

**KOMPOSIT POLIESTER TAK TEPU – SEKAM PADI :  
KESAN PENCUACAAN TERHADAP  
SIFAT MEKANIKAL KOMPOSIT**

**oleh**

**RAHMATUNNISA BINTI SUFIAN SURI**

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

**JANUARI 2009**

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah dan syukur dipanjatkan ke hadrat Allah SWT kerana dengan limpah dan izinNya maka dapatlah saya menyiapkan projek penyelidikan ini dan seterusnya menyiapkan tesis untuk rujukan dan penilaian pihak yang terlibat buat sekian lamanya. Di kesempatan ini saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada penyelia projek iaitu Prof Rozman Hj Din yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan dan dorongan sepanjang saya menjalankan projek penyelidikan ini. Jutaan kemaafan juga dipohon di atas kelewatan saya menyiapkan tesis dalam tempoh yang ditetapkan.

Terima kasih juga kepada semua kakitangan Bahagian Teknologi Biosumber, Kertas dan Penglitup, Pn Noraida, En Zamhari, En Azhar yang telah banyak membantu menjalankan penyelidikan. Buat rakan-rakan seperjuangan; Zuliahani, Fatimah Suhaily, Zianhairani, Tay Guan Seng, Norwahida dan lain-lain yang sering membantu dan berbincang ketika menghadapi masalah, jutaan terima kasih diucapkan.

Akhir sekali, hasil tesis ini ditujukan kepada keluarga tersayang terutama ibuku; Mardziah Hj. Idris dan bapaku; Sufian Suri Hj. Ismail serta adik-adikku kerana doa dan pengorbanan mereka. Buat suami tercinta; Shahrilzaila Hj. Mohd Arif serta anak-anak tersayang Nurbatrisyia Sabihah dan Abdul Rahman Fakhrullah, terima kasih kerana memahami dan memberi sokongan dan semangat kepadaku hingga selesai kerja penyelidikan dan tesis.

Sekian.

## SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>ii</b>
<b>SUSUNAN KANDUNGAN</b>	<b>iii</b>
<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>vi</b>
<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>vii</b>
<b>SENARAI SIMBOL</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 : PENGENALAN</b>	
<b>1.1 Pengenalan</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objektif</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2 : TINJAUAN LITERATUR</b>	
<b>2.1 Komposit</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Kelebihan Komposit</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Matriks</b>	<b>6</b>
<b>2.1.3 Pengisi</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Sifat Komposit</b>	<b>8</b>
<b>2.1.5 Aditif</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Komposit Poliester Tak Tepu</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 Resin Poliester Tak Tepu</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Agen Pelincir</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 Agen Penglikat</b>	<b>15</b>
<b>2.2.4 Pemangkin</b>	<b>18</b>

<b>2.3</b>	<b>Sekam Padi</b>	<b>19</b>
2.3.1	Morfologi	21
2.3.2	Sifat Fizikal	22
2.3.3	Kandungan Kimia	22
2.3.4	Sifat Kimia	24
2.3.5	Kegunaan Sekam Padi	25
<b>2.4</b>	<b>Ciri-ciri Pencuacaan</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Jenis-jenis Ujian Pencuacaan</b>	<b>29</b>

### **BAB 3: UJIKAJI**

<b>3.1</b>	<b>Ujikaji</b>	<b>31</b>
3.1.1	Pelarut Organik	31
3.1.2	Tert-butyl Perbenzoat	32
3.1.3	Metil Etil Keton Peroksida(MEKP)	33
3.1.4	Kobalt Oktanoat	33
3.1.5	Zink Stearat	34
3.1.6	Magnesium Oksida	34
3.1.7	Resin Poliester Tak Tepu	34
3.1.8	Penstabil UV	35
3.1.9	Sekam Padi	35
<b>3.2</b>	<b>Peralatan</b>	<b>36</b>
3.2.1	Rak Pendedahan Cuaca Semula Jadi	36
3.2.2	Mesin Pengujian Xenon	37
<b>3.3</b>	<b>Kaedah</b>	<b>37</b>
3.3.1	Penghasilan Partikel Sekam Padi	37
3.3.2	Formulasi Poliester Tak Tepu – Sekam Padi	37
3.3.3	Penghasilan Bod Komposit	38
3.3.4	Pendedahan Cuaca Semula Jadi	39
3.3.5	Mesin Pengujian Xenon	40

<b>3.4</b>	<b>Pengujian</b>	<b>41</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Analisis Imej</b>	<b>41</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Pengujian Sifat Mekanikal</b>	<b>41</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Mikroskop Penskanan Elektron (SEM)</b>	<b>45</b>
<b>BAB 4 :</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
<b>4.1</b>	<b>Taburan Saiz Sekam Padi</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Ujian Fleksural</b>	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>Ujian Tensil</b>	<b>58</b>
<b>4.4</b>	<b>Ujian Hentaman</b>	<b>72</b>
<b>4.5</b>	<b>Ujian Pecutan Kadar Penguasaan</b>	<b>74</b>
<b>4.6</b>	<b>Analisis SEM</b>	<b>81</b>
<b>BAB 5 :</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN MASA HADAPAN</b>	
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan</b>	<b>86</b>
<b>5.2</b>	<b>Cadangan Kajian Masa Hadapan</b>	<b>89</b>
<b>BAB 6 :</b>	<b>RUJUKAN</b>	<b>91</b>

## SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Jenis aditif yang digunakan dalam penghasilan komposit	12
Jadual 2.2	Kandungan kimia dalam Sekam Padi	22
Jadual 2.3	Analisis Sekam Padi	23
Jadual 2.4	Analisis sekam padi	24
Jadual 2.5	Perbandingan komposisi antara sekam padi dan sekam Oat	24
Jadual 3.1	Jadual formulasi bahan untuk membuat bod komposit tanpa penstabil UV	38
Jadual 3.2	Jadual formulasi bahan untuk membuat bod komposit dengan penstabil UV	38

## SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 2.1	Tindak balas Penglikatan Poliester	17
Rajah 2.2	Mekanisme degradasi polimer	28
Rajah 3.1	Sampel-sampel yang diletakkan di atas rak pendedahan cuaca	36
Rajah 4.1	Taburan saiz (panjang) SP dalam julat nombor mesh 35-60	46
Rajah 4.2	Taburan saiz (garis pusat) SP dalam julat nombor mesh 35-60	47
Rajah 4.3	Taburan nisbah aspek SP dalam julat nombor mesh 35-60	47
Rajah 4.4	Kekuatan Fleksural Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	48
Rajah 4.5	Kekuatan Fleksural Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	49
Rajah 4.6	Modulus Fleksural Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	53
Rajah 4.7	Modulus Fleksural Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	54
Rajah 4.8	Keliatan Fleksural Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	56
Rajah 4.9	Keliatan Fleksural Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	57
Rajah 4.10	Kekuatan Tensil Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	58
Rajah 4.11	Kekuatan Tensil Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	59
Rajah 4.12	Modulus Tensil Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	62

Rajah 4.13	Modulus Tensil Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	63
Rajah 4.14	Keliatan Tensil Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	65
Rajah 4.15	Keliatan Tensil Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	66
Rajah 4.16	Mekanisme rantaian polimer musnah	68
Rajah 4.17	Pemanjangan Pada Takat Putus Komposit Poliester-SP Tanpa Penstabil UV	69
Rajah 4.18	Pemanjangan Pada Takat Putus Komposit Poliester-SP Dengan Penstabil UV	70
Rajah 4.19	Kekuatan Hentaman Komposit Poliester – SP Tanpa Penstabil UV dan Dengan Penstabil UV	72
Rajah 4.20	Kekuatan Tensil Komposit Poliester – SP Tanpa Penstabil UV dan Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Proses Pecutan Kadar Penucaaan	74
Rajah 4.21	Modulus Tensil Komposit Poliester – SP Tanpa Penstabil UV dan Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Proses Pecutan Kadar Penucaaan	76
Rajah 4.22	Pemanjangan Pada Takat Putus Komposit Poliester – SP Tanpa Penstabil UV dan Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Proses Pecutan Kadar Penucaaan	77
Rajah 4.23	Keliatan Tensil Komposit Poliester – SP Tanpa Penstabil UV dan Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Proses Pecutan Kadar Penucaaan	78
Rajah 4.24	Mekanisme Degradasi Polimer	80
Rajah 4.25	Komposit SP (55% SP) Tanpa Penstabil UV Yang Mengalami Pendedahan Cuaca Selama 6 bulan	81



Rajah 4.26	Komposit SP (55% SP) Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Pendedahan Cuaca Selama 6 bulan	81
Rajah 4.27	Komposit SP (55% SP) Tanpa Penstabil UV Yang Tidak Mengalami Pendedahan Cuaca	82
Rajah 4.28	Komposit SP (55% SP) Dengan Penstabil UV Yang Tidak Mengalami Pendedahan Cuaca	82
Rajah 4.29	Komposit SP (55% SP) Tanpa Penstabil UV Yang Mengalami Pendedahan Cuaca di dalam Mesin Pengujian Xenon	83
Rajah 4.30	Komposit SP (55% SP) Dengan Penstabil UV Yang Mengalami Pendedahan Cuaca di dalam Mesin Pengujian Xenon	83

## SENARAI SIMBOL

CaCO <sub>3</sub>	Kalsium Karbonat
CaO	Kalsium Oksida
EFB	Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit
IR	Infra Merah
MEKP	Metil Etil Keton Peroksida
MgO	Magnesium Oksida
NA	Nombor Asid
NaOH	Natrium Hidroksida
OH	Kumpulan Hidroksida
SEM	Mikroskop Penskanan Elektron
SMC	Sebatian Acuan Kepingan
SP	Sekam Padi
TBP	Tert-Butil Perbenzoat
UV	Ultra Ungu

**KOMPOSIT POLIESTER TAK TEPU – SEKAM PADI :**  
**KESAN PENCUACAAN TERHADAP**  
**SIFAT MEKANIKAL KOMPOSIT**

**ABSTRAK**

Dalam kajian ini, 2 jenis komposit poliester tak tepu dengan sekam padi (SP) sebagai pengisi telah dihasilkan iaitu komposit yang mengandungi penstabil ultra ungu (UV) dan komposit tanpa penstabil ultra ungu (UV). 4 jenis peratusan pengisi SP digunakan iaitu 45%, 50%, 55% dan 60%. Kesemua komposit menjalani pengujaan semula jadi selama 2 bulan, 4 bulan dan 6 bulan. Pecutan kadar pengujaan dengan menggunakan mesin pengujian xenon dibuat ke atas kesemua sampel. Kesemua sampel yang telah menjalani tempoh pengujaan semula jadi dan yang mengalami kadar pecutan pengujaan diuji sifat mekanikalnya. Sifat mekanikal yang diuji ialah ujian tensil, fleksural dan hentaman. Kekuatan hentaman komposit meningkat dengan pertambahan peratusan pengisi. Komposit dengan penstabil UV memberikan nilai kekuatan hentaman yang tinggi kerana kehadiran penstabil UV yang dapat melambatkan perosotan sesuatu ikatan polimer. Keputusan ujian tensil dan fleksural juga menunjukkan peningkatan dengan penambahan peratusan pengisi. Komposit yang mengalami pendedahan cuaca selama 6 bulan menunjukkan sifat mekanikal yang rendah. Keputusan ujian tensil ke atas sampel yang mengalami pecutan kadar pengujaan memberikan nilai yang konsisten. Secara keseluruhannya, komposit yang mengalami pendedahan cuaca selama 6 bulan dan tidak mengandungi penstabil UV menunjukkan sifat mekanikal yang rendah.

**UNSATURATED POLYESTER- RICE HUSK COMPOSITE :**  
**THE EFFECTS OF WEATHERING TO THE**  
**MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE**

**ABSTRACT**

In this research, 2 types of unsaturated polyester resin composite with rice husks as a filler , with UV stabilizer and composite without UV stabilizer have been produced. There were 4 different percentage of filler that had been used. Those are 45%, 50%, 55% and 60%. All of the samples, had been exposed to the natural weathering for 2 months, 4 months and 6 months. Accelerated weathering test also had been done to the samples by using Xenon Test Chamber. Mechanical testing is done on the samples that had been exposed to the natural weathering and accelerated weathering in xenon test chamber. The mechanical properties that had been tested are tensile, flexural and impact. Composites with UV stabilizer shows high value of impact result. The presence of UV stabilizer decreases the deterioration of the chain of polymer chains. Composites that have been exposed to natural weathering for 6 months show poor results. The tensile test result for samples that have been exposed to the accelerated weathering shows consistent results. Overall, composites that have been exposed for 6 months and without UV stabilizer shows poor mechanical result.

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Pengenalan**

Penghasilan komposit daripada kayu atau jenis lignoselulosa lain sebagai pengisi dan bahan penguat sering mendapat perhatian pada masa kini. Penggunaan bahan lignoselulosa mempunyai beberapa kelebihan berbanding pengisi tak organik yang lain iaitu ketumpatan rendah, deformabiliti yang tinggi, kurang merosakkan alatan semasa pemprosesan, kurang rangsangan terhadap kulit dan pernafasan, bekalan sumber yang banyak dan boleh diperbaharui dan kos pengeluaran bahan mentah yang rendah (Felix et al., 1991; Tan, 2003; Sabu, 2002; Visconti, 1992). Pengisi lignoselulosa banyak diperolehi daripada penggunaan semula sisa terbuang dan sekaligus dapat mengurangkan pencemaran alam sekitar yang berpunca daripada ketidaksempurnaan pengurusan biojisim bahan ini. Bahan lignoselulosa merupakan komponen polimer tiga dimensi yang terdiri daripada bahan utama seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Komposit poliester tak tepu sangat luas digunakan kerana kos yang murah. Ia menjadi pilihan kerana mempunyai kekuatan yang tinggi dan sifat mekanikal yang baik. Pematangan poliester tak tepu melibatkan pengkopolimeran di antara monomer stirena dan poliester tak tepu dengan kehadiran pemula organik. Poliester digunakan dalam industri disebabkan sifat mekanikalnya yang baik terutama apabila diperkuat dengan gentian atau pengisi.

Komposit termoset yang diperkukuh dengan gentian lignoselulosik adalah lebih murah jika dibandingkan dengan komposit termoset sepenuhnya. Penggunaan gentian lignoselulosik dalam komposit termoset dapat mengurangkan kuantiti polimer yang diperlukan dan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanikal komposit yang terhasil. Walau bagaimanapun, faktor perekatan antara muka yang lemah di antara gentian lignoselulosik dengan bahan matriks polimer dan keupayaan penyerapan lembapan oleh bahan lignoselulosik menyebabkan penggunaannya kurang diminati (Tan, 2003; Sabu, 2002; Rozman, 1998a&2000; Mohd Ishak, 1998).

Sekam padi adalah sisa pertanian yang boleh didapati secara mudah dan dalam jumlah yang banyak. Sisa pertanian ini kebanyakannya hanya dibakar secara terbuka di luar kawasan kilang. Keadaan ini akan mengancam alam sekitar dan ia boleh menyebabkan pencemaran udara berlaku. Penggunaan sekam padi sebagai pengisi dapat mengelakkan daripada berlakunya pembakaran terbuka serta membantu dalam mengatasi masalah yang berkaitan dengan pembuangan sekam padi (Ahmad Fuad et al., 1994b).

## **1.2 Objektif**

Dalam penyelidikan ini, penghasilan bod poliester tak tepu dengan sekam padi sebagai pengisi dijalankan. Teknik tekan panas digunakan untuk pematangan poliester tak tepu. Penggunaan suhu yang tinggi sebanyak 135°C bertindak sebagai pencepat dengan kehadiran pemangkin menyebabkan proses sambung-silang boleh berlaku. Penggunaan SP dengan peratus yang berbeza iaitu 45%, 50%, 55% dan 60% adalah bertujuan untuk mengetahui kesan peratusan pengisi yang berbeza terhadap

keserasian terhadap matriks. Selain daripada itu, bod komposit yang terhasil juga diuji sifat mekanikalnya terhadap pendedahan cuaca semula jadi selama 2 bulan, 4 bulan dan 6 bulan. Terdapat juga sampel yang diuji sifat mekanikalnya menggunakan Mesin Pengujian Xenon (Xenon Test Chamber). Ujian-ujian terhadap sifat mekanikal komposit seperti ujian lenturan dan ujian tensil dilakukan menggunakan Mesin Pengujian Instron manakala ujian hentaman dijalankan dengan menggunakan alat Ray-Ran (*Universal Pendulum Impact System*). Analisis SEM juga dilakukan terhadap sampel untuk melihat bagaimana kegagalan sampel berlaku dan taburan gentian.

Objektif kajian ini dilakukan ialah:

- 1.2.1 Menghasilkan komposit termoset – lignoselulosik dengan sekam padi (SP) sebagai pengisi utama
- 1.2.2 Mengkaji sifat-sifat mekanikal dan fizikal komposit (tanpa dan dengan penstabil UV) setelah mengalami pendedahan cuaca semula jadi selama 2 bulan, 4 bulan dan 6 bulan
- 1.2.3 Mengkaji sifat-sifat mekanikal dan fizikal komposit (tanpa dan dengan penstabil UV) setelah mengalami pecutan kadar pendedahan di dalam Mesin Pengujian Xenon (Xenon Test Chamber)

## **BAB 2**

### **TINJAUAN LITERATUR**

#### **2.1 Komposit**

Komposit ialah penggabungan dua atau lebih bahan yang berlainan untuk menghasilkan bahan baru yang mempunyai sifat yang lebih baik yang tidak dapat diperolehi oleh setiap komponennya. Komposit yang terhasil mempunyai sifat mekanik, sifat kimia, sifat termal dan pelbagai lagi sifat yang lebih baik. Komposit mula digunakan oleh manusia sejak awal abad ke-12 lagi. Pelbagai barangan keperluan harian, kegunaan kejuruteraan, bidang penerbangan, automobil, peralatan sukan, perabot dan lain-lain lagi yang diperbuat daripada komposit (Hanafi, 2004).

Komposit boleh dikelaskan kepada lima jenis berdasarkan konstituennya iaitu komposit gentian yang terdiri daripada gentian dengan atau tanpa matriks, komposit kepingan yang terdiri daripada kepingan dengan atau tanpa matriks, komposit partikel yang terdiri daripada partikel dengan atau tanpa matriks, komposit terisi atau komposit rangka yang terdiri daripada matriks rangka berselanjor yang terisi dengan bahan kedua dan komposit laminat yang terdiri daripada konstituen lapisan atau laminat (Hanafi, 2004).

Selain daripada itu, komposit juga boleh dikelaskan berdasarkan sifat dan dimensi fasa tersebarnya iaitu mikrokomposit dan makrokomposit. Dimensi fasa tersebar adalah mikroskopik yang mempunyai saiz dalam julat  $10^{-8}$  –  $10^{-6}$ . Ia dibahagikan kepada tiga jenis berdasarkan saiz dan bentuk fasa tersebar iaitu mikrokomposit menggunakan penguatan sebaran, mikrokomposit menggunakan



penguatan zarah dan mikrokomposit menggunakan penguatan gentian (Hanafi, 2004).

Untuk penguatan sebaran, matriks adalah terdiri daripada logam atau aloi manakala penguatan zarah dan gentian pula, matriks adalah terdiri daripada logam, polimer atau seramik. Contoh mikrokomposit ialah aloi logam dan termoplastik yang diperkukuhkan seperti polistirena hentaman tinggi (HIPS) dan akrilonitril butadiena stirena (ABS).

Di antara contoh makrokomposit ialah keluli tergalvan, bim konkrit diperkukuhkan, bilah helikopter dan papan ski. Kebiasaannya dimensi fasa tersebarnya mempunyai saiz makroskopik, iaitu melebihi  $10^{-6}$  m. Selain daripada komposit buatan manusia, komposit juga terdapat secara semula jadi seperti kayu, tulang, otot dan tisu tumbuhan.

### **2.1.1 Kelebihan komposit**

Komposit telah menjadi bahan kejuruteraan dan bahan komoditi yang amat penting yang telah digunakan untuk menghasilkan pelbagai produk. Kelebihan dan keistimewaan komposit ialah dari segi sifat mekanik, fizik, terma dan kimianya. Di antaranya ialah sifat kekuatan, kekakuan dan keliatan ditingkatkan, kestabilan dimensi dan suhu erotan haba ditingkatkan, peningkatan modulus spesifik (kekuatan / ketumpatan) telah menyebabkan berat komposit semakin berkurang, peningkatan rintangan ketelapan terhadap gas dan cecair, iaitu rintangan kimia dipertingkatkan dan kos pengeluaran dapat dikurangkan kerana bahan yang digunakan telah berkurang (Hanafi, 2004).

### 2.1.2 Matriks

Sesuatu komposit terdiri daripada sekurang-kurangnya dua komponen asas iaitu matriks dan pengisi. Menurut Schwartz (1997), peranan matriks adalah memegang agen pengukuh, memindahkan tegasan yang dikenakan kepada pengisi dan sebagai bahan yang akan memberikan rupabentuk akhir komposit. Matriks juga berperanan memberikan rintangan terhadap serangan alam sekitar dan melindungi permukaan gentian daripada lelasan (“*abrasion*”) secara mekanikal. Menurut Richardson (1987) pula, matriks adalah bahan yang memberikan rupabentuk dan memegang bahan pengukuh dalam komposit

Secara umumnya, matriks jenis polimer terbahagi kepada jenis termoplastik dan jenis termoset. Termoplastik adalah polimer yang linear atau bercabang menjadi tegar apabila disejukkan dan menjadi lembut apabila dipanaskan. Menurut Hull & Clyne, termoplastik tidak mempunyai struktur paut-silang. Maka kekuatan dan kekakuannya adalah disumbangkan oleh sifat unit monomer dan berat molekul. Menurut Richardson (1987) pula, termoplastik boleh dilembutkan berulang kali untuk membentuk produk yang berguna. Di antara matriks termoplastik ialah polipropilena (PP), polietilena (PE), polivinilklorida (PVC), polistirena (PS), nilon, poliester dan akrilik (Harper, 1992).

Termoset merupakan bahan yang tidak boleh dibentuk semula selepas struktur akhir terhasil. Sistem resin termoset mengandungi monomer, agen pematangan, pengeras, penghalang dan bahan pemplastik (Richardson,1987). Ia merupakan polimer yang menyambung silang untuk membentuk satu jaringan tiga dimensi. Polimer ini menjadi matang dengan bantuan mangkin atau haba dan tidak

boleh dilebur semula kepada bentuk asalnya tanpa berlaku degradasi struktur polimernya. Ikatan kovalen kuat yang hadir di antara rantai memberikan kestabilan termal yang tinggi (Richardson,1987). Kebanyakan bahan polimer rantai termoset dipaut-silangkan melalui pempolimeran yang dicapai melalui pemanasan, tekanan atau dengan kehadiran mangkin. Proses pematangan boleh dicapai pada suhu bilik atau dengan pemanasan (Hull, 1981). Kebaikan penggunaan bahan termoset ialah ia mempunyai kestabilan termal yang tinggi, rintangan terhadap ubahbentuk di bawah bebanan dan kestabilan dimensi yang tinggi dan kekakuan dan kekerasan yang tinggi (Berins, 1991). Di antara matriks termoset ialah resin alkid, fenolik, poliester, epoksi, poliuretana (PU), melamin dan urea formaldehid (UF) (Harper, 1992).

### **2.1.3 Pengisi**

Pengisi merupakan bahan yang ditambah ke dalam matriks polimer bagi meningkatkan sifat-sifat komposit. Ia merupakan bahan aditif yang ditambah bagi mengubahsuai sifat-sifat fizikal dan sifat-sifat yang diinginkan komposit. Kehadiran pengisi boleh mengurangkan kos, memodifikasikan sifat-sifat mekanikal, memberikan kesan warna atau untuk meningkatkan tekstur permukaan (Brydson, 1989),.

Sifat-sifat yang terdapat pada pengisi mempengaruhi prestasi komposit yang terhasil. Sifat-sifat pengisi yang dimaksudkan ialah bentuk partikel, taburan saiz partikel, purata saiz partikel dan sifat permukaan partikel. Bentuk partikel pengisi diterangkan sebagai nisbah aspek iaitu nisbah panjang maksimum per garis pusat sesuatu partikel (Schwartz, 1997). Bagi menunjukkan bahawa pengisi menambahkan

kekuatan, pengisi mestilah dalam bentuk gentian atau kepingan dengan salah satu dimensinya lebih panjang daripada bahagian yang lain (Balatinecz et al., 1993).

Pengisi boleh dibahagikan kepada pengisi organik dan tak organik. Contoh pengisi tak organik ialah kalsium karbonat, talkum, silika, kaolin dan sebagainya. Pengisi organik pula ialah habuk kayu, gentian selulosa, jut, lignin dan banyak lagi. Di antara gentian semula jadi yang digunakan sebagai pengisi organik untuk pembinaan komposit dalam penyelidikan Stuart et al. (1992) ialah sisal, kapas, sabut kelapa, jut, jerami gandum dan bagas. Kelebihan penggunaan gentian semula jadi ini ialah ia dapat menghasilkan komposit dengan ketumpatan spesifik rendah kerana ketumpatan gentian adalah rendah, mudah diperolehi, tidak toksid dan terdapat banyak fakta dan data saintifik berkenaan sifat dan struktur gentian ini.

#### **2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Sifat Komposit**

Sifat komposit bergantung kepada bahan pengukuh, penyebaran bahan pengukuh dan interaksi di antara matriks dengan bahan pengukuh. Menurut Richardson pula, sifat komposit bergantung kepada pengikatan permukaan antara matriks dengan gentian, sifat gentian, saiz dan bentuk gentian, peratusan gentian dalam matriks, teknik pemprosesan dan penyebaran gentian dalam matriks (Richardson, 1987).

##### **2.1.4.1 Pengikatan Antara Muka**

Menurut Schwartz (1992), antara muka dalam sesuatu komposit ialah suatu kawasan yang mana tegasan akan dipindahkan daripada matriks kepada bahan

pengukuh apabila tegasan dikenakan ke atas komposit (Schwartz, 1992), Matriks hanya dapat mengelakkan gentian bergerak dan juga memindahkan tegasan kepadanya dengan adanya pengikatan antara muka di antara matriks dengan gentian yang baik (Richardson,1987).

Takat dan had interaksi di antara bahan pengukuh dengan matriks boleh dibezakan antara pengikatan kimia yang kuat dengan daya bergeser yang lemah. Suatu pengikatan antara muka yang kuat membolehkan komposit tersebut lebih kaku, tegar tetapi rapuh, manakala pengikatan yang lemah mengurangkan kekakuan komposit tersebut. Jika pengikatan antara muka tidak sekuat atau kurang kekuatannya daripada matriks, maka rekahan dan delaminasi (*“delamination”*) akan berlaku pada antara muka (Schwartz, 1992), Dalam komposit lignoselulosa, agen gandingan digunakan untuk memperbaiki sifat antara muka antara matriks yang hidrofobik dan bahan lignoselulosa yang bersifat hidrofilik, seperti yang telah dilakukan oleh kajian Raj et al., (1989,1990).

#### **2.1.4.2 Sifat Gentian**

Menurut Richardson, selain daripada komposisi kimia yang menentukan sifat gentian, cara gentian dihasilkan, saiz, bentuk dan bilangan kecacatannya juga memainkan peranan (Richardson, 1987). Bagi gentian selulosa, sifatnya bergantung kepada garispusat dan struktur gentian, darjah pempolimeran, bahagian tumbuhan gentian diperolehi, sama ada daripada tangkai, daun ataupun buah, dan juga keadaan pertumbuhannya (Gassan & Bledzki, 1997).

#### **2.1.4.3 Saiz Dan Bentuk Gentian**

Sesetengah gentian dihasilkan dalam pelbagai bentuk untuk tujuan yang tertentu, seperti pengendalian, pemprosesan, orientasi, pembungkusan atau perekatan dengan matriks (Rozman *et al.*, 1998). Mengikut kajian yang dilakukan oleh Rozman *et al.*, mereka mendapati bahan pengukuh dalam bentuk serbuk dapat memberikan penyebaran yang lebih sekata dalam matriks polimer dan juga dapat memberikan kekuatan tensil yang lebih tinggi, berbanding dengan bahan pengukuh dalam bentuk gentian. Tambahan pula, bahan pengukuh dalam bentuk gentian lebih cenderung mengelompok (Rozman *et al.*, 1998).

#### **2.1.4.4 Peratusan Bahan Pengukuh**

Biasanya, kekuatan mekanikal komposit bergantung kepada peratusan bahan pengukuh, dengan anggapan bahan pengukuh mempunyai kekuatan yang lebih tinggi daripada matriks (Richardson, 1987). Menurut kajian yang telah dilakukan dalam komposit lignoselulosa-termoplastik, penambahan peratusan kandungan pengukuh akan meningkatkan sifat modulus tensil. Bagi kekuatan tensil pula, Rozman *et al.* mendapati ia menurun dengan penambahan peratusan bahan pengukuh, tidak kira sama ada bahan pengukuh tersebut dalam bentuk gentian atau serbuk (Rozman *et al.*, 1998).

Bagi kajian yang telah dilakukan dalam komposit lignoselulosa-termoset, kekuatan tensil dan modulus tensil meningkat dengan penambahan gentian dalam matriks termoset. Manakala mengikut kajian yang telah dilakukan oleh Maldas & Kokta (1992), mereka mendapati kekuatan tensil banyak dipengaruhi oleh pengikatan di antara matriks dengan bahan pengukuh, manakala modulus tensil lebih

banyak dipengaruhi oleh orientasi bahan pengukuh dan bukan pengikatan di antara matriks dengan bahan pengukuh (Maldas & Kokta,1992),

#### **2.1.4.5 Keadaan Pemrosesan Dan Kesan Mikrostruktur**

Secara umumnya, terdapat 2 faktor yang mempengaruhi sifat mekanik komposit iaitu keadaan pemrosesan dan kesan mikrostruktur. Terdapat 3 parameter penting bagi keadaan pemrosesan iaitu suhu, masa dan tekanan. Ketiga-tiga parameter ini perlu mencapai takat optimum supaya leburan polimer mempunyai kelikatan atau sifat aliran yang dikehendaki bagi membolehkan pembasahan matriks ke atas pengisi atau fasa pengukuhan yang sempurna. Pembasahan yang optimum oleh fasa matriks amat penting bagi memastikan kecekapan pemindahan tegasan dari fasa matriks ke fasa pengukuhan. Tekanan pemrosesan yang digunakan perlu dititikberatkan. Ia haruslah bersesuaian bagi memastikan ruang uara atau kecacatan mikro yang terbentuk dalam komposit adalah amat kecil terutamanya apabila menggunakan matriks termoset di mana ia akan membebaskan bahan meruap semasa pematangan berlaku dan apabila menggunakan pelbagai pengisi yang bersifat higroskopik (Hanafi, 2004).

### 2.1.5 Aditif

Bahan aditif digunakan untuk meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat komposit. Secara amnya, bahan aditif yang digunakan adalah seperti berikut:

Jadual 2.1 : Jenis aditif yang digunakan dalam penghasilan komposit  
(Richardson, 1987).

<b>Aditif</b>	<b>Fungsi</b>
1. Antioksidan	Menghalang berlakunya pengoksidaan
2. Antistatik	Menghalang cas statik pada permukaan komposit dengan menarik lembapan daripada udara
3. Perwarna	Memberikan warna
4. Agen rintangan api	Memberikan rintangan terhadap api
5. Penstabil haba	Menghalang degradasi akibat daripada haba, cahaya, pengoksidaan atau geseran mekanikal
6. Agen pembusa	Menghasilkan struktur bersel pada polimer
7. Pengubahsuaian hentaman	Memperbaiki kekuatan hentaman
8. Pelincir	Mengurangkan geseran di antara polimer dengan mesin dan polimer itu sendiri.
9. Agen paut-silang	Membentuk struktur paut-silang
10. Bahan pemplastik	Menambah kelenturan, mengurangkan suhu leburan dan kelikatan leburan yang rendah, modulus elastik dan suhu peralihan kaca untuk sesuatu polimer
11. Pengawet	Menghalang serangan mikroorganismes
12. Pembantu proses	Menghalang perekatan dan memudahkan penanggalan komposit daripada acuan

### 2.2 Komposit Poliester Tak Tepu

Dalam penyelidikan ini, komposisi komposit polyester tak tepu terdiri daripada resin poliester tak tepu, agen pelincir, agen penglikt, pemangkin dan pengisi.



### 2.2.1 Resin Poliester Tak Tepu

Poliester adalah suatu sebatian berstruktur yang berasal daripada penggantian hidrogen bagi suatu kumpulan alkil, aril, alisiklik atau heterosiklik. Ia merupakan polimer yang dihasilkan daripada tindak balas asid dwibes,  $\text{HOOC-R-COOH}$  dan bahan yang mempunyai kumpulan hidroksil polifungsi. Poliester dihasilkan melalui proses pempolimeran kondensasi di mana pematangan dan paut silang akan menghasilkan poliester yang berberat molekul lebih tinggi. Proses ini dilakukan dengan menindakbalaskan tapak-tapak tidak tepu sepanjang rantai polimer dengan monomer tak tepu yang lain dengan kehadiran pemula tindak balas peroksida. Polimer komersial terbahagi kepada beberapa jenis iaitu poliester tak tepu, alkid, poli(alil ester), poli(etilena tereftalat), poli(butilena tereftalat), poliester termoplastik elastomer, poliakrilat dan poliester pemplastik.

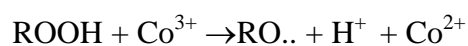
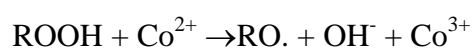
Tindak balas paut silang poliester tak tepu melibatkan tindak balas tapak-tapak tak tepu di sepanjang rantai polimer dengan monomer jenis vinil. Ia merupakan tindak balas radikal bebas. Terdapat 2 sistem pemula yang biasa digunakan untuk memulakan tindak balas iaitu pemula radikal suhu tinggi dan pemula pada suhu bilik.

Peroksida merupakan pemula radikal suhu tinggi yang paling penting. Ia terbentuk melalui penguraian termal pada suhu tinggi. Peroksida yang digunakan secara meluas ialah benzoil peroksida(XII). Contoh pemula lain yang digunakan ialah 2,4-diklorobenzoil peroksida, di-tert-butil peroksida dan lauril peroksida. Campuran resin poliester dengan peroksida agak stabil pada suhu bilik tetapi penyambung silangan akan berlaku pada julat suhu  $70^{\circ}\text{C}$ - $150^{\circ}\text{C}$ . Sesetengah

peroksida digunakan dalam komposisi pengacuanan dengan masa pematangan yang pendek.

Pemula pada suhu bilik biasanya terdiri daripada campuran sebatian peroksida dan memerlukan suatu pencepat (accelerator). Kehadiran pencepat menggalakkan penguraian sebatian peroksida dan menghasilkan radikal bebas tanpa memerlukan haba. Metil etil keton peroksida (MEKP) dan sikloheksanon peroksida merupakan 2 jenis bahan peroksida yang penting.

Pencepat yang biasa digunakan pula ialah garam logam yang mempunyai lebih daripada satu valensi seperti kobalt. Logam lain yang boleh digunakan ialah serium, besi, mangan, tin dan vanadium. Untuk menghasilkan suatu sistem pencepat yang berkesan, garam logam berkenaan mesti terlarut dalam resin poliester. Garam yang paling meluas digunakan ialah naftenat dan oktoat. Kobalt naftenat mendekomposisi hidroperoksida (ROOH) dan menghasilkan radikal bebas. Persamaan tindak balas adalah seperti berikut:



Sistem kobalt naftenat-MEKP atau kobalt naftenat-sikloheksanon peroksida digunakan secara meluas dalam penghasilan laminasi gentian kaca (glass fibre lamination) yang besar melalui “hand lay-up” dan dimatangkan pada suhu bilik.

### **2.2.2 Agen pelincir**

Dalam penghasilan bod komposit, agen pelincir berfungsi untuk memudahkan proses memisahkan resin yang termatang dari pengacuanan yang digunakan. Penggunaan agen ini menghasilkan bod yang mempunyai permukaan yang cantik.

Agen pelincir terbahagi dua iaitu agen pelincir luaran dan agen pelincir dalaman. Agen pelincir luaran memerlukan proses lanjutan selepas resin termatang kerana ia masih melekat pada permukaan bahan yang terhasil. Agen pelincir dalaman pula digunakan dengan mencampurkannya terus ke dalam sistem matriks. Ia akan menyerap terus ke permukaan bahan. Selain itu, ia juga boleh menghasilkan penyebaran resin yang baik. Oleh itu, penggelan yang berlaku dalam resin adalah sekata.

### **2.2.3 Agen pengliktat**

Dalam pembuatan SMC atau BMC, pengliktatan kimia kebiasannya dilakukan dengan menggunakan oksida atau hidroksida alkali bumi. Tujuannya ialah untuk meningkatkan kelikatan matriks di samping menjadikan campuran matriks berkeadaan sesuai untuk mengalami proses pematangan. Agen pengliktat ini berfungsi sebagai agen yang merapatkan jarak antara rantai-rantai polimer tanpa melibatkan sebarang haba dari luar. Dengan itu, kelikatan yang tersedia sesuai untuk menjalani proses selanjutnya.

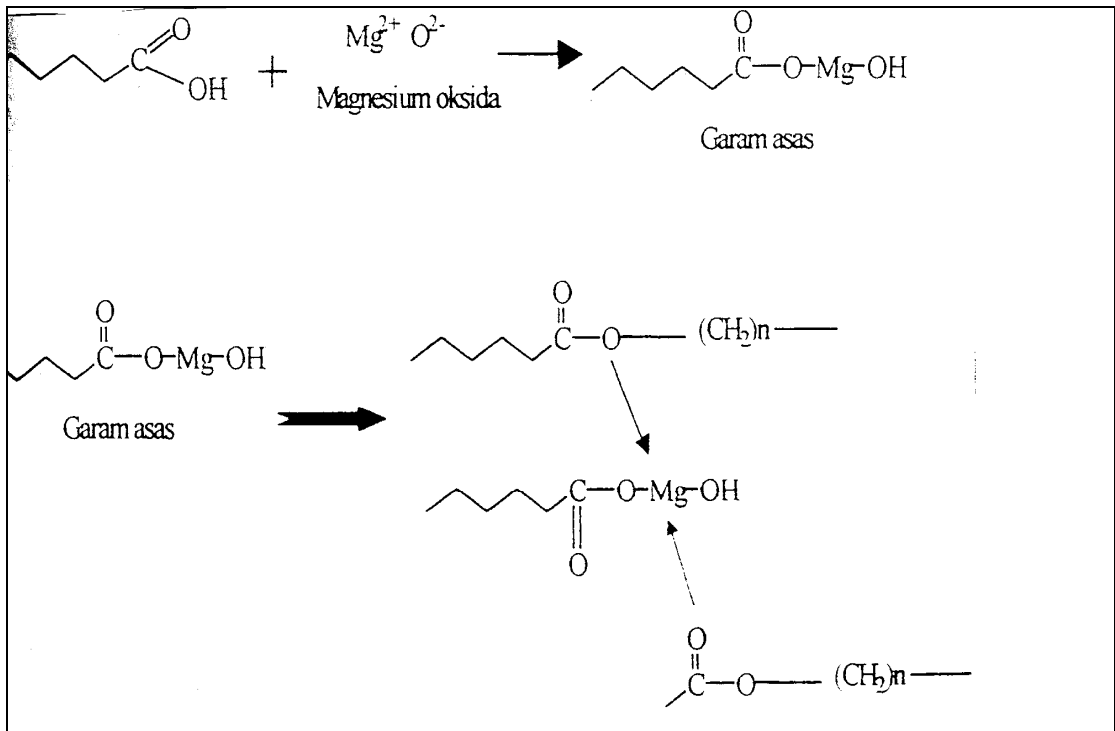
Pengliktat yang selalu digunakan melibatkan interaksi kumpulan karboksil dari poliester tak tepu dengan oksida alkali bumi seperti magnesium oksida (MgO)

dan kalium oksida (CaO) atau hidroksida lain yang boleh meningkatkan kelikatan sistem reaktif yang belum tersambung-silang (Yang et al., 1997).

Nombor asid bagi poliester tak tepu mempunyai kesan terhadap proses penglikatan oleh MgO. Hanya kuantiti kecil MgO yang digunakan untuk menetapkan kelikatan yang rendah pada resin supaya masa untuk penembusan resin ke pengisi dapat dilanjutkan sebelum ia terliat. Penambahan kauntiti MgO akan meningkatkan kelikatan pada masa tertentu. Masa untuk mencapai kelikatan yang tinggi juga dapat dikurangkan dengan bantuan suhu yang tinggi (Bruins, 1976).

Pada amnya, proses penglikatan berlaku antara kumpulan karboksil terdapat pada hujung rantai poliester dengan oksida atau hidroksi alkali bumi. Secara amnya, tindak balas adalah seperti dalam rajah 2.1.

Agen pengliat digunakan dengan mencampur terus ke dalam matriks dengan menggunakan pencampur yang mempunyai daya ricih yang tinggi bagi menyeragamkan campuran. Kebiasannya pencampuran agen pengliat dibuat selepas percampuran resin-pengisi, maka ia memerlukan pencampur yang lebih berkuasa untuk menyeragamkan campuran. Suhu yang paling sesuai ialah 40°-50°C kerana pada ketika ini, kadar kelikatan akan meningkat dengan cepat. Selain itu, agen pengliat ini juga dapat menghalang dari lembapan yang boleh merosakkan aktiviti penglikatan (Robert, 1982).



Rajah 2.1 : Tindak balas Penglikatan Poliester (Robert, 1982)

Taburan berat molekul (nombor asid) memainkan peranan dalam aktiviti penglikatan. Melalui nombor asid (NA), kuantiti MgO boleh disyorkan bagi resin yang digunakan dalam penyelidikan ini. Nombor asid MgO ialah 26 dan pengiraannya dibuat seperti berikut:

Andaikan  $-\text{COOH}$  bertindak balas dengan MgO, maka eku  $\text{COOH} = \text{eku MgO}$

Formula yang digunakan ialah, nombor asid (NA) =  $\frac{56100 e_A}{W}$

$$\text{Eku} = \frac{W \text{ (berat molekul)}}{E \text{ (g/eku)}}$$

$$E_{\text{MgO}} = \frac{40.30}{2} = 20.15$$

Maka  $\text{eku COOH} = \text{eku MgO}$

$$\frac{(NA)w}{56100} = \frac{w}{20.15}$$

$$\frac{(26)(100)}{56100} = \frac{w}{20.15}$$

Oleh itu, berat MgO (w) yang perlu bagi setiap 100g resin ialah 0.93g.

#### 2.2.4 Pemangkin

Peroksida merupakan pemangkin yang mengandungi satu atau lebih ikatan O-O. Ia mempunyai struktur ROOR<sup>1</sup> atau ROOH yang mana R dan R<sup>1</sup> adalah kumpulan organik atau tak organik. Dengan kehadiran pengaruh haba atau cahaya, ikatan O-O yang lemah ini akan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas yang terhasil sangat reaktif, mempunyai elektron bebas (yang tidak terikat atau tidak terpasang) dan mempunyai separa hayat yang rendah iaitu sekitar 10<sup>-3</sup> saat atau kurang.

Dalam poliester tak tepu, mangkin adalah bahan yang merangsangkan tindak balas dengan menukarkan bentuknya sendiri terlebih dahulu dengan bantuan satu bahan atau sumber yang lain yang dikenali sebagai pengaktif atau pencepat.

Mangkin yang lebih dikenali sebagai pemula berfungsi untuk menukarkan suatu bahan yang tidak aktif menjadi aktif dalam proses pematangan. Pencepat yang digunakan bergantung kepada jenis mangkin yang digunakan. Dalam kajian ini, mangkin jenis tert-butyl perbenzoat (TBP) digunakan. TBP memerlukan suhu yang tinggi untuk diuraikan menjadi radikal bebas dan suhu yang tinggi itu bertindak

sebagai pencepat. Organik peroksida yang digunakan sebagai mangkin mengurai terlebih dahulu kepada radikal bebas sebelum menjalani proses paut-silang. Disebabkan sifatnya yang kurang stabil, kebanyakannya hadir dalam bentuk larutan yang dilarutkan dalam pemplastik atau dalam bentuk serbuk yang dicampurkan dengan pengisi lengai. Kebanyakan peroksida organik yang digunakan dengan kuantiti 1-4% daripada berat resin (Weatherhead, 1980).

### **2.3 Sekam Padi**

Dalam kajian ini, pengisi yang digunakan ialah sekam padi. Sekam padi adalah sisa pertanian yang boleh didapati secara mudah dan dalam jumlah yang banyak. Sisa pertanian ini kebanyakannya hanya dibakar secara terbuka di luar kawasan kilang. Keadaan ini akan mengancam alam sekitar dan ia boleh menyebabkan pencemaran udara berlaku. Penggunaan sekam padi sebagai pengisi dapat mengelakkan daripada berlakunya pembakaran terbuka serta membantu dalam mengatasi masalah yang berkaitan dengan pembuangan sekam padi (Ahmad Fuad et al., 1994b).

Sebanyak 75 atau lebih negara yang mengusahakan penanaman padi, hanya 1/5 daripada berat padi atau sekam padi yang telah dituai dan hasil tanaman tersebut yang dikeringkan merupakan sekam padi sepertimana yang dinyatakan oleh Food Agriculture Organization (FAO) pada tahun 1974. Hampir setiap negara mempunyai masalah tersendiri yang agak mencabar untuk menggunakan atau melupuskan sekam padi. Kebiasannya, penggunaan atau pelupusan sekam padi agak sukar kerana sifat keliatan, sifat kekayuan, kekasaran semula jadi pada sekam padi, sifat nutrisi yang rendah, sifat rintangannya terhadap cuaca, nilai pukal yang tinggi dan kandungan

abunya yang juga tinggi. Laporan mengenai komposisi, sifat dan cadangan penggunaan kulit padi diterbitkan semenjak awal 1871 iaitu seabad yang lalu (Houston, 1972).

Merujuk kepada statistik yang telah disumbangkan oleh organisasi makanan dan pertanian; FAO kepada United Nation pada tahun 1974-1975, penghasilan padi dunia dalam masa setahun dianggarkan 341,000,000 tan metrik dan kebanyakannya dihasilkan di Asia Tenggara. Kebanyakan terbitan daripada hasil tanaman padi ialah kulit yang berserabut atau berserat, bahan yang tidak terurai dan lebih kurang 20% batang padi kering. Merujuk kepada FAO – United Nation Industrial Development Organization (FAO-UNIDO 1973), batang padi kering memberikan hasil sebanyak 52% batang padi putih, 20% kulit, 15% batang dan 10% bran, 3% yang selebihnya hilang semasa proses penukaran. Sekiranya kesemua beras padi boleh dikilangkan secara komersial, 68,000,000 tan metrik sekam padi boleh dihasilkan dan memerlukan ruang penyimpanan seluas 600 juta meter padu. Disebabkan oleh ciri kasar (abrasive), nilai nutrisi yang lemah, ketumpatan pukal yang rendah dan kandungan abu yang tinggi, hanya sedikit kulit sekam padi yang boleh dilupuskan bagi aplikasi yang bernilai rendah seperti “*chicken litter*”, “*juice pressing aid*” dan “*animal roughage*”. Sekam padi yang selebihnya akan dimusnahkan dan biasanya dibakar secara terbuka di kawasan yang lapang. Amalan pembakaran tersebut banyak dilakukan tetapi sekiranya tidak dilakukan dengan betul, ia akan memberikan masalah pencemaran yang kritikal dan memerlukan ruang yang lebih besar (Houston, 1972).



### **2.3.1 Morfologi**

Terdapat kajian yang membuktikan bahawa kandungan silika paling banyak terdapat pada bahagian lapisan paling luar sekam padi iaitu bahagian yang dilapisi oleh selaput yang tebal dan wujud struktur yang seakan rambut pada permukaannya. Bahagian dalaman sekam padi berserabut dan mempunyai gentian hipodermal yang memanjang. Pada bahagian tengah pula terdapat sedikit silika.

Secara umumnya, epidermis luar sekam padi dilapisi dengan selaput tebal yang bersilika dan mempunyai duri. Selain itu, sklerenkima gentian hipoderma sekam padi mempunyai dinding tebal yang berlignin dan bersilika. Manakala sel parenkima sekam padi adalah berlubang memanjang dan epidermis dalaman sekam padi berbentuk isodiametrik (Hsu *et al.*, 1980).

### **2.3.2 Sifat Fizikal**

Masalah yang selalu dihadapi sekam padi ialah sifat fizikalnya yang terlalu kasar, rintangan pemerosotan yang tinggi, ketumpatan yang rendah dan kuantiti sisa dalam bentuk abu yang banyak (Da Costa *et al.*, 2000).

Secara umumnya, sekam padi berwarna kekuningan atau keemasan. Kebanyakannya mempunyai panjang 5-10mm dan lebar 2.5-5mm. Ketumpatan pukal sekam padi ialah 0.100g/ml atau 96-160kg/m<sup>3</sup> (Hsu *et al.*, 1980).

### 2.3.3 Kandungan Kimia

Sifat kimia yang unik tentang SP ialah kandungan silika-selulosa yang ada pada SP amat berbeza berbanding dengan hasil sampingan tumbuhan yang lain. Kandungan silica yang tinggi ini tidak akan terurai walau pun melalui pembakaran yang sempurna (Beagle, 1978). Pembakaran sempurna akan menghasilkan abu sekam padi putih.

Komponen utama SP ialah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Masalah yang sering dihadapinya untuk menjadi pengisi yang baik ialah penyerapannya terhadap kelembapan. Jadual 2.2 menunjukkan kandungan kimia yang terdapat dalam SP.

Jadual 2.2 : Kandungan kimia dalam sekam Padi (Lauricio, 1987)

<b>Kandungan kimia dalam sekam padi</b>	
<b>Kandungan</b>	<b>% berdasarkan berat</b>
Protein mentah	1.5 – 7.0
Gentian mentah	31.5 – 50.0
Nitrogen	24.5 – 38.8
Selulosa	16.0 – 22.0
Lignin	20.0 – 27.5
Pentosan	31.5 – 50.0
Lemak mentah	0.05 – 3.0
Abu	15.0 – 30.0

Analisis SP dalam % adalah seperti berikut:

Jadual 2.3 : Analisis Sekam Padi (Grist, 1975)

<b>Kandungan</b>	<b>%</b>
Kelembapan	9.02
Protein mentah	3.27
Lemak	1.18
Karbohidrat	33.71
Gentian mentah	35.68
Abu	17.14

Analisis sampel sekam padi dalam % adalah seperti berikut:

Jadual 2.4 : Analisis sekam padi (Grist, 1975)

<b>Komposisi</b>	<b>%</b>
Silika (SiO <sub>2</sub> )	94.50
Kalsium oksida (CaO)	0.25
Magnesium oksida (MgO)	0.23
Sodium oksida (Na <sub>2</sub> O)	0.78
Kalium oksida (K <sub>2</sub> O)	1.10
Ferrik oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	sedikit
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.53
Aluminium Dan Manganes Oksida	sedikit

### 2.3.4 Sifat kimia

Perbandingan komposisi antara SP sekam padi dan sekam oat:

Jadual 2.5 : Perbandingan komposisi antara sekam padi dan sekam oat (Luh, 1991).

	<b>Sekam Padi</b>	<b>Sekam Oat</b>
Kelembapan, %	7.6 – 10.2	8.0 – 10.5
Protein mentah, %	1.9 – 3.7	2.7 – 4.3
Lemak mentah, %	0.3 – 0.8	1.3
Gentian mentah, %	35.0 – 46.0	25.4 – 30.1
Karbohidrat, %	26.5 – 29.8	47.5 – 51.5
Abu, %	13.2 – 21.0	4.9 – 6.1
Silika, %	18.8 – 22.3	-
Kalsium, mg/g	0.6 – 1.3	1.9
Fosforus, mg/g	0.3 – 0.7	0.9
“Neutral detergent fiber”, %	66 – 74	66
“Acid detergent fiber”, %	58 – 62	31
Lignin, %	9 – 20	2 – 14
Selulosa, %	28 – 36	23 – 51
Pentosan, %	21 – 22	39
Hemiselulosa, %	12	27
Jumlah nutrient yang boleh diurai, %	9.4	29