gentian atau unsur penguat hendaklah digabungkan dengan kekuatan ricihan matriks yang cukup untuk menanggung bebanan tersebut. Gabungan ini memastikan suatu komposit itu dapat berfungsi dan berkerja dengan baik serta mempamerkan prestasi yang cemerlang.

Secara umumnya, matriks boleh dibahagikan kepada dua jenis yang utama dan paling banyak digunakan, iaitu termoset dan termoplastik. Pemilihan matriks biasanya

bergantung kepada keperluan akhir penggunaan komposit tersebut. Resin termoplastik adalah bahan yang boleh dilembutkan berulang kali apabila dipanaskan atau dikeraskan kembali apabila disejukkan. Ini termasuklah polivinil alkohol, selulosa ester, polistirena dan lain-lain. Resin termoset pula mengalami tindak balas kimia yang tetap melalui tindakan suhu, pemangkin dan lain-lain. Elastomer adalah bahan yang meregang di bawah suhu bilik dan pada tekanan yang rendah, tetapi kembali kepada panjang asal setelah tekanan dilepaskan. Bahan-bahan ini biasanya adalah sintetik, mempunyai sifat-sifat elastik seperti getah. Elastomer yang dimaksudkan termasuklah poliisoprena, silikon, polibutilena dan lain-lain (Makoto, 2009).

Dalam kayu dan lain-lain gentian lignoselulosik, dinding sel yang terdiri dari selulosa dan hemiselulosa dan dipegang bersama oleh matriks lignin juga adalah komposit. Pektin yang wujud dalam struktur dinding sel juga berfungsi sebagai salah satu dari bahan matriks. Hampir kesemua tumbuhan dikotiledon dan juga sedikit tumbuhan monokotiledon adalah kaya dengan pektik polisakarida. Komposisi pektik polisakarida adalah asid galaktouronik, ramnosa, arabinosa dan galaktosa.

### **2.2.1 Matriks Termoset**

Bahan termoset didefinisikan sebagai bahan plastik yang pada awalnya berbentuk cecair monomer, oligomer atau pra-polimer, matang sama ada dengan haba atau pemangkin dan akan menjadi bahan yang tidak larut dan tidak boleh dimasuki oleh mana-mana bahan. Struktur rangka kerjanya yang kaku tidak membenarkan sebarang pencacatan atau penggelinciran berlaku di antara rangkaian molekulnya. Sewaktu pemprosesan, haba biasanya dibekalkan untuk memulakan tindak balas kimia yang akan membentuk sambung silang yang tetap di antara rantai dalam matriks.



Resin termoset selalunya adalah cecair atau pepejal takat cair rendah pada bentuk asalnya. Resin cecair ini akan bertukar kepada pepejal kaku yang kuat dengan sambung silang secara kimia melalui satu proses pematangan yang melibatkan penggunaan haba dan penambahan agen pematangan atau pengeras. Setelah matang, satu rangkaian ikatan tiga dimensi yang kuat terbentuk di dalam resin. Oleh itu, resin tidak lagi boleh dicairkan, dibentuk semula dan diproses sekali lagi melalui pemanasan. Struktur rantai yang kaku menghalang pembentukan semula atau kegelinciran daripada berlaku pada rantai molekulnya di samping membawa kepada kestabilan dimensi, rintangan suhu tinggi serta rintangan terhadap pelarut (Schwartz, 1992).

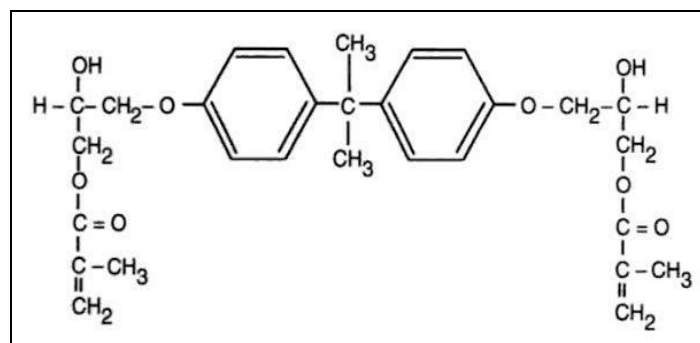
Menurut Bellmann *et al.*, (2005) matriks termoset mempunyai beberapa kelemahan seperti sifat ketegangan yang menghampiri kegagalan, kerapuhan, kitar pematangan yang panjang serta penyerapan lembapan yang boleh menyebabkan kesan yang buruk ke atas sifat-sifat mekanikal. Contoh yang biasa dijumpai adalah dalam poliester tidak tepu, urea formaldehid dan epoksi. Termoset seharusnya mempunyai sifat-sifat kelikatan yang rendah pada awalnya supaya bahan yang dihasilkan selepas proses pematangan akan bersambung silang, mempunyai ketahanan kekuatan yang tinggi tetapi mempunyai pecahan tegangan yang rendah (Wang *et al.*, 2005).

Polimer-polimer termoset telah menjadi dasar utama dan pilihan yang popular sebagai bahan matriks untuk komposit-komposit polimer. Resin termoset yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit ialah poliester, vinil ester dan epoksi. Vinil ester merupakan resin termoset yang biasa digunakan dalam plastik diperkuat gentian (FRP), namun dalam pasaran kebanyakannya adalah epoksi bagi resin komposit termaju

(Schwartz, 1992). Keterikan yang rendah terhadap kegagalan semasa pematangan, memiliki sifat kekakuan tinggi serta kemampuan untuk membasahi bungkusan gentian panjang telah menyumbang penggunaan yang meluas bagi resin ini dalam pelbagai lapangan pengaplikasian komposit (Cheremisinoff, 1990). Dengan mengambil kira kesan terhadap kos perbelanjaan, vinil ester dilihat telah memadai untuk memenuhi jangkaan bagi pengaplikasian bertujuan umum.

### 2.2.2 Resin Vinil Ester

Vinil ester dihasilkan menerusi tindak balas epoksi Bisfenol A dengan asid metakrilik yang membentuk bahagian tidak tepu untuk tindak balas dengan monomer seperti stirena. Metil etil keton peroksida dan benzoil peroksida yang digunakan untuk pempolimeran bertindak sebagai pemula radikal bebas (Kalthoff, 2004). Rajah 2.2 menunjukkan struktur polimer termoset vinil ester.



Rajah 2.2: Struktur polimer termoset vinil ester

Resin vinil ester lebih senang diproses berbanding dengan resin epoksi. Vinil ester monomer mempunyai dua terminal yang mempunyai dua radikal bebas. Dua radikal ini berkeupayaan bertindak balas dengan polimer tidak tepu agar proses pematangan dapat berlaku (Malik, 2000). Vinil ester mempunyai monomer reaktif seperti stirena. Kumpulan reaktif (stirena) berfungsi untuk merendahkan kepekatan resin dan meningkatkan keunggulan polimer supaya kadar tindak balas adalah tinggi serta

berupaya meningkatkan masa pemejalan. Vinil ester mempunyai ciri-ciri seperti modulus yang tinggi, takat suhu genting yang tinggi, berat yang kurang atau ketumpatan yang rendah dan kos yang rendah.

Nisbah antara bahan dengan isipadu yang tinggi dalam suatu bod komposit yang dihasilkan menyebabkan sebahagian daripada kandungan stirena dalam vinil ester terbebas ke udara. Keadaan ini menyebabkan terhasilnya peraturan atau undang-undang *Environmental Protection Agency* (2003) yang ditetapkan oleh Jawatankuasa Agensi Perlindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat untuk menghentikan stirena meruap daripada dibebaskan ke ruang udara. Bahan yang mudah meruap ini adalah bahaya terhadap kesihatan manusia dan persekitaran. Pembebasan bahan meruap ini berlaku semasa proses pengadunan dan penghasilan bod komposit.

Kandungan stirena yang rendah dalam vinil ester mempengaruhi proses pembuatan komposit. Apabila kandungan stirena dikurangkan, kepekatan resin turut menurun. Keadaan ini menyebabkan proses pencampuran antara matriks dan bahan penguat (EFB) tidak dapat dilakukan dengan efisien atau berkesan dan secara tidak langsung ia mempengaruhi sifat kekerasan bod komposit (Malik, 2000).

Stirena digantikan oleh vinil toluena untuk menambahbaikkan sifat kekerasan komposit. Penggantian ini masih tidak boleh mengatasi masalah pembebasan bahan meruap, tetapi masalah ini dapat dikurangkan. Pengganti bahan meruap ini berupaya mengurangkan masalah ini kepada tahap yang minimum dan mengurangkan kos bahan mentah yang mahal (Smeal, 1994).

Untuk mengelakkan pembebasan stirena yang banyak, bahan penghalang meruap stirena digunakan. Bahan penghalang yang biasa digunakan ialah wax parafin (Bogner, 1994). Penggunaan bahan parafin melemahkan ikatan antara matriks dan bahan penguat (Lacovara, 1999). Pembebasan bahan meruap stirena dapat dikawal dengan jisim molekul. Namun, jisim molekul vinil ester yang rendah akan menghadapi nilai flektural yang rendah. Hal ini berlaku disebabkan kadar tindak balas menjadi terlalu tinggi dan menyebabkan proses pematangan yang lama. Jisim molekul yang tinggi mempunyai nilai kekuatan dan kekakuan yang tinggi dan sebaliknya kandungan jisim molekul vinil ester yang rendah akan mendorong kepada pemprosesan bod komposit yang lebih sukar atau proses pematangan yang lebih lama (LeMay dan Kelly, 1986).

### **2.2.3 Metil Etil Keton Peroksida**

Pemangkin yang biasa digunakan untuk memamatkan vinil ester adalah terdiri daripada peroksida organik yang terdapat dalam pelbagai bentuk iaitu cecair, pepejal atau serbuk. Pemangkin boleh didefinisikan sebagai sesuatu substrat yang berupaya mempercepatkan sesuatu proses tindak balas pematangan. Peroksida akan mengalami perubahan bentuk sebelum ia boleh memangkinkan resin dan juga dikenali sebagai pemula (Rozman, 2002).

Terdapat dua jenis sistem pemula yang sering digunakan dalam pematangan resin vinil ester. Pemula yang berkesan adalah tindak balas kimia yang dijalankan pada suhu bilik tinggi. Pemula radikal dalam peroksida berfungsi untuk membebaskan radikal bebas apabila dikenakan haba dan suhu yang tinggi. Bagi penukaran kepada resin-monomer yang tidak aktif, peroksida ini perlu diaktifkan oleh sesuatu bahan atau tenaga yang lain

sebelum boleh menukarkan larutan resin-monomer yang tidak aktif kepada keadaan yang bersesuaian untuk dipolimerisasikan (Rozman, 2002).

Dalam kes vinil ester, haba perlu dibekalkan untuk mengaktifkan peroksida. Haba ini boleh menyebabkan penguraian peroksida kepada radikal bebas di samping mengaktifkan ikatan dubel pada molekul vinil ester dan monomer tidak tepu untuk memulakan mekanisme penyambung silang. Peroksida yang digunakan dengan meluas adalah benzoil peroksida, 2,4-diklorobenzoil peroksida, di-tert-peroksida, di-tert-butil peroksida dan lauroil peroksida (Rozman, 2002).

#### **2.2.4 Kobalt**

Kobalt digunakan sebagai ajen pencepat atau penggalak dalam proses pematangan. Campuran pemangkin dengan pencepat memendekkan masa pematangan dan hal ini membolehkan resin yang dimasukkan ke dalam bod komposit menjadi matang dengan lebih cepat dan berkesan. Fungsi utama kobalt adalah untuk mempercepatkan proses pematangan yang tidak dapat dilakukan oleh pemangkin seperti Metil Etil Keton Peroksida (MEKP). Sifat-sifat kobalt adalah kekerasan dan kerapuhan yang tinggi. Kobalt tidak boleh dicampurkan ke dalam resin dalam kuantiti yang banyak kerana hal ini akan mempengaruhi sifat mekanikal komposit hibrid yang dihasilkan (Bauer, 1990).

#### **2.3 Bahan Pengukuh**

Bahan pengukuh adalah bahan yang dimasukkan secara berasingan untuk memperbaiki struktur dan sifat-sifat sesuatu bahan. Bahan pengukuh boleh digunakan dalam bentuk berterusan (gentian, filamen atau pita) atau tidak berterusan (misai atau emping) (Khalil dan Rokiah, 2004). Bahan utama yang dipanggil matriks bertindak sebagai pengikat.

Bahan pengukuh adalah medium yang menampung beban. Komponen dalam komposit yang bersifat pengukuh, selalunya dalam bentuk gentian.

Darjah pengukuhan adalah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antaranya termasuklah sifat-sifat mekanik dan fizikal bahan matriks dengan gentian, geometri dan orientasi gentian (nisbah panjang / diameter), pecahan isipadu dan mutu interfasa antara bahan matriks dengan gentian pengukuh.

Bahan pengukuh menyebarkan beban dan tegangan yang dikenakan ke seluruh struktur. Kewujudan agen-agen pengukuh dalam julat yang besar menandakan keberkesanan yang telah dicapai dalam industri polimer. Keunikan komposit polimer adalah disebabkan oleh sifat dan kelakuan gentian pengukuh. Walau bagaimanapun, peningkatan saiz gentian merendahkan sifat-sifat tensil. Untuk mengatasi masalah ini, gentian-gentian diikat bersama dengan bahan matriks. Hal ini menyebabkan beban yang dikenakan disebar oleh daya pemutus. Oleh itu, ikatan yang baik diperlukan dalam interfasa. Bahan-bahan pengukuh dapat mengurangkan kos, memperbaiki sifat-sifat elektrik, meningkatkan nisbah kekuatan kepada ketumpatan dan kekakuan kepada ketumpatan, meningkatkan rintangan terhadap kelemahan, impak dan pecahan yang disebabkan oleh tekanan (Patterson dan Tsai, 1988).

Gentian sintetik yang selalu digunakan dalam komposit adalah seperti kaca, boron pada filamen teras tungsten, grafit atau karbon dan poliamida aromatik (Kevlar). Ia menggabungkan ketumpatan rendah ( $1.44-2.77 \text{ g/cm}^3$ ), kekuatan yang sangat tinggi (3.0-4.5 GPa) dan modulus (80-550 GPa). Bahan-bahan pengukuh lain yang turut digunakan termasuklah asbestos, seramik dan logam (Joshi, 2003). Komposit polimer

diperkuat gentian yang diperbuat daripada gentian sintetik ini mempunyai kelebihan dari segi kekuatan mekanikal yang ditawarkan dan berprestasi tinggi. Namun begitu, keburukan gentian-gentian ini pula dipengaruhi oleh kos yang sangat tinggi, beracun, tidak mesra alam, ketidakefisienan sebagai binaan struktur dan impak negatif kepada persekitaran. Semua ini merupakan faktor penghalang dalam penggunaan gentian buatan manusia. Penggunaan gentian semula jadi sebagai bahan pengukuh dalam komposit termoset dan termoplastik telah menjadi sesuatu yang menarik sejak kebelakangan ini. Gentian-gentian semula jadi telah dijadikan suatu alternatif kepada gentian-gentian yang dibuat oleh manusia terutama sekali gentian kaca.

### **2.3.1 Antara-muka Gentian-Matriks**

Prestasi baik sesuatu komposit adalah ditentukan oleh unsur-unsur yang terlibat dalam pembentukan komposit. Kebiasaannya, unsur-unsur ini mempunyai kekuatan dan modulus penguatan yang tinggi terbenam dalam matriks. Apabila dua atau lebih bahan ini bercampur dan bergabung antara satu sama lain boleh menghasilkan kawasan berterusan atau persentuhan yang bertindak sebagai suatu ikatan antara unsur penguat dan juga matriks. Dengan mudahnya, ia akan membentuk satu permukaan yang merupakan hasil daripada ikatan biasa unsur-unsur komposit yang bercampur. Sempadan antara matriks dan bahan penguat yang dikenali sebagai antara-muka ini selalunya dikawal untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan daripada pasangan bahan mentah tersebut (Guduri *et al.*, 2007).

Bahan penguat dalam satu komposit mampu menanggung beban tensil tinggi. Pada masa yang sama, matriks memberikan kekakuan kepada komposit. Pengaplikasian tekanan ke atas komposit memberikan hasil dalam pemindahan beban dari satu unsur