

**KOMPOSIT POLIESTER DIPERKUAT HIBRID GENTIAN SABUT
KELAPA DAN GENTIAN KACA**

oleh

HANIDA BINTI SAAIDI

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

APRIL 2007

PENGHARGAAN

Sekalung kesyukuran terhadap Illahi kerana dengan restu dan izinNya dapat jua saya menyiapkan tesis penyelidikan peringkat sarjana ini dengan selamat dan sempurnanya. Alhamdulillah. Sesungguhnya tanpa restuNya, tidak mungkin saya mampu harungi perjuangan untuk melihat penyelidikan ini sampai ke noktah terakhir.

Di sebalik perjuangan ini, ingin saya rakamkan jutaan terima kasih yang tak terhingga kepada Prof. Madya Dr. Abdul Khalil Shawkataly selaku penyelia utama yang banyak memberikan idea, komen dan semangat untuk menjayakan projek ini. Bantuan dan jasa yang beliau berikan tak mungkin terbalas oleh saya. Tidak dilupakan juga kepada semua pembantu makmal, En. Azhar, Puan Hasni dan En. Maarof serta sahabat-sahabatku dan rakan seperjuangan Syed Asri, Nik Noriman, Sharifah, Wani, Shilla, Firdaus dan Kang, terima kasih atas pertolongan semangat yang diberikan. Saya amat menghargainya.

Untuk insan tersayang yang menjadi tunjang semangatku bonda kukasihi Pn. Sabariah Mohd. Nasir dan ayahanda tercinta Saaidi Yoep Harun serta keluarga yang ku kasihi, Ani, Abang dan Kak Ina. Pengorbanan dan kesabaran yang kalian berikan tidak ternilai harganya. Ya Allah, Selamatkanlah insan-insan yang ku kasihi. Amin ya rabbal Alamin.

.....

HANIDA BINTI SAAIDI

[APRIL 2007]

JADUAL KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB 1 - PENGENALAN DAN TUJUAN	
1.1 Umum	1
1.2 Objektif Eksperimen	6
BAB 2- KAJIAN LITERATUR	
2.1 Pengenalan	7
2.1.1 Sejarah	9
2.2 Definasi Komposit	12
2.3 Pengkelasan bagi Komposit	13
2.4 Unsur-Unsur Komposit	14
2.5 Kelakuan atau Prestasi Komposit	16
2.6 Kelebihan Komposit	18
2.7 Komposit Plastik Diperkuat Gentian	18
2.7.1 Matriks	19
2.7.1.1 Termoset	21
2.7.1.2 Resin Poliester Tak Tepu	22
2.7.1.3 Lain-Lain Jenis Matriks Termoset	25
2.7.2 Antara Muka Gentian-Matrik	26
2.7.3 Gentian Penguat	28

2.7.3.1	Gentian Lignoselulosik	31
2.7.3.2	Komposisi Kimia Gentian Lignoselulosik	34
2.7.3.3	Selulosa	35
2.7.3.4	Hemiselulosa	36
2.7.3.5	Lignin	36
2.7.3.6	Ekstraktif	37
2.7.3.7	Sifat Fizikal dan Mekanikal Gentian Lignoselulosik	38
2.7.3.8	Gentian Sabut Kelapa dan Kompositnya	41
2.7.3.9	Kelemahan Gentian Lignoselulosik	44
2.8	Komposit Hibrid	46
2.8.1	Komposit Hibrid berasaskan Gentian Lignoselulosik	49
BAB 3 - BAHAN MENTAH DAN METODOLOGI		
3.1	Bahan Mentah	51
3.1.1	Matriks	51
3.1.1.1	Poliester Tak Tepu	51
3.1.1.2	Agan Pematangan	51
3.1.2	Gentian Penguat	52
3.1.2.1	Gentian Kaca	52
3.1.2.2	Gentian Sabut Kelapa (Coir)	52
3.2	Metodologi	52
3.2.1	Penyediaan Hamparan/Tetikar Gentian Sabut Kelapa	52
3.2.2	Penyediaan Komposit Laminat	53
3.2.3	Proses Penyedutan Resin dan Pematangan Komposit Laminat	54
3.3	Kajian Sifat-Sifat Komposit	58
3.3.1	Ujian Mekanikal	58
3.3.1.1	Ujian Tensil	58
3.3.1.2	Ujian Fleksural Tiga Titik	60

3.3.1.3	Ujian Hentaman Charpy	62
3.3.2	Ujian Fizikal	64
3.3.2.1	Ujian Ketumpatan	64
3.3.2.2	Ujian Kandungan Lembapan	64
3.3.2.3	Ujian Penyerapan Air	65
3.3.3	Ujian Ketahanan Cuaca	65
3.3.4	Ujian Ketahanan Biologikal	66
3.3.5	Kajian Morfologi (Mikroskop Elektron Penskanan)	66

BAB 4 - KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Kesan Ujian Mekanikal	67
4.1.1	Sifat Tensil Komposit	67
4.1.1.1	Kekuatan Tensil Komposit	67
4.1.1.2	Modulus Tensil Komposit	76
4.1.1.3	Pemanjangan Takat Putus Komposit	81
4.1.1.4	Keliatan Tensil Komposit	87
4.1.2	Sifat Fleksural Komposit	92
4.1.2.1	Kekuatan Fleksural Komposit	92
4.1.2.2	Modulus Fleksural Komposit	97
4.1.2.3	Keliatan Fleksural Komposit	104
4.1.3	Sifat Hentaman Komposit	107
4.2	Sifat Fizikal Komposit	118
4.2.1	Ketumpatan Komposit	118
4.2.2	Sifat Kandungan Lembapan Komposit	123
4.2.3	Sifat Penyerapan Air Komposit	127
4.3	Ujian Cuaca	137
4.3.1	Ujian Sifat Tensil	138
4.3.2	Ujian Sifat Fleksural	145

4.3.3	Ujian Sifat Hentaman	151
4.4	Kesan Biologi terhadap Sifat Mekanikal	154
4.4.1	Ujian Sifat Tensil	154
4.4.2	Ujian Sifat Fleksural	167
4.4.3	Ujian Sifat Hentaman	177
 BAB 5 - KESIMPULAN DAN CADANGAN		
5.1	Kesimpulan	184
5.2	Cadangan	187
 BIBLIOGRAFI		189
 LAMPIRAN		

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Komponen-komponen resin poliester	24
Jadual 2.2	Inhibitor pemangkin-penggalak untuk pematangan pada suhu bilik	24
Jadual 2.3	Perbandingan antara gentian lignoselulosik dan gentian kaca	30
Jadual 2.4	Komposisi kimia bagi gentian lignoselulosik	34
Jadual 2.5	Sifat mekanikal dan fizikal pelbagai jenis gentian	40
Jadual 3.1	Formulasi pecahan isipadu bagi gentian sabut kelapa dan gentian kaca	57
Jadual 4.1	Peratus penurunan sifat tensil komposit akibat kesan pencucaan	143
Jadual 4.2	Peratus penurunan sifat fleksural komposit akibat kesan pencucaan	146
Jadual 4.3	Peratus penurunan kekuatan hentaman komposit akibat kesan pencucaan	153
Jadual 4.4	Peratus penurunan kekuatan tensil komposit akibat kesan biologikal	156
Jadual 4.5	Peratus penurunan modulus tensil komposit akibat kesan biologikal	159
Jadual 4.6	Peratus penurunan pemanjangan takat putus komposit akibat kesan biologikal	160
Jadual 4.7	Peratus penurunan keliatan tensil komposit akibat kesan biologikal	162
Jadual 4.8	Peratus penurunan kekuatan fleksural komposit akibat kesan biologikal	169
Jadual 4.9	Peratus penurunan modulus fleksural komposit akibat kesan biologikal	172
Jadual 4.10	Peratus penurunan keliatan fleksural komposit akibat kesan biologikal	174
Jadual 4.11	Peratus penurunan kekuatan hentaman komposit akibat kesan biologikal	178

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 2.1	Klassifikasi komposit	14
Rajah 2.2	Perbezaan bentuk unsur-unsur di dalam komposit	15
Rajah 2.3	Struktur polimer termoset	22
Rajah 2.4	Satu campuran asid anhidrida, asid-asid, anhidrida tak tepu dan alkohol untuk membentuk poliester	23
Rajah 2.5	Gambaran antara muka di antara penguat dan matriks	27
Rajah 2.6	Klasifikasi gentian lignoselulosik dan bukan lignoselulosik	29
Rajah 2.7	Pokok kelapa	42
Rajah 3.1	Struktur kimia poliester tak tepu	51
Rajah 3.2	Struktur kimia MEKP	51
Rajah 3.3	Rajah skematik proses <i>vacuum bagging</i>	55
Rajah 3.4	Kombinasi hamparan gentian kelapa dan gentian kaca	56
Rajah 3.5	Graf tegasan melawan terikan bahan	60
Rajah 3.6	Kedudukan sampel ujian fleksural	62
Rajah 3.7	Kedudukan sampel dan arah hentaman ujian hentaman	63
Rajah 4.1	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap kekuatan tensil komposit	68
Rajah 4.2(a)	Mikrograf MEP keratan rentas komposit sabut kelapa. Anak panah menunjukkan saiz dan bentuk yang tidak sekata bagi gentian sabut kelapa (pembesaran 100x)	71
Rajah 4.2(b)	Mikrograf MEP keratan rentas bungkusan gentian sabut kelapa di dalam matrik poliester (pembesaran 500x)	71
Rajah 4.3(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan tensil bagi komposit hibrid (40mm)	74
Rajah 4.3(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan tensil bagi komposit hibrid (3mm)	75

Rajah 4.4	Mikrograf MEP permukaan patah ujian hentaman komposit sabut kelapa. Permukaan licin gentian sabut kelapa menunjukkan perekatan lemah antara gentian dengan matrik (pembesaran 500x)	76
Rajah 4.5	Mikrograf MEP permukaan patah ujian hentaman komposit gentian kaca (pembesaran 500x)	76
Rajah 4.6	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap modulus tensil komposit	77
Rajah 4.7(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas modulus tensil bagi komposit hibrid (40mm)	80
Rajah 4.7(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas modulus tensil bagi komposit hibrid (3mm)	80
Rajah 4.8	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap pemanjangan takat putus komposit	82
Rajah 4.9(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas pemanjangan takat putus bagi komposit hibrid (40mm)	84
Rajah 4.9(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas pemanjangan takat putus bagi komposit hibrid (3mm)	84
Rajah 4.10	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap keliatan tensil komposit	88
Rajah 4.11	Mikrograf MEP hujung gentian sabut kelapa di dalam matrik poliester (pembesaran 501x)	90
Rajah 4.12(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas keliatan tensil bagi komposit hibrid (40mm)	91
Rajah 4.12(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas keliatan tensil bagi komposit hibrid (3mm)	91
Rajah 4.13	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap kekuatan lenturan komposit	94
Rajah 4.14(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan lenturan bagi komposit hibrid (40mm)	96
Rajah 4.14(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan lenturan bagi komposit hibrid (3mm)	96
Rajah 4.15	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap modulus fleksural komposit	99
Rajah 4.16(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas modulus fleksural bagi komposit hibrid (40mm)	101

Rajah 4.16(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas modulus fleksural bagi komposit hibrid (3mm)	102
Rajah 4.17	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap keliatan tensil komposit	104
Rajah 4.18(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas keliatan fleksural bagi komposit hibrid (40mm)	106
Rajah 4.18(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas keliatan fleksural bagi komposit hibrid (3mm)	107
Rajah 4.19	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap kekuatan impak komposit	109
Rajah 4.20	Mikrograf MEP permukaan patah sampel ujian hentaman komposit poliester diperkukuh 40% gentian sabut kelapa (pembesaran 100x) (a) Komposit poliester gentian sabut kelapa dengan 40mm panjang gentian; (b) Komposit poliester gentian sabut kelapa dengan 3mm panjang gentian	112
Rajah 4.21	Mikrograf MEP permukaan patah sampel ujian hentaman komposit poliester diperkukuh 40% gentian kaca (pembesaran 500x) (a) Pelucutan gentian pada permukaan patah komposit gentian kaca; (b) Rekahan gentian atau gentian patah pada permukaan patah komposit gentian kaca	113
Rajah 4.22(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan hentaman bagi komposit hibrid (40mm)	115
Rajah 4.22(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas kekuatan hentaman bagi komposit hibrid (3mm)	115
Rajah 4.23	Mikrograf MEP permukaan patah sampel ujian hentaman komposit poliester hibrid gentian sabut kelapa/kaca pada 40% berat gentian dan 40mm panjang gentian sabut kelapa (pembesaran 30x) (a) Komposit hibrid dengan 0.3 pecahan isipadu gentian kaca; (b) Komposit hibrid dengan 0.7 pecahan isipadu gentian kaca	119
Rajah 4.24	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap ketumpatan komposit	120
Rajah 4.25(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas ketumpatan bagi komposit hibrid (40mm)	122

Rajah 4.25(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas ketumpatan bagi komposit hibrid (3mm)	122
Rajah 4.26	Kesan saiz dan peratus jumlah berat gentian terhadap peratus kandungan lembapan komposit	124
Rajah 4.27(a)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas peratus kandungan lembapan bagi komposit hibrid (40mm)	126
Rajah 4.27(b)	Kesan penambahan gentian kaca ke atas peratus kandungan lembapan bagi komposit hibrid (3mm)	127
Rajah 4.28(a)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (10% berat pengukuh, 40mm)	130
Rajah 4.28(b)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (20% berat pengukuh, 40mm)	130
Rajah 4.28(c)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (30% berat pengukuh, 40mm)	131
Rajah 4.28(d)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (40% berat pengukuh, 40mm)	131
Rajah 4.29(a)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (10% berat pengukuh, 3mm)	132
Rajah 4.29(b)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (20% berat pengukuh, 3mm)	132
Rajah 4.29(c)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (30% berat pengukuh, 3mm)	133
Rajah 4.29(d)	Kesan penambahan GK terhadap kadar penyerapan air komposit (40% berat pengukuh, 3mm)	133
Rajah 4.30	Mikrograf MEP keratan rentas komposit sabut kelapa (pembesaran 100x)	135
Rajah 4.31	Mikrograf MEP keratan rentas komposit sabut kelapa (pembesaran 100x)	135
Rajah 4.32(a)	Mikrograf MEP keratan rentas komposit hibrid dengan 0.3 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 100x)	136
Rajah 4.32(b)	Mikrograf MEP keratan rentas komposit hibrid dengan 0.7 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 100x)	136
Rajah 4.33	Mikrograf MEP permukaan sampel komposit hibrid dengan 40mm panjang gentian sabut kelapa dan 40% berat pengukuh bagi tempoh 6 bulan ujian pencuciaan (a) 0.3 pecahan isipadu gentian kaca; (b) 0.7 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 100x)	145

Rajah 4.34	<p>Mikrograf MEP permukaan sampel komposit sabut kelapa selepas ujian cuaca (40% berat pengukuh, 3mm panjang gentian)</p> <p>(a) Retak mikro dan kegagalan antaramuka gentian-matrik (pembesaran 100x); (b) Degradasi gentian sabut kelapa (pembesaran 100x); (c) Permukaan kasar sampel komposit kesan daripada hakisan air hujan dan angin (pembesaran 50x); (d) Gentian terdedah akibat daripada pelucutan gentian permukaan serta permukaan kasar kesan daripada hakisan permukaan (pembesaran 100x)</p>	150
Rajah 4.35	<p>Mikrograf MEP perubahan morfologi gentian sabut kelapa permukaan sampel mengikut sela masa ujian biologikal bagi komposit sabut kelapa (40mm panjang gentian, 40% berat gentian), (a) 0 bulan; (b) 1 bulan; (c) 6 bulan; (d) 12 bulan. (pembesaran 250x)</p>	165
Rajah 4.36	<p>Mikrograf MEP permukaan sampel komposit hibrid dengan 40mm panjang gentian sabut kelapa dan 40% berat pengukuh bagi tempoh 6 bulan ujian biologikal (a) 0.3 pecahan isipadu gentian kaca; (b) 0.7 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 30x)</p>	167
Rajah 4.37	<p>Mikrograf MEP permukaan sampel komposit hibrid (40mm panjang gentian sabut kelapa dan 40% berat pengukuh) bagi tempoh 6 bulan ujian biologikal (a) 0.7 pecahan isipadu gentian kaca; (b) 0.3 pecahan isipadu gentian kaca. (pembesaran 30x)</p>	177
Rajah 4.38	<p>Mikrograf MEP permukaan sampel komposit hibrid dengan 0.3 pecahan isipadu gentian kaca dan 40% berat pengukuh mengikut sela masa ujian biologikal ujian biologikal (a) 0 bulan; (b) 1 bulan; (c) 6 bulan; (d) 12 bulan. (pembesaran 100x)</p>	181
Rajah 4.39	<p>Mikrograf MEP perubahan morfologi permukaan sampel poliester mengikut sela masa ujian biologikal (a) 0 bulan; (b) 1 bulan; (c) 6 bulan; (d) 12 bulan. (pembesaran 100x)</p>	183

SENARAI SINGKATAN

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
SK	Sabut Kelapa
GK	Gentian Kaca
MEKP	Metil Etil Keton Peroksida
NaOH	Natrium Hidroksida
MAPP	Malik Anhidrida Polipropilena
PE	Polietilena
PP	Polipropilena
USP	Poliester Tak Tepu
MEP	Mikroskop Elektron Penskanan
CO ₂	Karbon Dioksida
UV	Ultra Ungu
FRP	<i>Fiber Reinforced Plastic</i>
SM	Sebelum Masihi
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>
KPA	Kapasiti Pegangan Air

KOMPOSIT POLIESTER DIPERKUAT HIBRID GENTIAN SABUT KELAPA DAN 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 poliester hibrid daripada gentian sabut kelapa (SK) dan gentian kaca (GK) dihasilkan. Kesan penguatan gentian SK (40mm & 3mm panjang gentian) dihibrid dengan GK dinilai pada peratusan penambahan berat pengukuh yang berbeza iaitu 10, 20, 30 dan 40%. Komposit hibrid laminat dihasilkan pada nisbah pecahan isipadu gentian SK:GK; 1:0, 0.9:0.1, 0.7:0.3, 0.5:0.5, 0.3:0.7, 0.1:0.9 dan 0:1 yang berbeza. Ujian mekanikal (tensil, fleksural dan hentaman Charpy) dan fizikal (ketumpatan, kandungan lembapan dan kadar penyerapan air) telah dijalankan. Analisis mikroskop elektron penskanan (MEP) turut dijalankan untuk mengkaji pengaruh faktor kualiti pelekatan antara gentian dengan matrik terhadap prestasi sifat mekanikal dan fizikal yang dipamerkan oleh komposit. Sifat mekanikal komposit poliester diperkuat-gentian menunjukkan peningkatan dengan peratus berat pengukuh dan panjang gentian SK. Komposit poliester-SK mempamerkan prestasi yang lebih rendah berbanding komposit poliester-GK. Penambahan GK ke dalam komposit SK walaubagaimanapun mampu memperbaiki sifat mekanikal dan fizikal komposit ini. Ujian terhadap kesan pencuacaan dan kesan biologi menunjukkan pengurangan kadar penyusutan sifat mekanikal komposit poliester-SK dengan penambahan gentian kaca ke dalam komposit.

REINFORCEMENT OF COIR AND GLASS FIBRE HYBRID IN POLYESTER COMPOSITES

ABSTRACT

The increase in the amount of agricultural wastes and production of synthetic materials (glass fiber) has contributed to various environmental problems. This has attracted the attention of scientists to find new ideas in order to overcome this problem. Thus, polyester hybrid composites with coir and glass fiber were studied. The reinforcing effect of glass hybrid with coir (40mm and 3mm fiber lengths) in polyester composites was evaluated at various fibre loadings in composite, overall fibre content (by weight); 10, 20, 30 and 40wt.%. Hybrid laminate composites with different volume ratios of glass fibre : coir fibre; 1:0, 0.9:0.1, 0.7:0.3, 0.5:0.5, 0.3:0.7, 0.1:0.9 and 0:1 were prepared. Mechanical (tensile, flexural, Charpy impact) and physical (density, moisture content and water absorption) testing were also conducted. Scanning electron microscope (SEM) analysis was conducted to study the effect of the quality of adhesion between the fibers and matrix toward the performance of the mechanical and physical properties of the composites. The mechanical properties of fiber-reinforced polyester composites showed an increase with increasing the percentage of fiber loadings and the lengths of coir fiber. The coir-polyester composites also showed a lower performance as compared to the glass-polyester composites. However, the addition of glass fiber into the coir-polyester composites increased the mechanical and physical properties of hybrid composite. Tests conducted on the effects of weathering and biological factors have shown a reduction in the rate of loss in mechanical properties of coir-polyester composites by adding glass fiber into these composites.

BAB 1 PENGENALAN DAN TUJUAN

1.1 Umum

Kebanyakan barangan yang kita lihat pada hari ini adalah dihasilkan daripada bahan monolitik, iaitu suatu komponen individu mengandungi satu bahan mentah atau suatu kombinasi bahan mentah yang digabungkan dalam suatu keadaan di mana setiap komponen individu tidak dapat dipisahkan (contohnya besi). Dengan kedatangan tamadun moden dan pembangunan terhadap pengetahuan saintifik, kemajuan bidang-bidang yang bersangkutan dengan sains dan teknologi semakin pesat dan memerlukan bahan baru yang mempunyai sifat-sifat yang tidak terdapat pada bahan monolit ini [Wambua *et al.*, 2003]. Keterbatasan yang sering timbul apabila keinginan dalam memenuhi keperluan untuk meningkatkan prestasi bahan-bahan ini, mendorong para pengkaji seluruh dunia menggiatkan usaha mereka bagi menghasilkan satu bahan baru yang lebih baik. Komposit adalah satu bahan yang mampu menghadapi segala cabaran-cabaran ini, yang mana ia membentuk sebahagian penting pasaran bagi bahan kejuruteraan, daripada produk harian hinggalah kepada kegunaan yang sofistikated [Khalil & Rozman, 2004].

Sejak penggunaan komposit diperluaskan dalam tahun 60-an, banyak perkembangan dan penerokaan telah dicapai. Jumlah dan bilangan penggunaan bahan komposit telah meningkat selari dengan perkembangan masa menembusi dan menguasai pasaran baru dengan pesat sekali. Perkembangannya juga bukan sekadar tertumpu pada penambahbaikan sistem komposit yang sedia ada, malah merangkumi perkembangan teknologi dan potensi pelbagai sumber bahan mentah untuk digunakan sebagai bahan asas komposit.

Plastik diperkuat gentian berkeupayaan tinggi (*high-performance fiber reinforced plastics* (FRP)) telah muncul sebagai saingan kepada bahan monolit yang sedia ada. Komposit gentian sintetik (misalnya kaca, aramid, boron dan karbon) adalah merupakan satu bahan komposit berkeupayaan tinggi yang sangat popular dan telah mendapat perhatian sejak dari Perang dunia ke-2 lagi [Cheremisinoff, 1990]. Pada masa itu, ia telah mula digunakan dalam lapangan kritikal seperti ruang angkasa dan pemasangan bahan nuklear. Sehingga kini, bahan komposit moden memainkan peranan penting dan penyumbang terhadap kemajuan ruang angkasa, automotif (kerangka kenderaan), pembinaan jambatan, prasarana awam dan alatan persukanan [Paul *et al.*, 2003; Tolinski, 2005; Bellman *et al.*, 2005].

Sejak akhir-akhir ini, permintaan dan tarikan terhadap penggunaan bahan baru dari sumber yang boleh diperbaharui meningkat secara mendadak. Kesedaran yang timbul hasil daripada penelitian dalam pelbagai aspek seperti keselamatan, penjagaan alam sekitar, kesihatan serta penjimatan kos telah mencetuskan idea baru dalam pencarian suatu alternatif lain bagi menggantikan sumber yang tidak boleh diperbaharui seperti bahan sintetik [Torres & Cubillas, 2005]. Isu alam sekitar seperti peningkatan suhu dunia, penggunaan tenaga serta keinginan untuk menghasilkan produk-produk dari sumber-sumber semulajadi mewujudkan minat dan permintaan terhadap produk-produk berasaskan sumber semulajadi seperti tumbuh-tumbuhan [Reddy & Yang, 2005]. Melalui penyelidikan-penyelidikan yang dijalankan, tumbuhan dilihat sebagai suatu yang sangat menarik apabila dinilai dari segi bahan kerana produk hasil daripada sumber ini memberikan bentuk sifat yang pelbagai dan diingini.

Perubahan ini juga turut dipengaruhi oleh penggunaan gentian sintetik yang telah mendatangkan pelbagai masalah terutamanya berkaitan alam sekitar. Walaupun bahan

sintetik ini telah memberi banyak faedah kepada masyarakat melalui pelbagai kelebihan dan keselesaan yang disumbangkan ke dalam kehidupan manusia, bahan ini turut memberikan bebanan terutamanya kepada alam sekitar melalui setiap langkah penghasilannya [Li *et al.*, 1998; Arbelaiz *et al.*, 2005]. Sebagai contoh, pembuatan gentian kaca ini adalah sangat bergantung kepada bahan api fosil yang mana pembakarannya akan membebaskan sejumlah besar CO₂ ke dalam atmosfera [Joshi *et al.*, 2003]. Kesan rumah hijau dilihat sebagai salah satu kesan dari fenomena pembebasan gas CO₂ hasil daripada pembakaran produk bahan api ini (contohnya petroleum). Keadaan ini nyata berbeza dengan CO₂ semulajadi pada gentian lignoselulosik yang mana ianya lebih menarik dan memberi faedah kepada alam sekitar [Paul *et al.*, 2003].

Isu persekitaran serta kos yang rendah bagi gentian semulajadi dan sumber lignoselulosik telah menarik minat para penyelidik dunia untuk menjadikan sumber ini sebagai bahan penguatan dalam komposit kejuruteraan. Kebanyakan sumber ini diperolehi daripada sektor pertanian yang dikeluarkan sebagai sisa-sisa pertanian seperti sekam padi, daun nenas, kelapa, jut, kenaf, dan kelapa sawit. Hasil sampingan industri perkayuan seperti serbuk kayu juga turut digunakan sebagai bahan penguatan dalam pembuatan komposit ini.

Gentian semulajadi atau sumber lignoselulosik ini juga ditaksirkan sebagai suatu sumber yang mesra alam serta satu alternatif yang murah kepada gentian kaca. Kombinasi sifat-sifat mekanikal dan fizikal sumber semulajadi yang menarik serta sifat mesra alamnya telah mencetuskan pelbagai aktiviti dalam program penyelidikan dan pembangunan. Penyelidikan-penyelidikan yang telah dijalankan ke atas gentian lignoselulosik seperti gentian kelapa sawit (Rozman *et al.* 2001 (a&b); Hill *et al.*, 2000 dan Khalil *et al.*, 2002), jut (Naidu *et al.*, 1997; Alsina *et al.*, 2004), daun nenas (Liu *et al.*, 2005; Mishra *et al.*, 2001), flaks (Baiardo *et al.*, 2004; Arbelaiz *et al.*, 2005), kenaf (Shibata *et al.*, 2005) dan pisang

(Iducila *et al.*, 2005) menunjukkan bahawa sumber semulajadi ini mempunyai potensi sebagai penguat efektif dalam bahan termoplastik dan termoset. Merujuk kepada Torres & Cubillas (2005), bahan plastik berpenguat gentian lignoselulosik mempunyai sifat mekanikal yang baik, bebas daripada masalah kesihatan, penjimatan kos, pengurangan berat serta berpotensi untuk penggunaan struktural. Sifat gentian lignoselulosik yang kurang abrasif memberikan keadaan pemprosesan yang lebih mudah kerana kadar penghausan pada peralatan dapat dikurangkan.

Hal ini telah berjaya mempengaruhi para penyelidik dan pekerja industri di beberapa buah negara besar untuk mengaplikasikannya ke dalam sektor perindustrian. Sebagai contoh, industri permotoran Eropah sedang memandang serius di dalam kebarangkalian bagi penggunaan gentian semulajadi atau lignoselulosik diperkuat termoplastik sebagai suatu langkah untuk menjaga alam sekitar. Dalam masa yang sama mampu menjimatkan berat serta kos pengeluaran [Tolinski, 2005]. Syarikat gergasi permotoran seperti *Daimler Chrysler* menggunakan tetikar gentian flaks/sisal yang tertanam di dalam matriks epoksi bagi panel pintu model *E-class Mercedes Benz* [Gayer & Thomas, 1996]. Gentian kelapa yang terikat dengan lateks getah asli juga digunakan sebagai kusyen tempat duduk di dalam model *A-class Mercedes Benz* [Deem, 2003]. *Cambridge Industry* (sebuah perindustrian automotif di Michigan, USA) menghasilkan polipropilina-diperkuat gentian flaks bagi kegunaan *Freightliner Century CEO C-2* di dalam lori berat dan juga panel belakang bagi model *Chevrolet Impala* tahun 2000 [Sherma, 2003]. Selain dari industri permotoran, komposit gentian lignoselulosik seperti poliester diperkuat gentian jut juga telah mula digunakan di dalam industri pembuatan untuk panel, siling serta bod pemisah.

Produk gentian lignoselulosik ini walaubagaimanapun masih terhad kepada penggunaan bahagian dalaman kereta yang tidak terdedah kepada impak mekanikal yang tinggi dan

komponen bukan struktur apabila dibandingkan dengan komposit gentian sintetik seperti kaca yang digunakan secara meluas di dalam industri aeroangkasa. Walaupun komposit gentian lignoselulosik mempunyai ciri dan sifat yang begitu menarik, ia tetap mempunyai kekuatan dan modulus yang rendah, rintangan kelembapan yang rendah, ketahanan terhadap mikrob dan api yang rendah serta ketahanan yang rendah [Alsina *et al.*, 2005]. Ini disebabkan oleh kehadiran kumpulan hidroksi dan kumpulan polar yang lain di dalam banyak bahagian pada gentian semulajadi [Bellmann *et al.*, 2005]. Penyerapan kelembapan yang tinggi ini membawa kepada kelemahan ikatan antara muka di antara gentian dan matriks polimer yang secara relatifnya bersifat hidropobik. Hal ini telah menghadkan penggunaan komposit berpenguat gentian lignoselulosik terhadap penggunaan yang terdedah kepada persekitaran dalam tempoh masa yang lama.

Melalui hasil penyelidikan yang telah dijalankan sebelum ini, didapati kelembapan boleh mendegradasikan sifat-sifat mekanikal pada komposit berpenguat gentian semulajadi jika dibanding dengan komposit berpenguat gentian sintetik yang sememangnya mampu bertahan lebih lama. Kekurangan ini perlu diperbaiki untuk meningkatkan hidropobisiti gentian lignoselulosik melalui perawatan secara kimia dengan agen gandingan yang secocok atau penglitupan menggunakan resin yang sesuai untuk mendapatkan komposit yang baik dari segi sifat mekanikal serta berprestasi tinggi untuk persekitaran. Penghibridan gentian lignoselulosik dengan gentian sintetik yang lebih kuat dan berintangian terhadap kekaratan yang lebih baik, misalnya gentian kaca atau karbon, juga boleh meningkat dan mengekalkan kekakuan dan kekuatan kesan daripada rintangan terhadap kelembapan pada komposit. Kelebihan yang ada pada setiap gentian dapat menjadi pelengkap kepada kekurangan yang wujud pada gentian yang satu lagi melalui penggunaan komposit hibrid yang mempunyai dua atau lebih gentian yang berbeza [John & Naidu, 2004].

Dalam kajian ini, komposit hibrid laminat gentian sabut kelapa/kaca dihasilkan. Konsep penghibridan gentian lignoselulosik dengan gentian sintetik ini diharapkan dapat menghasilkan suatu produk komposit yang mampu memenuhi pelbagai aspek seperti persekitaran, keselamatan, kesihatan dan juga kos pengeluaran. Data daripada analisis ini mungkin dapat digunakan sebagai garis panduan untuk menghasilkan produk komposit berkeupayaan tinggi pada kos pengeluaran yang rendah.

1.2 Objektif Eksperimen

Tujuan utama eksperimen ini adalah untuk mengkaji kekuatan bod komposit yang dihasilkan daripada matriks poliester tak tepu yang diperkuat dengan gabungan gentian sabut kelapa dan kaca. Objektif eksperimen ini secara spesifik ialah:

1. Untuk menghasilkan bod komposit poliester diperkuat gentian sabut kelapa dengan 40mm dan 3mm panjang gentian dan gentian kaca, serta bod komposit poliester hibrid gentian sabut kelapa/kaca dengan menggunakan peratus pengukuh yang berbeza.
2. Untuk mengkaji kesan penambahan peratus pengukuh pada 10, 20, 30 dan 40% dan saiz panjang gentian kelapa (40 dan 3mm) terhadap sifat mekanikal (tensil, fleksural dan impak), ujian fizikal (ketumpatan, kandungan lembapan dan kadar penyerapan air) dan analisis terhadap kesan kegagalan komposit.
3. Untuk mengkaji kesan penambahan gentian kaca ke dalam komposit poliester hibrid gentian sabut kelapa/kaca pada nisbah gentian sabut kelapa:gentian kaca; 1:0, 0.9:0.1, 0.7:0.3, 0.5:0.5, 0.3:0.7, 0.1:0.9 dan 0:1 yang berbeza.
4. Untuk mengkaji sifat-sifat mekanikal (tensil, fleksural dan hentaman Charpy) ke atas komposit hibrid dan komposit bukan hibrid kesan daripada ujian biologikal yang dijalankan selama 12 bulan dan juga kesan pencuciaan selama 6 bulan.

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Beberapa dekad yang lepas, para saintis di bidang penyelidikan kejuruteraan telah berminat untuk menggantikan bahan monolitik seperti besi. Keterbatasan yang sering timbul apabila keinginan dalam memenuhi keperluan untuk meningkatkan prestasi bahan ini telah mendorong para pengkaji seluruh dunia menggiatkan usaha mereka untuk mencari satu bahan baru yang lebih baik. Komposit adalah satu bahan yang mampu menghadapi segala cabaran-cabaran ini, yang mana sifatnya boleh digubah dengan satu kemungkinan bagi menyediakan satu bahan untuk kegunaan di dalam pelbagai keadaan dan lapangan pengaplikasian.

Plastik diperkuat-gentian atau *fiber-reinforced plastic* adalah merupakan satu bahan komposit yang sangat popular dan telah mendapat perhatian sejak dari Perang dunia ke-2 lagi [Cheremisinoff, 1990]. Komposit gentian sintetik (misalnya kaca, aramid, boron dan karbon) telah mula digunakan di dalam lapangan kritikal seperti ruang angkasa dan pemasangan bahan nuklear sejak dari dahulu lagi. Sehingga kini, bahan-bahan komposit ini telah memainkan peranan penting dan penyumbang terhadap kemajuan ruang angkasa, automotif, pembinaan, alatan persukanan dan sebagainya [Paul *et al.*, 2003; Tolinski, 2005; Bellman *et al.*, 2005].

Menurut Schwartz (1992), komposit adalah merupakan satu idea yang menggabungkan bahan kimia atau elemen-elemen berstruktur (bahan-bahan polimer komposit) yang boleh dihasilkan melalui pelbagai keadah. Bagi tujuan kejuruteraan, konsep ini perlu dihadkan supaya ia dapat diaplikasikan ke atas permasalahan yang wujud pada hari ini. Definisi

komposit yang terlalu luas dan bebas ini (iaitu dari segi campuran bahan mentah, pembentukan, nisbah campuran, taburan dan orientasi) tidak boleh digunakan semudahnya sehingga suatu pembelajaran dan penyelidikan mengenai bahan komposit itu sendiri dilakukan. Ini kerana teknologi dalam penghasilan dan pengkombinasian pelbagai bahan asas masih baru dan belum sempurna serta memerlukan keprihatinan terhadap pemprosesan dan kebolegunaan sesuatu hasil. Hal ini telah mencetuskan pelbagai aktiviti berkaitan dengan penyelidikan terhadap pemprosesan dan kebolegunaan sesuatu hasil yang giat dilakukan oleh para penyelidik tempatan dan luar negara.

Bahan-bahan polimer komposit yang digunakan dalam pembuatan komposit biasanya akan mempamerkan sifat-sifat yang menarik dan nyata. Dua atau lebih bahan-bahan yang digabungkan secara bijaksana, akan menghasilkan suatu produk yang lebih baik daripada bahan itu sendiri dari segi sifat-sifat yang ditunjukkan. Kenyataan ini adalah jelas dan diketahui ramai, akan tetapi konsep yang mudah ini memberikan satu jalan pemikiran yang berguna dan lagi berevolusi mengenai perkembangan dan aplikasi bahan mentah asas. Dengan hanya menonjolkan pendekatan terhadap bahan mentah, barulah kita boleh mengetahui kepentingan dan potensi yang luas bagi bahan komposit.

Bahan komposit yang menggabungkan dua atau lebih bahan asas akan menunjukkan sifat-sifat yang berlainan dan selalunya lebih efisien daripada bahan asalnya. Keunikan bahan ini mendorong kepada berlakunya pembangunan dan kemajuan yang berulang-ulang lebih daripada beberapa dekad yang lalu, serta telah berjaya meningkatkan kemampuan dalam penggunaannya sebagai komponen kejuruteraan dan juga berstruktur. Bahan komposit ini juga, telah digunakan dalam pelbagai lapangan atau sektor pembuatan seperti industri

nuklear, aeroangkasa, kenderaan pengangkutan, sistem senjata tentera, alatan persukanan dan hiburan, bangunan dan sebagainya.

2.1.1 Sejarah

Menjejak sejarah bahan komposit adalah seperti melihat atau mengimbas kembali kepada perkembangan tamadun itu sendiri. Pemetakan rangkakerja mengenai kronologi kemunculan atau penggunaan berekod bahan kompleks secara amnya, memberi perspektif yang sebenar mengenai penggunaan awal komposit polimer kejuruteraan. Ia juga agak menarik untuk diperhatikan sebagai salah satu bahan 'buatan khas' yang terawal muncul.

Penggunaan bahan-bahan komposit telah bermula sejak dari beberapa abad yang lalu. Batu bata yang telah dikering matahari dan juga barang-barang tembikar pada sekitar 5000 SM mungkin diklassifikasikan sebagai komposit pada masa itu. Sekitar 4000-2000 SM, masyarakat Babylon telah menggunakan polimer yang terhasil secara semulajadi seperti batu, kayu, seramik, kaca, kulit, tanduk dan gentian serta produk diperkuat bitumen. Di Mesopotamia kira-kira 2500 SM yang lalu, batu atau kon tanah liat yang dibakar, di tukul ke dalam permukaan dinding yang lembut pada tempat yang strategik telah digunakan untuk mengurangkan kesan geseran gosokkan serta menyediakan suatu ukuran perhiasan.

Gentian semulajadi juga telah digunakan sebagai bahan utama dalam penghasilan suatu komposit untuk pelbagai kegunaan. Di Mesir misalnya, kira-kira 3000 tahun yang lalu tanah liat dan tanah subur yang diperkuat jerami di keringkan di bawah matahari untuk pembuatan komposit pembinaan dinding bangunan [Zhang & Richardson, 2003; Bledzki & Gassan, 1999].

Akan tetapi minat terhadap penggunaan gentian semulajadi telah semakin berkurangan. Hal ini dipengaruhi oleh kemunculan bahan-bahan pembinaan yang lebih tahan lasak seperti besi. Menjelang tahun 60-an, pembangunan dalam bahan-bahan komposit telah bermula apabila gentian kaca dikombinasi dengan resin kaku yang kuat dihasilkan ke atas skala yang besar [Zhang & Richardson, 2003]. Komposit diperkuat gentian sintetik (terutamanya gentian kaca) memainkan peranan penting dalam pengaplikasian teknikal seperti sektor permotoran [Wollerdorfer & Bader, 1998].

Bahan komposit ini telah digunakan dalam pelbagai sektor sejak beberapa abad yang lalu. Bahan ini telah dibangunkan dan dimajukan oleh para penyelidik dunia atas sebab tiadanya bahan tunggal dan bahan struktural homogenus yang dapat memenuhi semua keperluan untuk sesuatu kegunaan ditemui. Aloi aluminium yang mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi pada berat yang rendah telah menghasilkan prestasi yang baik serta menjadi bahan utama yang digunakan dalam struktur kapal terbang sejak beberapa tahun yang lalu. Bagaimanapun, kekaratan dan kelemahan dalam aloi aluminium telah mendatangkan masalah yang mana memerlukan kos yang tinggi untuk memperbaiki atau merawatinya.

Perang dunia ke-2 turut membantu mengembangkan suatu keperluan bahan yang mempunyai sifat-sifat struktural yang dipertingkatkan. Dalam tindak balasnya, komposit berpenguat gentian telah dibangunkan; dan pada penghujung era peperangan itu, plastik diperkuat gentian kaca telah diguna dengan jayanya dalam motor roket berbalut filamen serta pelbagai kegunaan struktural lain. Bahan ini telah digunakan secara meluas dalam sekitar tahun 1950-an dan pada mulanya dilihat menjadi satu-satunya pendekatan yang dapat digunakan dalam penghapusan kekaratan dan pembentukan keretakan pada struktur berprestasi-tinggi. Walaupun lebih banyak pembangunan terkini dalam bahan

metalik yang menjadi bahan utama dalam penyelesaian tertentu bagi masalah tersebut, komposit diperkuat gentian masih mampu menyediakan kelebihan-kelebihan kuat yang lain kepada para pereka-bentuk dan juga pengusaha kilang.

Minat terhadap gentian lignoselulosik walaubagaimanapun wujud semula kira-kira 20 tahun yang lalu [Joshi *et al.*, 2003]. Penggunaan gentian lignoselulosik adalah paling biasa digunakan sebagai bahan ganti bagi gentian sintetik. Kesedaran yang timbul hasil daripada penelitian dalam pelbagai aspek seperti keselamatan, penjagaan alam sekitar, kesihatan serta penjimatan kos telah mencetuskan idea baru dalam pencarian suatu inisiatif lain bagi gentian sintetik ini. Isu persekitaran serta kos yang rendah bagi sumber semulajadi seperti gentian daripada sisa pertanian dan gentian daripada tumbuh-tumbuhan lain telah menarik minat para penyelidik dunia untuk menjadikan ia sebagai suatu pengisi ataupun bahan penguatan dalam komposit kejuruteraan. Gentian-gentian ini telah ditaksirkan sebagai suatu sumber yang mesra alam serta alternatif baru bagi gentian kaca.

Perubahan ini juga turut dipengaruhi oleh penggunaan gentian sintetik yang telah mendatangkan pelbagai masalah terutamanya berkaitan alam sekitar. Walaupun bahan sintetik ini telah menyumbang banyak faedah kepada masyarakat melalui pelbagai kelebihan dan keselesaan kepada kehidupan manusia, bahan ini turut memberikan bebanan terutamanya ke atas alam sekitar melalui setiap langkah penghasilannya [Li *et al.*, 1998]. Sebagai contoh, pembuatan gentian kaca ini adalah sangat bergantung kepada bahan api fosil yang mana pembakarannya akan membebaskan sejumlah besar CO₂ ke dalam atmosfera [Joshi *et al.*, 2003]. Kesan rumah hijau dilihat sebagai salah satu kesan dari fenomena pembebasan gas CO₂ hasil daripada pembakaran produk bahan api ini (contohnya petroleum). Keadaan ini nyata berbeza dengan CO₂ semulajadi pada gentian

lignoselulosik yang mana ianya lebih menarik dan memberi faedah kepada alam sekitar [Wambua *et al.*, 2003].

Kini, kebangkitan dalam penggunaan gentian lignoselulosik sebagai suatu bahan penguatan dalam pengaplikasian teknikal sedang mendapat tempat terutamanya dalam industri pembuatan produk pengguna dan automotif. Dalam industri automotif misalnya, sisa tekstil telah digunakan sebagai penguat plastik dalam pembuatan kereta; terutamanya di Trabant [Bledzki & Gassan, 1999].

2.2 Definasi Komposit

Terdapat banyak takrifan yang telah diberikan ke atas komposit. Definasi dalam literatur juga adalah berbeza dengan begitu meluas sekali. Sehingga kini, masih tiada satu definasi menyeluruh mengenai bahan komposit. Dalam kamus dan penggunaan harian, istilah komposit merujuk kepada suatu benda yang dibuat daripada pelbagai bahagian atau komponen. Apabila rekaan terhadap definasi bahan komposit dimulakan dalam penyesuaian dengan idea ini, beberapa definasi yang mungkin bersesuaian telah digunakan seperti:

1. Secara umumnya, komposit adalah bahan kejuruteraan yang mengandungi dua atau lebih gabungan bahan yang dapat memberikan sifat-sifat yang lebih bagus dari sifat-sifat bahan yang berasingan secara individu.
2. 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.

3. Sebagai satu makrostruktur, komposit-komposit boleh didefinisikan sebagai bahan-bahan yang menggabungkan bahan-bahan struktural untuk mendapatkan sifat-sifat kekuatan dan kekakuan. Contohnya pengukuhan dan elemen matriks.

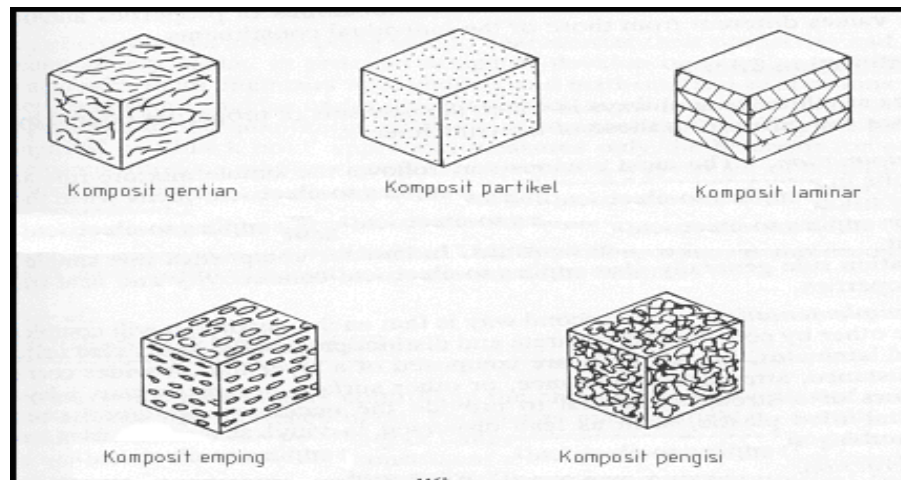
Satu definisi yang bersesuaian dengan bahan komposit yang mengambilkira bentuk struktural dan komposisi unsur-unsur bahan digunakan. Menurut Schwartz (1992), bahan komposit adalah satu bahan yang terdiri daripada kombinasi bahan-bahan mentah yang berbeza pada komposisi atau bentuk berdasarkan satu skala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

2.3 Pengkelasan bagi Komposit

Berdasarkan kepada definisi komposit, bahan ini boleh dihasilkan melalui sebarang pengkombinasian dua atau lebih bahan samada metalik, organik ataupun tak organik. Komposit ini boleh diketogorikan di bawah tiga kumpulan utama mengikut kegunaan bahan matriks iaitu berasaskan polimer, metal dan seramik. Komposit-komposit ini berbeza pada sifat serta cirinya [Cheremisinoff, 1990].

Selain itu, satu pengkelasan mudah turut digunakan melalui pengkombinasian bahan asas pengisi atau penguat serta bentuk dan struktur unsur-unsurnya. Bentuk unsur-unsur yang telah digunakan secara meluas dalam bahan komposit adalah gentian, partikel, laminar atau lapisan, emping, pengisi dan matriks. Umumnya, bahan komposit dikelaskan berdasar kepada morfologi unsur penguat dan matriks. Menurut Khalil & Rozman (2004), terdapat lima kelas umum bagi komposit iaitu (Rajah 2.1):

1. Komposit gentian, terhasil daripada gentian bersama atau tanpa matriks.
2. Komposit emping, terhasil daripada kepingan emping bersama atau tanpa matriks.
3. Komposit partikel, terhasil daripada partikel bersama atau tanpa matriks.
4. Komposit terisi, terhasil daripada skeletal berterusan terisi matriks melalui bahan kedua.
5. Komposit laminar, terhasil daripada kepingan-kepingan laminar.



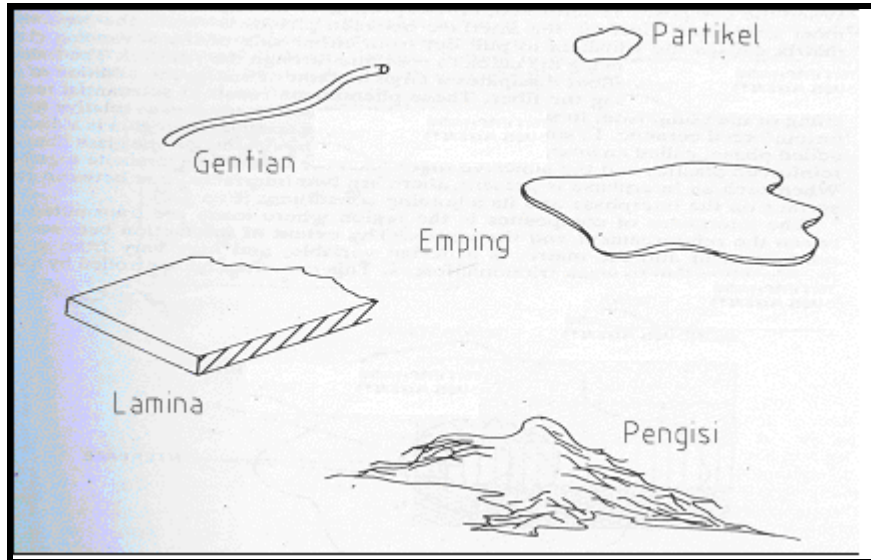
Rajah 2.1 Klassifikasi komposit [Schwartz, 1992]

Selain itu, terdapat beberapa sistem pengelasan lain yang turut digunakan. Pengelasan ini adalah (i) berdasarkan kombinasi bahan asas, contohnya logam-organik atau logam-tak organik; (ii) berdasarkan sifat-sifat bentuk utamanya, contohnya sistem matriks atau lamina; (iii) berdasarkan taburan unsur-unsur, contohnya berterusan atau tidak berterusan; (iv) berdasarkan fungsinya, contohnya elektrik atau struktural.

2.4 Unsur-Unsur Komposit

Umumnya, komposit boleh dibentuk daripada sebarang kombinasi dua atau lebih bahan atau unsur, samada bahan logam, bahan organik atau bahan tak organik. Walaupun

pengkombinasian bahan-bahan dalam komposit tidak terhad, bentuk bahan ataupun unsur yang boleh digunakan adalah lebih terbatas. Bentuk unsur-unsur yang biasa dan banyak digunakan dalam bahan komposit adalah seperti gentian, partikel, lamina, emping, pengisi dan juga matriks (Rajah 2.2).



Rajah 2.2 Perbezaan bentuk unsur-unsur di dalam komposit [Schwartz, 1992]

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

2.5 Kelakuan atau Prestasi Komposit

Menurut Schwartz (1992), kelakuan dan sifat-sifat komposit ditentukan oleh:

- i. bahan mentah unsur-unsur yang bergabung
- ii. bentuk dan struktur bagi taburan unsur-unsur
- iii. interaksi antara unsur-unsur

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

Struktur dan bentuk geometrik unsur-unsur juga menyumbangkan peranan penting kepada sifat-sifat komposit. Bentuk dan saiz individu, aturan struktur dan taburan, serta kuantiti setiap bahan mentah adalah faktor penting yang menyumbang kepada prestasi komposit pada keseluruhannya. Pembolehubah inilah yang menjadikan komposit sebagai satu bahan yang dapat mencorakkan sifat-sifatnya tersendiri serta serba-guna.

Kesan kombinasi atau interaksi unsur-unsur mungkin mempunyai pengaruh yang meluas terhadap kelakuan serta prestasi ke atas penggunaan komposit. Sifat-sifat gabungan komposit adalah berbeza-beza memandangkan bahan ini merupakan campuran atau kombinasi unsur-unsur berlainan samada 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 dari yang wujud pada unsur individu.

Terdapat tiga cara di mana sifat-sifat baru yang ditunjukkan oleh komposit boleh berbeza daripada yang terdapat pada unsur-unsur individu [Schwartz, 1992].

- i) Campuran (*summation*): cara yang paling jelas mengikut peraturan campuran yang ringkas dan akan menunjukkan campuran sifat-sifat individu. Hal ini berlaku apabila sumbangan daripada setiap jenis unsur-unsur adalah tidak bergantung antara satu sama lain.
- ii) Kepelengkapan (*complementation*): menurut cara ini, setiap unsur akan melengkapi yang lain dengan menyumbangkan sifat-sifat yang berasingan dan cemerlang.
- iii) Interaksi (*interaction*): cara ini wujud apabila sifat-sifat dan prestasi yang ditunjukkan oleh suatu unsur adalah bergantung kepada sifat dan aksi unsur yang lain. Suatu unsur akan 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 kebersanan pada kawasan antara muka. Zhang & Richardson (2003), menyatakan bahawa sifat dan ciri bagi antara-muka ini juga dianggap sebagai satu jenis fenomena perekatan dan selalunya di taksirkan 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 terikat yang mana merupakan faktor terbesar yang perlu dipertimbangkan apabila peningkatan dalam kekuatan ikatan diambil berat [Khalil & Rozman, 2004]. Ciri-ciri ini juga akan 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 unsur-unsur atau antara permukaan tersebut dengan fasa pengikat [Schwartz, 1992; Zhang & Richardson, 2003].

2.6 Kelebihan Komposit

Hari ini, bahan komposit telah menjadi bahan kejuruteraan dan bahan komoditi penting yang telah digunakan bagi menghasilkan pelbagai jenis produk seperti tangki air, paip, kabel, komponen-komponen kapal terbang, kapal dan lain-lain. Komposit ini mampu memenuhi keperluan pelbagai rekabentuk dengan penjimatan berat yang signifikan serta nisbah kekuatan kepada berat yang tinggi jika dibandingkan dengan bahan konvensional. Beberapa kelebihan bahan komposit berbanding bahan konvensional adalah:

1. Kekuatan tensil komposit adalah 4 ke 6 kali ganda lebih baik dari besi atau aluminium
2. Tahap ketahanan kelesuan yang lebih tinggi (sehingga 60% daripada kekuatan tensil muktamad)
3. 30-45% lebih ringan daripada struktur aluminium yang direka bagi keperluan fungsi yang sama
4. Komposit adalah lebih versatil dari besi dan boleh diolah untuk memenuhi keperluan prestasi dan rekabentuk yang kompleks
5. Jangka hayat yang panjang memberikan ketahanan kelesuan, impak dan ketahanan alam sekitar yang sangat baik
6. Komposit mempunyai kos kitar hayat yang lebih rendah berbanding besi
7. Komposit menunjukkan ketahanan hakisan yang baik dan kalis api

2.7 Komposit Plastik Diperkuat Gentian

Pada hari ini, komposit plastik terkuat gentian sedang bersaing dengan bahan-bahan tradisional lain seperti besi, kayu, aluminium dan konkret. Bahan komposit ini telah

digunakan dalam pelbagai sektor seperti automobil, pembuatan bot dan kapal terbang, bahan binaan serta pembuatan berbagai-bagai produk perkilangan. Penggunaan bahan ini adalah bertujuan untuk memenuhi keperluan tertentu di samping kurangnya minat terhadap bahan-bahan konvensional yang telah dinyatakan di atas. Sifat mekanikal spesifik yang cemerlang (nisbah kekuatan tinggi kepada berat), rintangan kekaratan serta kos yang rendah juga menjadikan bahan ini sebagai suatu bahan penting yang dapat memenuhi keperluan pelbagai rekabentuk produk yang ingin dihasilkan.

Sifat-sifat komposit plastik terkuat gentian ini disumbangkan oleh unsur-unsur utama yang digunakan dalam pembentukannya. Selalunya, ia terdiri daripada suatu gentian penguatan yang mempunyai modulus serta kekuatan tinggi dan terbenam di dalam matriks dengan suatu kawasan antara fasa dan antara muka yang nyata di antara kedua-dua unsur tersebut. Ketiga-tiga elemen komposit ini memainkan peranan penting dalam menentukan prestasi suatu komposit itu. Setiap elemen ini haruslah mempunyai bentuk sifat yang sesuai agar dapat berfungsi secara individu dan berkumpulan bagi membolehkan komposit memenuhi segala keperluan sifat-sifat yang diinginkan.

2.7.1 Matriks

Matriks adalah salah satu unsur terpenting dalam komposit gentian. Unsur ini menyumbangkan dua fungsi yang sangat penting iaitu:

- i) ia memegang bersama fasa gentian dalam satu tempat
- ii) di bawah daya yang dikenakan, ia akan mengalami kegagalan dan menyebarkan tegangan kepada unsur-unsur gentian yang mempunyai modulus tinggi

Matriks merupakan satu laluan lemah di dalam komposit, terutamanya kerana pada masa ini masih belum wujud lagi resin yang dapat mempergunakan tekanan yang dapat 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. Walaubagaimanapun, matriks membolehkan banyak fungsi yang diperlu 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 serta 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 akan memastikan suatu komposit itu dapat berfungsi dan berkerja dengan baik serta mempamerkan prestasi yang cemerlang.

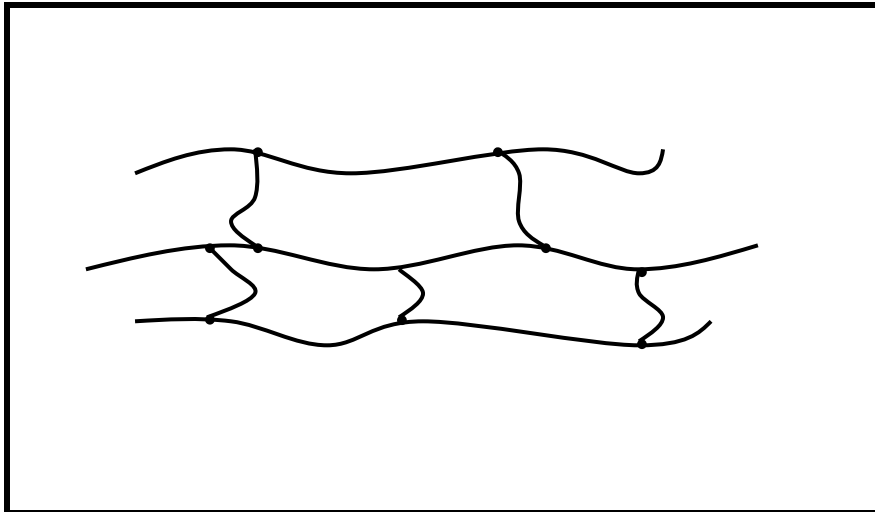
Secara umumnya, matriks boleh dibahagikan kepada dua jenis yang utama dan paling banyak digunakan iaitu resin termoset dan resin termoplastik. Pemilihan matriks ini biasanya bergantung kepada keperluan akhir penggunaan komposit tersebut. Sebagai

contoh, keperluan ke atas sifat-sifat rintangan terhadap bahan kimia dan suhu bagi suatu bahan komposit, resin termoset adalah lebih baik berbanding dengan resin termoplastik. Namun, jika suatu bahan komposit dengan sifat kemusnahan yang tinggi dan kebolehkitaran semula diperlukan, resin termoplastik lebih memenuhi kriteria ini.

2.7.1.1 Termoset

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 termatang, satu rangkaian ikatan tiga dimensi (Rajah 2.3) 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 dari berlaku pada rantai molekulnya di samping membawa kepada kestabilan dimensi, rintangan suhu tinggi serta rintangan terhadap pelarut [Schwartz, 1992].

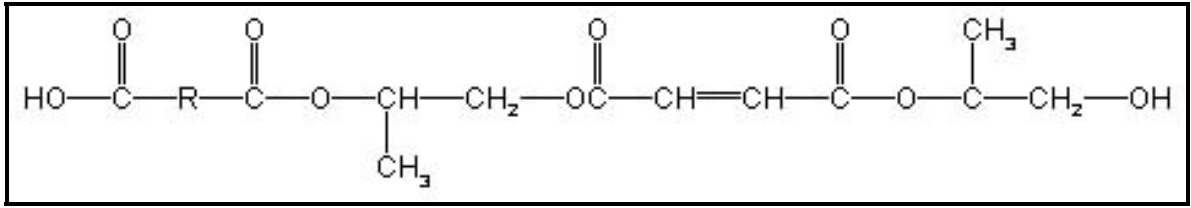
Resin termoset yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit ialah poliester, vinil ester epoksi dan polimida. Poliester tak tepu merupakan resin termoset yang biasa digunakan dalam plastik diperkuat gentian (FRP), namun di alam pasaran kebanyakannya adalah epoksi bagi resin komposit termaju [Schwartz, 1992]. Keterikan yang rendah terhadap kegagalan semasa pematangan, memiliki sifat kekakuan tinggi serta kemampuan untuk membasahi bungkusan gentian panjang menyumbang kepada penggunaan yang meluas bagi kedua-dua resin ini di pelbagai lapangan pengaplikasian komposit [Cheremisinoff, 1990]. Dengan mengambil kira kesan kos perbelanjaan, poliester dilihat telah memadai untuk memenuhi jangkaan bagi pengaplikasian bertujuan umum.



Rajah 2.3 Struktur polimer termoset [Schwartz, 1992]

2.7.1.2 Resin Poliester Tak Tepu

Resin poliester tak tepu merupakan resin yang paling popular dan diminati dalam pembuatan komposit. Poliester yang biasa digunakan untuk laminasi adalah likat dan berwarna kuning pucat serta mempunyai darjah polimerisasi yang rendah (DP) ($\sim 8 - 10$) seperti berat molekul 2000 [Khalil & Rozman, 2004]. Poliester tak tepu adalah merupakan suatu oligomer yang terhasil dari tindakbalas yang berlaku di antara campuran asid anhidrida, asid-asid, anhidrida tak tepu dan alkohol (Rajah 2.4). Poliester jenis ini mempunyai ikatan-ikatan dubel pada rantai tulang belakang polimer dan ia juga terdiri daripada polimer-polimer yang berberat molekul rendah. Proses pematangan (penghasilan polimer berberat molekul tinggi dan tersambung silang) dihasilkan melalui menindakbalaskan resin ini dengan monomer tak tepu (selalunya, stirena) dengan kehadiran pemula tindakbalas peroksida (contohnya Metil Etil Keton Peroksida). Asid tidak tepu memberikan tapak-tapak untuk sambung silang manakala kehadiran asid tepu pula mengurangkan bilangan tapak untuk sambung silang dan menyebabkan kerapuhan produk akhir.



Rajah 2.4 Satu campuran asid anhidrida, asid-asid, anhidrida tak tepu dan alkohol untuk membentuk poliester [Khalil & Rozman, 2004]

Resin-resin poliester tak tepu dihasilkan dengan banyaknya secara industri kerana ia mempunyai kelebihan yang tersendiri berbanding dengan bahan-bahan termoset yang lain. Poliester tak tepu matang melalui tindakbalas polimer yang boleh menyebabkan sambung silang antara rantai-rantai linear polimer individu. Jika dibandingkan dengan bahan-bahan termoset yang lain, poliester tidak menghasilkan produk sampingan sewaktu tindakbalas pematangan yang membolehkan ia dibentuk menggunakan acuan dan dilaminasi pada tekanan dan suhu yang rendah.

Secara umumnya, sifat semulajadi asid anhidrida memberikan pengaruh yang kuat ke atas sifat-sifat poliester yang terhasil. Jadual 2.1 menunjukkan anhidrida yang berbeza dan penggunaannya. Pencair, selain daripada mengurangkan kelikatan dan memperbaiki pengaliran, juga dapat memberikan perbezaan dalam sifat-sifat poliester. Pematangan poliester biasanya adalah berdasarkan tindakbalas polimerisasi radikal bebas yang dimulakan oleh peroksida. Untuk mengawal tindakbalas, pemangkin, penggalak dan inhibitor digunakan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.2. Tempoh pengegelan yang mempunyai julat yang besar juga boleh didapati dengan menggunakan resin dan pengaktif dan inhibitor yang berlainan.

Jadual 2.1: Komponen-komponen resin poliester [Khalil & Rozman, 2004]

Anhidrida	Pencair	Kegunaan
o – ftalik	Stirena Dwialifalat	Tujuan am, bahan elektrik kos rendah, tidak mudah bertukar menjadi wap
Isoftalik	Stirena	↑ < P > Sifat yang tinggi
	Vinil, toluena MMA	↑ < P > Tidak mudah bertukar menjadi wap apabila didedahkan pada alam sekitar
Isoftalik & BFA	Stirena	Untuk produk yang mengalami kakisan yang tinggi ↑ < R > (reologi yang bagus)
Tetrabromoftalat	Stirena	Tidak mudah terbakar

Struktur dan sifat-sifat resin poliester tak tepu adalah bergantung kepada ketumpatan sambung silang dan kekakuan molekul-molekul yang terdapat di antara setiap sambung silang. Kekekapan sambung silang adalah dikawal dengan menukar nisbah asid-asid tepu dan tak tepu. Ini adalah kerana kekakuan ditentukan oleh struktur asid tepu yang digunakan.

Jadual 2.2: Inhibitor pemangkin-penggalak untuk pematangan pada suhu bilik [Brydson, 1989]

Kegunaan	Sistem	Tempoh pengegelan @ T_{bilik} $\approx 30 \% W_f$
Penglitup gel	(MEKP), 1.5; Kobalt naftenat (Co), 0.4;	30
Resin kegunaan biasa	(MEKP), 1.0; (Co), 0.4;	32