

PENGHASILAN KOMPOSIT POLIURETANA –  
KENAF MENGGUNAKAN PENGACUANAN  
TINDAK BALAS SUNTIKAN

AZIZAH BINTI ABU BAKAR

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi  
keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Julai 2012

Ucapan terima kasih juga buat semua yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung dalam projek kajian ini. Semoga jasa baik kalian hanya Allah yang dapat membalasnya.

---

(Azizah Abu Bakar)

## ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN		i
ISI KANDUNGAN		iii
SENARAI RAJAH		viii
SENARAI JADUAL		xiii
SENARAI SIMBOL		xiv
ABSTRAK		xv
ABSTRACT		xvi
BAB 1	PENGENALAN	1
1.1	Penyataan Masalah	1
1.2	Objektif	6
BAB 2	TINJAUAN LITERATUR	7
2.1	Komposit	7
2.2	Pengelasan Komposit	8
2.3	Unsur Dalam Komposit	9
2.3.1	Matriks	9
2.3.2	Polimer	12
2.4	Poliuretana	15
2.4.1	Kimia Poliuretana	19
2.4.1.1	Tindak Balas Asas Isosianat	19
2.4.2	Jenis Isosianat	22
2.4.3	Jenis Polioliol	24

2.4.4	Paut Silang Dan Berat Molekul Poliuretana	25
2.4.5	Penghasilan Dan Sifat Poliuretana Busa Tegar	27
2.5	Pemrosesan Polimer	28
2.5.1	Mesin Pengacuanan Tindak Balas Suntikan	28
2.6	Bahan Pengukuh/Pengisi	31
2.7	Kenaf	34
2.7.1	Tanaman Kenaf Di Malaysia	35
2.7.2	Gentian Kenaf “ <i>Bast</i> ”/Kulit	36
2.7.3	Kegunaan Kenaf	37
2.8	Bahan Lignoselulosa	39
2.8.1	Selulosa	39
2.9	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Komposit	40
2.9.1	Antaramuka Dan Antarafasa	41
2.10	Komposit Diperkuat Gentian Kenaf	45
2.11	Gentian Bukan Tenunan Dan Aplikasi	47
2.11.1	Pembentukan Bukan Tenunan	48
2.12	Proses Penyisirkasaran (“ <i>Carding</i> ”)	50
2.13	Proses Penumbukan – Jejarum (“ <i>Needle Punching</i> ”)	52
<b>BAB 3</b>	<b>BAHAN</b>	<b>55</b>
3.1	Bahan-Bahan Matriks Poliuretana	55
3.1.1	4,4’ Metilena Bis(Fenil Isosianat) (MDI)	55
3.1.2	Gliserol	56
3.2	Pengisi Lignoselulosa	56
3.2.1	Kenaf “ <i>Bast</i> ”	56

<b>BAB 4</b>	<b>ALATAN DAN MESIN</b>	<b>57</b>
4.1	Mesin Penyisirkasaran	57
4.2	Mesin Penumbukan–Jejarum	57
4.3	Mesin Pemotong Tikar	60
4.4	Mesin Pengacuanan Tindak Balas Suntikan	61
4.5	Penekan Panas	62
<b>BAB 5</b>	<b>KAEDAH DAN TATACARA</b>	<b>64</b>
5.1	Penghasilan Tikar Gentian Kenaf	64
5.2	Formulasi Komposit	65
5.3	Penyediaan Komposit PU Diperkuat Gentian Kenaf	66
5.4	Komposit PU Diperkuat Gentian Menggunakan Mesin RIM	68
<b>BAB 6</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISIS</b>	<b>70</b>
6.1	Ujian Tensil	70
6.2	Ujian Fleksural/Lenturan	70
6.3	Ujian Hentaman	71
6.4	Ujian Penyerapan Air Dan Pembengkakan	71
6.5	Mikroskop Penskanan Elektron (SEM)	72
6.6	Sifat Termal	73
<b>BAB 7</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>74</b>
7.1	Komposit Poliuretana Diperkuat Gentian Kenaf	74
7.2	Analisis Pengimejan Mikroskop Penskanan Elektron (SEM)	77
7.3	Ujian Tensil	84

7.3.1	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Kekuatan Tensil Komposit PU	84
7.3.2	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Pemanjangan Takat Putus Komposit PU	89
7.3.3	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Modulus Tensil Komposit PU	92
7.3.4	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Keliatan Tensil Komposit PU	94
7.3.5	Kesan Penumbukan-Jejarum Terhadap Ujian Tensil Komposit PU	96
7.4	Ujian Fleksural	101
7.4.1	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Kekuatan Fleksural Komposit PU	101
7.4.2	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Modulus Fleksural Komposit PU	104
7.4.3	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Keliatan Fleksural Komposit PU	105
7.4.4	Kesan Penumbukan-Jejarum Terhadap Ujian Fleksural Komposit PU	107
7.5	Ujian Hentaman	109
7.5.1	Kesan Peratusan Tikar Gentian Kenaf Dan Nisbah NCO/OH Terhadap Komposit PU	109
7.5.2	Kesan Penubukan-Jejarum Terhadap Kekuatan Hentaman Komposit PU	112

7.6	Ujian Penyerapan Air	113
7.7	Sifat Termal	115
BAB 8	KESIMPULAN	123
BAB 9	CADANGAN KAJIAN DI MASA HADAPAN	126
BAB 10	RUJUKAN	127
BAB 11	LAMPIRAN	141
Lampiran A	<i>(Lakaran susunan jejarum pada bod penumbukan-jejarum)</i>	142
Lampiran B	<i>(Senarai penerbitan dan Penerbitan)</i>	143

## SENARAI RAJAH

Rajah 2.1	Pengkelasan pelbagai jenis komposit mengikut bahan pengukuh.	8
Rajah 2.2	Pengkelasan pelbagai jenis komposit mengikut bahan matriks.	9
Rajah 2.3	Contoh pengulangan unit polimer; (a) molekul polipropilena, (b) molekul nilon 6,6.	14
Rajah 2.4	Skematik mewakili (a) polimer termoplastik, (b) polimer termoset.	14
Rajah 2.5	Aplikasi poliuretana mengikut sifat-sifatnya.	18
Rajah 2.6	Struktur kimia isosianat alifatik; a) 1'6-heksametilena (HDI) dan b) isofofon diisosianat (IPDI).	22
Rajah 2.7	Struktur kimia TDI; a) isomer 2,4 TDI dan b) 2,6 isomer TDI	23
Rajah 2.8	Struktur kimia NDI.	24
Rajah 2.9	Kestabilan terma untuk kumpulan-kumpulan yang terhasil daripada kimia isosianat.	27
Rajah 2.10	Skematik proses penghasilan matriks poliuretana bagi mesin pengacuanan tindak balas suntikan yang menunjukkan aliran bagi isosianat dan polioliol yang bercampur dalam kepala pencampuran.	29
Rajah 2.11	Operasi untuk mesin pengacuanan tindak balas suntikan (RIM).	30
Rajah 2.12	Contoh bagi gentian semulajadi dan sintetik yang sering digunakan sebagai bahan penguat komposit.	32
Rajah 2.13	Bahagian-bahagian pokok kenaf (1) bunga kenaf, (2) kenaf " <i>bast</i> ", (3) batang kenaf.	37
Rajah 2.14	Struktur kimia selulosa.	40
Rajah 2.15	Gambar antaramuka dan antarafasa di antara gentian dan matriks.	41

Rajah 2.16	Mekanisme penyerapan dan pembasahan.	43
Rajah 2.17	Mekanisme penyerapan.	43
Rajah 2.18	Mekanisme daya tarikan elektrostatik.	44
Rajah 2.19	Mekanisme ikatan kimia.	44
Rajah 2.20	Mekanisme ikatan mekanik.	45
Rajah 2.21	Struktur penggelek dalam sistem proses penyisirkasaran.	52
Rajah 2.22	Struktur mesin penumbuk-jejarum; (1) rol suapan, (2) bod jejarum, (3) jarum bercangkuk, (4) kepingan pelucut, (5) rol keluar, (6) kepingan dasar dan (7) web gentian penyisirkasaran.	53
Rajah 2.23	Struktur jarum berduri; (A) jarak di antara duri jarum pertama ke titik jarum, (B) jarak di antara jiran bersebelahan, (C) jarak di antara jarum bertentangan, (L) jumlah panjang jarum, (T) panjang bilah jarum berduri, (S) panjang batang jarum tengah dan (R) panjang batang jarum hujung.	54
Rajah 3.1	Struktur kimia 4,4' metilena bis(fenil isosianat).	55
Rajah 3.2	Struktur kimia gliserol.	56
Rajah 4.1	Mesin penyisirkasaran makmal 337A.	57
Rajah 4.2	(a) Mesin penumbuk-jejarum; (b) panel kawalannya.	59
Rajah 4.3	Mesin pemotong tikar.	60
Rajah 4.4	Gambaran mesin RIM model GMA-H10.	62
Rajah 4.5	Gambaran mesin penekan panas GT-7014-100.	63
Rajah 5.1	Carta aliran bagi penyediaan tikar gentian kenaf.	64
Rajah 5.2	Proses penghasilan web gentian penyisirkasaran dan tikar gentian kenaf.	67
Rajah 5.3	Proses penghasilan gentian bukan tenunan penumbukan-jejarum	67

Rajah 5.4	Kaedah penyedutan matriks PU ke dalam tikar gentian.	68
Rajah 5.5	Carta aliran penyediaan komposit PU diperkuat gentian kenaf.	69
Rajah 7.1	Tindak balas di antara MDI dengan gliserol.	75
Rajah 7.2	Pengimejan SEM bagi sampel C40 dengan 40% berat kenaf dalam komposit PU (Mag=40x).	78
Rajah 7.3	Pengimejan SEM bagi sampel C80 dengan 80% berat kenaf dalam komposit (Mag=40x).	79
Rajah 7.4	Pengimejan SEM tarikan-keluar bagi sampel C20 dengan 20% berat kenaf (Mag=500x).	80
Rajah 7.5	Pengimejan SEM tarikan-keluar bagi sampel C80 dengan 80% berat kenaf (Mag=150x).	80
Rajah 7.6	Pengimejan SEM bagi menunjukkan matriks PU masuk ke dalam kapilari sampel CNP40 dengan 40% berat tikar bukan tenunan dalam komposit (Mag=500x).	81
Rajah 7.7	Pengimejan SEM bagi menunjukkan matriks PU masuk ke dalam kapilari sampel C60 dengan 60% berat kenaf dalam komposit (Mag=500x).	82
Rajah 7.8	Pengimejan SEM bagi sampel CNP40 dengan 40% berat tikar bukan tenunan dalam komposit (Mag=500x).	83
Rajah 7.9	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap kekuatan tensil komposit PU.	85
Rajah 7.10	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap pemanjangan takat putus komposit PU.	90
Rajah 7.11	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap modulus tensil komposit PU.	93

Rajah 7.12	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap keliatan tensil komposit PU diperkuat gentian kenaf.	95
Rajah 7.13	Kekuatan tensil terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	97
Rajah 7.14	Proses penumbukan-jejarum.	98
Rajah 7.15	Peratusan pemanjangan pada takat putus terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	99
Rajah 7.16	Modulus tensil terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	100
Rajah 7.17	Keliatan tensil terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	100
Rajah 7.18	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap kekuatan fleksural komposit PU.	101
Rajah 7.19	Kesan peratusan berat gentian dan nisbah NCO/OH terhadap modulus fleksural komposit PU.	105
Rajah 7.20	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap keliatan fleksural komposit PU.	106
Rajah 7.21	Kekuatan fleksural terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	108
Rajah 7.22	Modulus fleksural terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	108
Rajah 7.23	Keliatan fleksural terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	109
Rajah 7.24	Kesan peratusan gentian dan nisbah NCO/OH terhadap kekuatan hentaman komposit PU.	110

Rajah 7.25	Kekuatan hentaman terhadap komposit tikar gentian dan tikar bukan tenunan.	112
Rajah 7.26	Pembengkakan ketebalan bagi komposit PU diperkuat gentian kenaf.	114
Rajah 7.27	Penyerapan air bagi komposit PU diperkuat gentian kenaf.	115
Rajah 7.28	Graf suhu penguraian (TGA/DTG) bagi sampel gentian kenaf 100% dan PU dengan nisbah 1.0.	117
Rajah 7.29	Graf suhu penguraian (TGA/DTG) bagi nisbah peratusan berat gentian 20%, 40%, 60% dan 80% dengan nisbah NCO/OH 1.0.	118
Rajah 7.30	Graf suhu penguraian (TGA/DTG) bagi komposit PU dengan nisbah NCO/OH 0.9, 1.0, 1.1 dan 1.2.	120
Rajah 7.31	Graf suhu penguraian bagi sampel C40 (40% gentian kenaf yang diproses menggunakan teknik penyisirkasaran) dan CNP40 (40% gentian kenaf yang diproses menggunakan teknik penyisirkasaran dan penumbukan-jejarum).	122

## SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	Bahan matriks dan aplikasinya.	11
Jadual 2.2	Sumber pemula bahan polioli.	28
Jadual 2.3	Ciri-ciri gentian semulajadi yang digunakan dalam aplikasi komposit.	34
Jadual 2.4	Teknik ikatan termal dan mekanik.	49
Jadual 2.5	Teknik ikatan bukan tenunan secara kimia.	50
Jadual 4.1	Parameter mesin penumbuk-jejarum.	59
Jadual 4.2	Ciri-ciri utama mesin GMA-H10.	61
Jadual 5.1	Formulasi komposit PU diperkuat gentian kenaf.	65

## SENARAI SIMBOL

NCO	Isosianat
OH	Hidroksil
PU	Poliuretana
MMC	Komposit Matirks Logam
CMC	Komposit Matriks Seramik
PMC	Komposit Matriks Polimer
CCM	Komposit Karbon-karbon
TDI	Toluena Diisosianat
MDI	Difenilmetana Diisosianat
NDI	Nafalena-1,5-diisosianat
IPDI	Isoforon Diisosianat
HDI	Heksametilena
RIM	Pengacuanan suntikan tindak balas
RRIM	Pengacuanan suntikan tindak balas bertetulang
SRIM	Pengacuanan suntikan tindak balas berstruktur
SEM	Mikroskop Penskanan Elektron
TGA	Analisis Gravimetrik Terma
NCO	Isosianat
OH	Hidroksil

PENGHASILAN KOMPOSIT POLIURETANA-KENAF MENGGUNAKAN  
PENGACUANAN TINDAK BALAS SUNTIKAN

ABSTRAK

Dalam kajian ini, komposit poliuretana (PU) telah dihasilkan dengan menggunakan difenilmetana diisosiyanat (MDI) dan gliserol yang diperkuat dengan gentian kenaf. Poliuretana dihasilkan dengan menggunakan mesin pengacuanan suntikan tindak balas (RIM) mengikut formulasi yang tertentu. Manakala tikar gentian kenaf dihasilkan menggunakan mesin penyisirkasaran dan penumbuk-jejerum. Kesan-kesan nisbah isosiyanat dengan hidroksil NCO/OH dan peratusan berat gentian kenaf terhadap komposit PU diperkuat gentian telah dikaji. Berdasarkan pemerhatian, didapati sifat komposit PU yang dihasilkan dipengaruhi oleh peratusan gentian kenaf dan juga nisbah NCO/OH yang digunakan dengan ketara. Kesan proses penumbukan-jejerum ke atas tikar gentian kenaf yang dihasilkan juga memberikan kesan terhadap komposit PU. Daripada analisis pengimejan SEM, didapati rangkaian telah terbentuk di antara matriks PU dan gentian kenaf. Selain itu, fenomena mengunci di antara matriks PU dan gentian kenaf juga dapat diperhatikan, iaitu penyerapan matriks ke dalam kapilari gentian kenaf. Keadaan ini telah memperbaiki sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Ujian kestabilan dimensi menunjukkan kadar penyerapan air meningkat dengan pertambahan peratusan gentian kenaf. Analisis gravimetrik terma pula menunjukkan tiada perbezaan yang ketara dalam komposit PU yang dihasilkan daripada parameter yang berlainan.

# PRODUCTION OF POLYURETHANE-KENAF COMPOSITE USING REACTION INJECTION MOLDING

## ABSTRACT

In this research, polyurethane (PU) composites reinforced by kenaf fiber were prepared. PU as matrix were produced by mixing of diphenylmethane diisocyanate (MDI) and glycerol using reaction injection molding (RIM). While nonwoven kenaf fiber mat was prepared using carding and needle punching machine. The effect of isocyanate (NCO)/hydroxyl (OH) ratio and kenaf fiber loading on the properties of PU composite were studied. From the observation, the mechanical properties of the composites were strongly affected by kenaf loading and NCO/OH ratios. The effect of needle punching process also showed significant effect on the mechanical properties of the PU composite. From morphology study, it was noticed that linkages had formed between PU matrix and kenaf fiber. Interlocking phenomenon was also evident in the PU composite with the evidence of PU matrix penetrated into the capillary of kenaf fiber. These had enhanced the mechanical properties of PU composites. The dimensional stability tests showed that water absorption increased with the increasing of kenaf fiber loading. Thermogravimetry analysis results indicated that no significant effect was observed on the thermal stability of PU composite prepared from different parameters.

## 1.1 Penyataan Masalah

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 aspek seperti keselamatan, penjagaan alam sekitar, kesihatan dan penjimatan kos telah mencetus ilham baru dalam pencarian suatu alternatif lain bagi menggantikan sumber yang tidak boleh diperbaharui seperti bahan sintetik. Keprihatinan terhadap isu alam sekitar seperti peningkatan suhu dunia dan keinginan untuk menghasilkan produk-produk daripada sumber semulajadi telah menarik minat dan permintaan terhadap produk-produk berasaskan sumber semulajadi seperti tumbuhan [Reddy dan Yang, 2005]. Terdapat penyelidikan yang dijalankan untuk menggantikan gentian sintetik (seperti kaca, aramid, boron dan karbon) dengan gentian semulajadi yang digunakan sebagai bahan pengukuh dalam bahan komposit. Hal ini kerana kelebihan gentian semulajadi yang mempunyai sifat-sifat yang tidak diperolei daripada gentian sintetik seperti biodegradasi, ketumpatan yang rendah, murah dan juga mudah didapati [Bledzki dan Gassan, 1999, Cristaldi et al., 2010, Ichhaporia, 2008].

Pemilihan sumber semulajadi ini menyediakan banyak kelebihan sebagai dalam menangani isu persekitaran serta kos yang rendah bagi gentian semulajadi menjadi sumber penguat dalam komposit yang tahan lama, boleh dipercayai dan ringan, dengan sifat-sifat mekanik yang lebih baik daripada bahan konvensional dalam aplikasi automotif, perabot, pembinaan dan lain-lain. Sumber-sumber ini boleh diperolehi daripada sektor pertanian yang dikeluarkan sebagai sisa-sisa pertanian seperti sekam

padi, kelapa, jut, kelapa sawit, kenaf, buluh dan nenas [Bledzki dan Gassan, 1999, Lilholt dan Lawther, 2000]. Hasil sampingan seperti industri perindustri kayu seperti serbuk kayu juga turut digunakan sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit.

Pembangunan produk-produk kejuruteraan yang berprestasi tinggi dalam bidang automotif, pembinaan dan aeroangkasa hasil daripada sumber semulajadi menggantikan bahan konvensional sedia ada seperti bahan polimer diperkuat gentian lignoselulosa mempunyai sifat mekanik yang baik, bebas daripada masalah kesihatan, penjimatan kos, pengurangan berat serta berpotensi dalam penggunaan bidang struktural. Sifat gentian lignoselulosa yang kurang abrasif turut memberi kesan kepada keadaan pemprosesan yang lebih mudah kerana kadar penghausan pada peralatan dapat dikurangkan [Lilholt dan Lawther, 2000, Rowell et al., 1997, Satyanarayana et al., 2009, Reddy dan Yang, 2005].

Penggunaan gentian semulajadi atau sumber-sumber boleh diperbaharui dalam penghasilan bahan komposit dapat membantu dalam usaha untuk menyelesaikan beberapa isu yang melibatkan alam sekitar. Terdapat banyak jenis bahan pengukuh organik semulajadi seperti kenaf, sisal, pinang, jut, pulpa, kelapa sawit, daun nenas dan sabut kelapa yang digunakan sebagai bahan pengukuh dalam matriks polimer [Akil et al., 2011, Bledzki dan Gassan, 1999]. Penambahan bahan penguat atau pengukuh ke dalam bahan polimer akan mempengaruhi sifat mekanik, termal dan penyerapan air bahan komposit. Komposit gentian semulajadi dapat digunakan dalam kebanyakan aplikasi berasaskan kepelbagaian sifat yang ditawarkan seperti ringan, keupayaan memperbaharui, kos yang murah dan mesra alam. Komposit gentian semulajadi telah banyak digunakan dalam industri seperti automotif, peralatan sukan, bidang marin,

alatan elektrik, pembinaan dan peralatan rumah [Akil et al., 2011, Bledzki dan Gassan, 1999, Cristaldi et al., 2010, Ichhaporia, 2008, Kispotta, 2011, Rao, 2007].

Bahan polimer seperti polietilena, poliuretana dan kebanyakan bahan polimer lain hasil daripada bahan berasaskan petroleum [Dwan'Isa et al., 2005, Richard dan Bhanu, 2002, Powell, 1983]. Ia merupakan bahan tidak biodegradasi dan ia boleh mencemarkan alam sekitar. Keadaan ini telah menimbulkan kesedaran ahli-ahli sains dan jurutera untuk mengurangkan kesan-kesan negatif alam sekitar hasil daripada bahan mentah polimer dalam pengeluaran komposit. Jejak-jejak alam sekitar mesti dikurangkan pada setiap peringkat kitaran hayat rencam polimer [Rao, 2007]. Selain itu, terdapat juga usaha pelbagai industri untuk mengurangkan pergantungan dan penggunaan bahan petroleum sebagai bahan asas pembakaran dan produk lain [Cristaldi et al., 2010]. Tindakan ini telah menyebabkan peningkatan minat terhadap penggunaan gentian semulajadi dalam aplikasi bahan komposit polimer.

Poliuretana (PU) merupakan salah satu daripada bahan polimer yang serba boleh yang menawarkan pelbagai aplikasi produk dalam pelbagai sektor. Ini adalah kerana sifat mekanik, termal dan kimianya boleh dikawal oleh tindak balas daripada pelbagai jenis polioliol dan poliisosianat. Polimer ini disintesisikan oleh tindak balas sebatian isosianat seperti difenilmetana diisosianat (MDI) dan polimer yang mengandungi polihidroksil, iaitu polioliol seperti polietilena glikol (PEG) dan gliserol. PU boleh menjadi termoplastik dan termoset dan boleh juga diperkuat gentian. Busa poliuretana tegar yang mempunyai struktur sel tertutup mempunyai sifat penebat dan mekanik yang baik dan banyak digunakan dalam industri pembinaan, automotif, sejuk-beku dan nautika. Penggunaan PU merangkumi bidang-bidang busa PU bolehlentur yang digunakan sebagai penebat

dinding dan atap. Busa PU termoplastik digunakan pada peranti perubatan, kasut, penglitup, pelekat, pengedap dan busa elastomer yang sering digunakan pada lantai dan bahagian dalam kereta [Brent Strong, 2002, Cateto et al., 2008].

Teknik pemprosesan PU merangkumi hampir kesemua kaedah pembuatan tradisional polimer termasuklah kaedah penyemperitan, pengacuan suntikan, pembentukan termal, pengacuan tiup (untuk bahan termoplastik), semburan, pengacuan mampatan dan tuangan (untuk polimer termoset) [Brent Strong, 2002, Rosato, 1991, Graco, 2008]. Selain itu beberapa kaedah pembuatan telah dibangunkan berdasarkan kelebihan ciri-ciri unik PU. Ciri-ciri unik ini berteraskan kepada dua komponen reaktif yang dicampurkan dalam isipadu setara. Ketika proses pencampuran, komponen ini (kebiasaannya dipanggil poliol dan isosianat) akan bertindak balas dengan cepat dalam kitaran masa yang singkat. Tekanan yang diperlukan juga rendah jika dibandingkan dengan tekanan yang diperlukan untuk pengacuan suntikan bahan termoplastik. Tindakan ini disebabkan oleh kelikatan bahan yang lebih rendah berbanding kelikatan termoplastik lebur. Tindak balas komponen-komponen ini dilakukan melalui pengacuan suntikan tindak balas ("*Reaction Injection Molding*" RIM) [Brent Strong, 2002, Graco, 2008, Rasato et al., 2004, Zia et al., 2007].

Produk-produk bukan tenunan ("*non-woven*") telah berjaya menakluki beberapa segmen pasaran tekstil dan produk ini telah menjadikan industri ini sebuah industri yang berjaya dan digunakan dengan meluas dalam pasaran tekstil. Kini, produk bukan tenunan boleh didapati di mana-mana sahaja, daripada lampin kanak-kanak sehinggalah bahagian dalaman kereta. Dalam konteks ini, rekabentuk dan pencirian produk bukan tenunan merupakan keperluan dalam industri baru. Satu bidang yang diminati kini

adalah menghasilkan komposit bukan tenunan. Ciri biodegradasi merupakan salah satu ciri penting untuk bahan bukan tenunan dan banyak kajian telah dijalankan bagi menyesuaikan produk bukan tenunan untuk kegunaan komposit dalam kebanyakan aplikasi [Chiparus, 2004, Cristaldi et al., 2010, Mallick, 2008, Zhang, 2004]. Bahan yang sering digunakan dalam produk bukan tenunan kebanyakannya berasaskan daripada sumber semula jadi seperti tumbuhan dan haiwan. Walau bagaimanapun sumber-sumber daripada hasil pertanian seperti jut dan kapas lebih menarik minat dalam penghasilan produk bukan tenunan.

Salah satu sumber semula jadi yang semakin meluas penggunaannya dalam industri bukan tenunan ini adalah sumber daripada gentian kenaf "*bast*". Ciri-ciri kenaf "*bast*" menjadikannya sebagai satu pilihan untuk kegunaan pelbagai produk seperti produk bukan tenunan dalam kebanyakan aplikasi seperti dalam bidang pertanian, landskap, penutup dinding, dan produk teracuan ("*molded product*") untuk kegunaan bahagian dalaman automotif. Gentian kenaf mempunyai nisbah aspek yang tinggi membolehkan ia sesuai digunakan sebagai satu bahan pengukuh alternatif dalam penghasilan komposit polimer menggantikan gentian kaca. Menurut Tao et al. (1998), gentian tunggal kenaf '*bast*' mempunyai panjang kira-kira 1-7mm dan 10-30 mikron diameter dan demikian amat sukar dalam pemprosesan tekstil. Selain itu, berkas kenaf "*bast*" mentah terlalu kasar dan rapuh untuk diproses. Proses penyisirkasaran ("*carding*") kenaf diperlukan untuk memecahkan struktur berkas dan menghasilkan gentian halus yang sesuai untuk proses seterusnya [Cristaldi et al., 2010, Tao et al., 1998, Zhang, 2003, Zhang, 2004].

Dalam kajian ini, komposit akan dihasilkan daripada sumber lignoselulosa kenaf, iaitu gentian daripada kenaf "*bast*" yang akan disuntik dengan matriks poliuretana yang terhasil daripada difenilmetana diisosianat (MDI) dan gliserol dengan menggunakan proses pengacuanan tindak balas suntikan (RIM). Gentian kenaf digunakan kerana ciri-cirinya seperti mempunyai ketumpatan yang rendah, mudah diperolehi dan juga boleh diperolehi dalam kuantiti yang banyak dengan harga yang rendah. Ciri-ciri ini perlu diambil kira dalam mengurangkan kos pembuatan dan menghasilkan komposit yang mempunyai sifat mekanik yang lebih baik. Selain itu, penggunaan MDI dan gliserol dalam kuantiti yang banyak dalam proses RIM turut mengurangkan kos pembuatan di samping ciri-cirinya sesuai dalam penghasilan komposit poliuretana busa tegar/kaku.

## 1.2 Objektif

Dalam kajian ini, terdapat beberapa objektif, iaitu;

- i) Menghasilkan komposit bukan tenunan dengan menggunakan gentian kenaf dan PU.
- ii) Mengkaji kesan peratusan gentian kenaf dalam bentuk bukan tenunan terhadap sifat-sifat komposit.
- iii) Mengkaji kesan nisbah NCO/OH terhadap sifat-sifat komposit.

### 2.1 Komposit

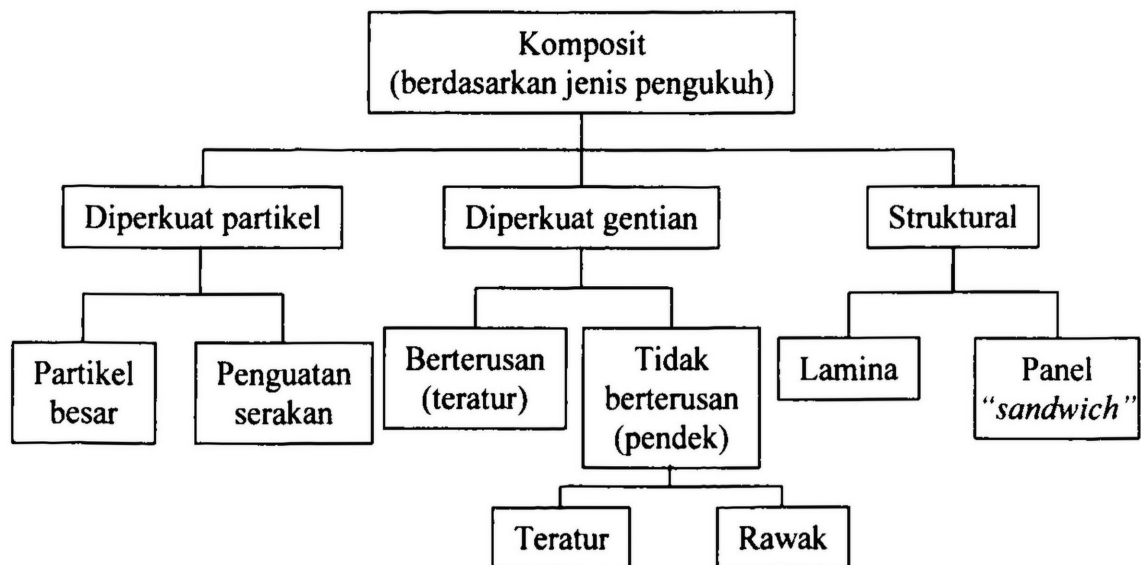
Peningkatan kehendak dan permintaan untuk kehidupan yang lebih selesa telah menjadikan komposit sebahagian daripada kehidupan kita seharian dan boleh didapati di mana-mana sahaja, misalnya tayar kereta, bahagian dalam/luar kereta, tekstil, barangan sukan, jalan raya, bangunan dan lain-lain lagi [Hull dan Clyne, 1996, Mallick, 2008]. Komposit didefinisikan sebagai satu bahan yang terdiri daripada dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat-sifat fizikal dan kimia yang berbeza atau secara umumnya bahan komposit terdiri daripada bahan matriks yang diperkuat oleh bahan partikel dan gentian. Apabila kedua-dua bahan ini digabungkan maka sifat-sifat asal bahan akan bergabung dan menghasilkan sifat baru yang tidak dapat dicapai sekiranya hanya salah satu daripadanya wujud dalam sistem tersebut. Gabungan bahan komposit ini boleh meningkatkan kekuatan bahan dan menjadikan bahan gabungan (komposit) yang lebih tegar ataupun kaku. Selain itu ia boleh meningkatkan sifat-sifat seperti rintangan terhadap geseran, sifat permukaan bahan, sifat elektrik dan lain-lain lagi [Powell, 1983, Schwartz, 1992, Taj et al., 2007].

Hull dan Clyne (1996) telah merumuskan, bahan komposit sekurang-kurangnya haruslah merangkumi tiga ciri utama iaitu, i) terdiri daripada dua atau lebih bahan yang berbeza, sama ada dari segi sifat fizikal mahupun mekanik, ii) hasil daripada pencampuran bahan dengan menggunakan cara tertentu yang perlu mencapai keseragaman campuran di antara kedua-dua bahan supaya memperoleh sifat yang

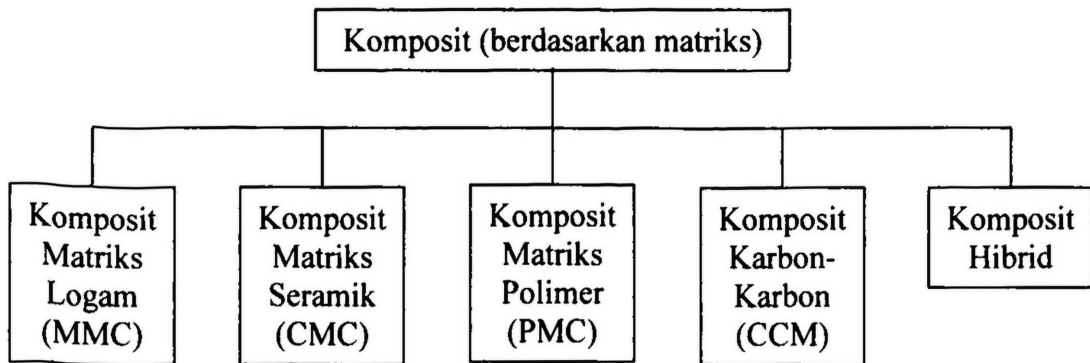
optimum dan iii) sifat akhir bahan komposit selepas pencampuran adalah lebih baik daripada sifat bahan asal sebelum pencampuran.

## 2.2 Pengelasan Komposit

Komposit boleh diklasifikasikan berdasarkan pada unsur-unsur dalam komposit, iaitu jenis matriks atau gentian yang digunakan untuk menghasilkan suatu komposit [Hull dan Clyne, 1996, Mallick, 2008] dan unsur-unsur ini akan dibincangkan dalam perbincangan yang seterusnya. Rajah 2.1 dan Rajah 2.2 menunjukkan pengelasan komposit yang telah dikelaskan berdasarkan jenis bahan pengukuh/pengisi dan bahan matriks.



Rajah 2.1 Pengelasan pelbagai jenis komposit mengikut bahan pengukuh [Callister, 2003].



Rajah 2.2 Pengelasan pelbagai jenis komposit mengikut bahan matriks [Callister, 2003].

## 2.3 Unsur Dalam Komposit

### 2.3.1 Matriks

Bahan matriks merupakan bahan yang mengelilingi dan menyokong bahan pengisi dengan mengekalkan kedudukan relatif masing-masing. Ia juga berfungsi sebagai pelekat untuk pengisi yang berada di dalamnya. Bagi mendapatkan pelekatan yang baik di antara matriks dan bahan pengisi, pembasahan yang sempurna diperlukan supaya berlakunya interaksi di antara bahan matriks dan pengisi untuk menghasilkan kekuatan interlamina yang baik [Schwartz, 1992]. Selain itu, bahan matriks juga memainkan peranan yang penting dalam komposit struktur kerana keupayaan muatan dalam menanggung beban secara tensil [Kispotta, 2011]. Fungsi bahan matriks dalam komposit diperkuat gentian ialah [Hull dan Clyne, 1996, Schwartz, 1992];

- i) bertindak sebagai satu perantaraan bagi pemindahan beban antara bahan matriks-antarafasa-pengisi
- ii) melindungi bahan pengisi daripada lelasan mekanik akibat terdedah kepada persekitaran
- iii) sebagai pengikat antarafasa matriks dan fasa penguat.

Terdapat beberapa jenis bahan matriks yang sering digunakan seperti logam atau logam aloi, seramik, polimer dan karbon seperti yang telah dikelaskan dalam Rajah 2.2. Manakala Jadual 2.1 menunjukkan senarai bahan matriks yang telah digunakan secara komersial dan juga dalam penyelidikan. Sebagai contoh matriks logam dan seramik sering digunakan dalam aplikasi bersuhu tinggi. Tetapi bahan polimer kebiasaanya digunakan dalam aplikasi bersuhu rendah.

Jadual 2.1 Bahan matriks dan aplikasinya [Mallick, 2008].

Polimer	Termoset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epoksi : digunakan untuk aplikasi aeroangkasa dan kapal terbang</li> <li>• Poliester, vinil ester : biasanya digunakan dalam aplikasi automotif, marin, kimia dan elektrik.</li> <li>• Poliiimida, polybenzimidazole (PBI), polifenilkuinoksalina (PPQ): untuk aplikasi aeroangkasa bersuhu tinggi (julat suhu 250°C – 400°C)</li> <li>• Sianat ester</li> </ul>
	Termoplastik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilon (seperti nilon 6, nilom 6,6), termoplastik poliester (seperti PET, PBT), polikarbonat (PC), poliasetal : digunakan dengan gentian tidak berterusan dalam pengacuanan suntikan.</li> <li>• Poliamida-imida (PAI), Eter keton polieter (PEEK), polisulfon (PSUL), polifenilena sulfida (PPS), politerimid (PEI) : sesuai untuk aplikasi suhu yang tinggi dengan gentian berterusan</li> </ul>
Logam	Aluminium dan aloi-aloinya, aloi titanium, aloi magnesium, aloi kuprum, super-aloi nikel, keluli tahan karat : sesuai digunakan untuk aplikasi bersuhu tinggi (julat suhu : 300°C-500°C)	
Seramik	Alumina ( $Al_2O_3$ ), karbon, silikon karbida (SiC) silikon nitrida ( $Si_3N_4$ ) : sesuai digunakan untuk aplikasi bersuhu tinggi.	

### 2.3.2 Polimer

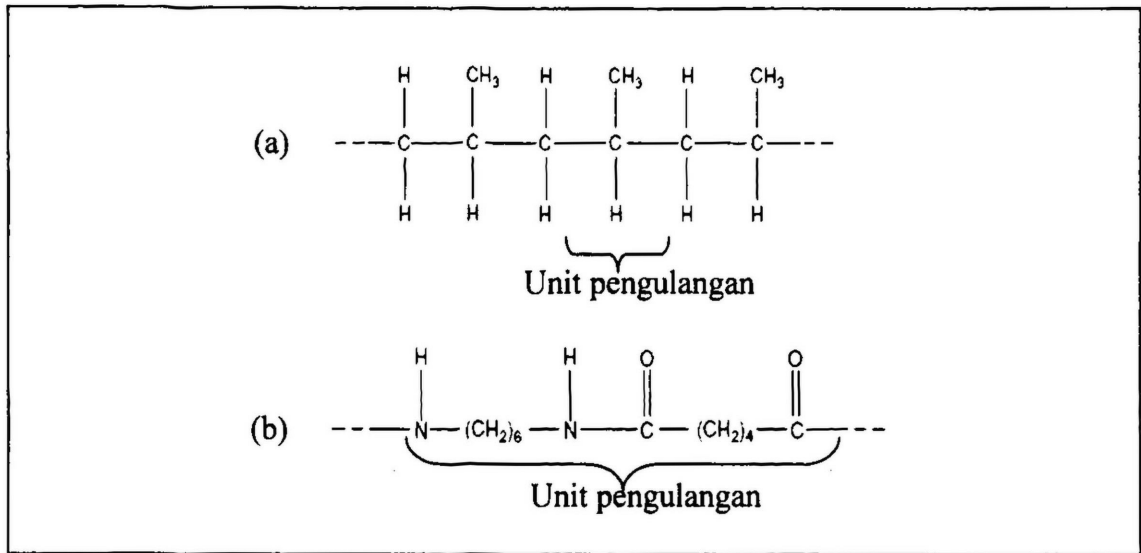
Telah berabad lama manusia menggunakan polimer dalam kehidupan seharian seperti minyak, matriks, dan getah; tetapi industri polimer moden mula berkembang pada zaman revolusi industri. Di akhir tahun 1830, Charles Goodyear telah berjaya menghasilkan getah asli yang tidak melekit melalui proses yang dikenali sebagai proses pemvulkanan dalam penghasilan tayar. Kira-kira 40 tahun kemudian, “*celluloid*” (merupakan plastik keras yang terbentuk daripada nitroselulosa) telah berjaya dikomersialkan. Walaupun kemajuan teknologi sains polimer berlaku agak perlahan sehingga tahun 1930-an, tetapi apabila bahan-bahan seperti vinil, neoprena, polistirena dan nilon telah dibangunkan, ia telah menjadi permulaan terhadap revolusi dalam penyelidikan polimer sehingga ke hari ini [Fried, 1995]. Disebabkan kelebihan bahan polimer, kebanyakan daripada komposit dalam industri hari ini berdasarkan bahan matriks polimer.

Polimer merupakan satu molekul panjang yang terdiri daripada unit kecil “*mer*”, yang berturut-turut dan berulang di sepanjang rantai polimer. Polimer juga boleh didefinisikan sebagai satu rantai molekul panjang yang mengandungi satu atau lebih unit atom-atom yang berulang (seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.3), yang digabungkan bersama oleh satu ikatan kovalen yang kuat dan mempunyai struktur kimia yang sama. Polimer boleh dibahagikan kepada dua kategori iaitu : termoplastik dan termoset [Fried, 1995, Mallick, 2008, Callister, 2003]. Polimer berasal daripada perkataan Greek yang mana; “*poly*” bermaksud banyak dan “*mer*” atau dalam perkataan Greek “*meros*” yang bermaksud bahagian [Callister, 2003, Fried, 1995]. Polimer semulajadi berasal daripada tumbuhan dan haiwan yang telah wujud sejak

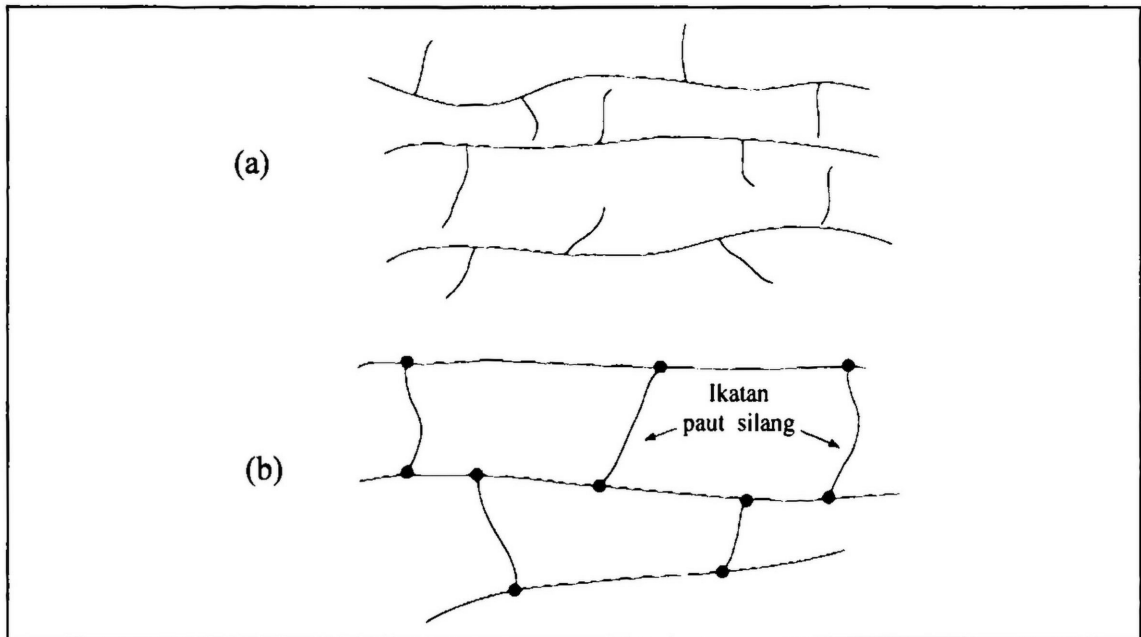
berabad lamanya; bahan ini termasuklah kayu, kapas, getah, bulu, kulit dan sutera. Polimer semulajadi yang lain seperti protein, enzim, kanji dan selulosa merupakan bahan penting dalam proses biologi dan fisiologi dalam tumbuhan dan haiwan [Callister, 2003].

Termoplastik terdiri daripada molekul individu yang tidak bergabung bersama secara kimia (Rajah 2.4 a). Ia terikat oleh ikatan sekunder van der Waals yang lemah di antara rantai-rantai polimer. Oleh itu, apabila ia dikenakan haba, ikatan sekunder dalam pepejal termoplastik ini akan terputus dan rantai-rantai di dalamnya boleh bergerak di antara satu sama lain atau mengalir untuk satu aturan baru jika tekanan dikenakan. Jika bahan termoplastik disejukkan, molekul-molekul akan terbeku dalam aturan baru dan ikatan sekunder akan wujud kembali. Oleh itu, bahan termoplastik boleh dipanaskan sehingga ia melembut dan cair dan kemudian dibentuk semula seberapa kali yang diinginkan [Fried, 1995, Mallick, 2008]. Antara contoh polimer termoplastik polikarbonat (PC), akrilonitril butadiena stirena (ABS) dan lain-lain lagi.

Polimer termoset pula mempunyai sifat yang sebaliknya, molekul-molekul dicantum secara kimia oleh ikatan paut-silang, ia membentuk satu struktur rangkaian tiga dimensi yang tegar (Rajah 2.4 b). Selepas ikatan paut-silang ini terbentuk semasa tindak balas pempolimeran (juga disebut tindak balas pematangan), polimer termoset tidak boleh dicairkan, walaupun dikenakan haba. Bagaimanapun, jika jumlah paut-silang rendah, ia mungkin masih boleh dilembutkan pada suhu tinggi [Mallick, 2008]. Antara contoh bahan polimer termoset termasuklah epoksi, fenolik poliester, busa poliuretana [Boogh dan Mezzenga, 2000]. Polimer poliuretana merupakan polimer yang akan dibincangkan secara lanjut kemudian.



Rajah 2.3 Contoh pengulangan unit polimer; (a) molekul polipropilena, (b) molekul nilon 6,6 [Mallick, 2008].



Rajah 2.4 Skematik mewakili (a) polimer termoplastik, (b) polimer termoset [Mallick, 2008].

## 2.4 Poliuretana

Poliuretana atau dengan singkatannya PU/PUR, merupakan polimer yang mengandungi satu rangkaian unit-unit organik yang disambung oleh rantaian uretana. PU terbentuk melalui pempolimeran langkah pertumbuhan ("*step-growth polymerization*") di mana suatu monomer yang mengandungi sekurang-kurangnya 2 kumpulan berfungsi isosianat bertindak balas dengan satu lagi monomer yang mengandungi sekurang-kurangnya 2 kumpulan berfungsi hidroksil (alkohol) dalam atau tanpa kehadiran mangkin [Allport et al., 2003, Iso Spray Foam Roof Insulation Services, 2011, Petrovic, 2004].

Sejarah PU bermula pada tahun 1930 di Jerman apabila Otto Bayer menggunakan di-isosianat dan diol untuk menghasilkan satu bahan makromolekul. PU komersil yang pertama, dihasilkan menggunakan di-isonianat heksametilena dan butanediol, yang mempunyai sifat yang sama dengan poliamida. Walaubagaimanapun, perkembangan dan permintaan yang banyak terhadap produk PU pada tahun 1950, dengan menggunakan toluena di-isosianat (TDI) dengan poliester polioliol untuk aplikasi busa bolehlentur. Pada hari ini, PU merupakan bahan polimer terbesar penggunaannya dalam industri yang berbeza seperti industri perabot, pembinaan, tekstil, kasut dan lain-lain lagi [Grünbauer et al., 2004, Petrovic, 2004].

PU terdiri daripada pelbagai kelas polimer yang sangat berbeza, tetapi hanya satu perkara sahaja yang sama iaitu setiap polimer PU wujud dengan kehadiran kumpulan

uretana ( $\text{--NH--}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{--O--}$ ) [Petrovic, 2004]. PU mempunyai ciri-ciri yang pelbagai dengan sifat yang berbeza, dalam julat kelenturan kepada kekerasan yang tinggi,

plastik, elastik atau termoset. Produk akhir boleh didapati dalam bentuk gentian, produk teracuan, filem ataupun cecair. Sifat yang dimiliki oleh PU dapat memenuhi aplikasi seperti getah terbusa bolehlentur untuk bahan penglitup kaku (*“rigid coating”*) untuk pelbagai substrat, bahan penglitup bolehlentur untuk kegunaan tekstil dan barangan kulit, gentian yang bersifat elastik dan perekat. Walaupun aplikasinya yang pelbagai, secara umumnya, komposisi kimianya lebih kurang sama [Tay, 2002, Frish, 1969, Kaplan, 1969]. Contoh-contoh aplikasi PU adalah seperti berikut [Allport et al., 2003, Petrovic, 2004, Tay dan Rozman, 2008]:

(a) pembusa kaku

- penebat haba bangunan, peti sejuk, peralatan pendingin beku, paip dan tangki simpanan
- alat bantu apungan dalam kapal dan peralatan pengapungan (*“flotation equipment”*)
- perabot
- peralatan rumah

(b) pembusa bolehlentur

- perabot isi rumah termasuk perlapisan (*“bedding”*)
- tempat duduk untuk automotif
- bantalan untuk pelbagai aplikasi industri
- tekstil lamina

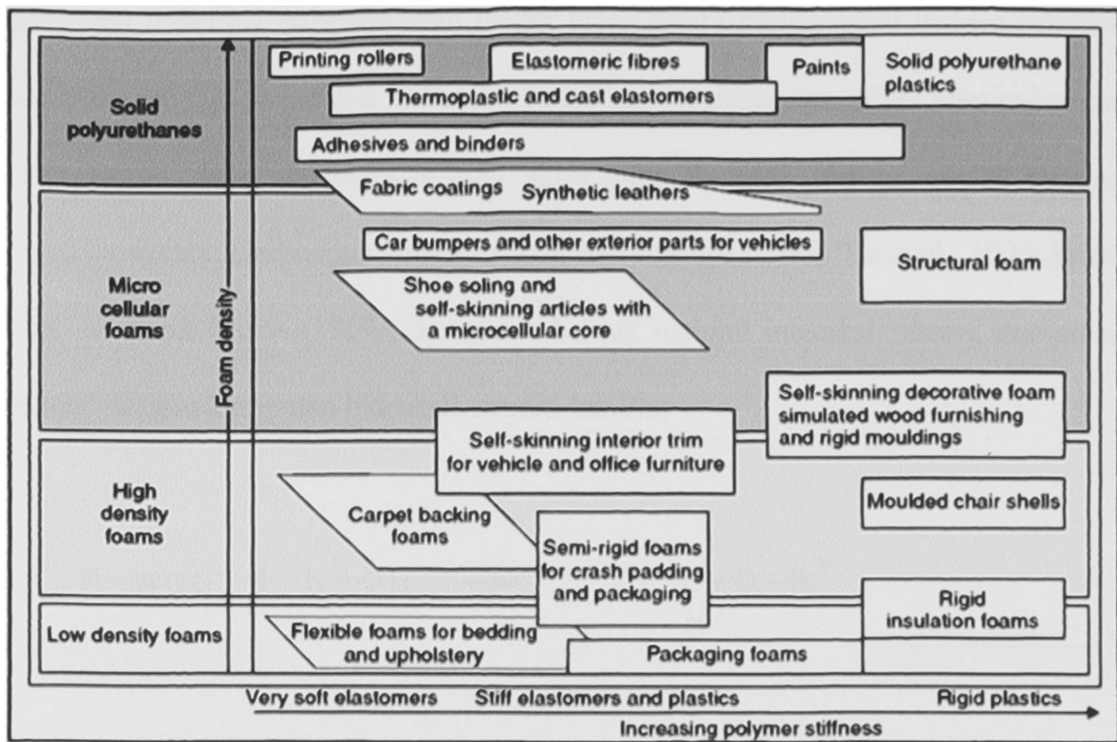
(c) semi-kaku dan struktur busa berketumpatan rendah

- roda kemudi, penyangga kepala (“*headrests*”) dan komponen-komponen dalam otomotif
- perabot
- peralatan sukan seperti ski, raket dan papan peluncur

(d) elastomer

- pelapis kasut
- panel badan kenderaan
- penggelek dan gear roda
- alat pengangkut (“*conveyor*”)
- pendedap untuk aplikasi pembinaan dan otomotif
- gentian

Rajah 2.5 menunjukkan secara ringkas bidang-bidang aplikasi bahan poliuretana dalam industri mengikut sifat kekakuan dan ketumpatan produk dari berketumpatan rendah hingga bentuk tegar.

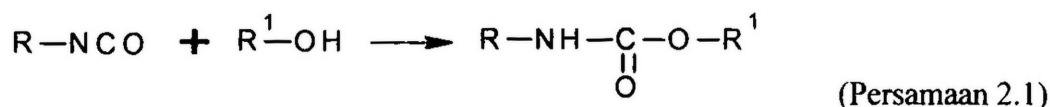


Rajah 2.5 Aplikasi poliuretana mengikut sifat-sifatnya [Allport et al., 2003].

Poliisosiyanat merupakan bahan utama dalam kimia PU. Struktur umumnya adalah  $R-(NCO)_n$ , di mana  $n$  kebiasaannya 2-4 atau lebih, dan  $R$  merupakan kumpulan aromatik atau alifatik [Frish, 1969, Grünbauer et al., 2004, Petrovic, 2004]. Poliuretana mempunyai kelas polimer yang sangat meluas, tetapi yang menyamakan kesemua

polimer ini adalah dengan kehadiran kumpulan uretana ( $-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-$ ) dalam rantai utamanya. Bilangan kumpulan polimer ini berkemungkinan kecil jika dibandingkan dengan kumpulan polimer lain di dalam rantaian (sebagai contoh kumpulan ester atau eter dalam elastomer), tetapi polimer yang terhasil masih tergolong dalam kumpulan poliuretana yang hanya dibezakan daripada struktur dan sifat-sifat akhir poliuretana.

Poliuretana terbentuk daripada hasil tindak balas antara poliisosianat dengan sebatian yang mengandungi kumpulan hidroksil. Pemilihan isosianat dan polioliol atau gabungan kedua-duanya, dapat menentukan sifat akhir yang diinginkan. Hal ini adalah penting dengan mengetahui hubungan antara struktur dan sifatnya [Dwan'Isa et al., 2005, Frisch, 1969]. Menurut Frisch (1969), uretana terbentuk melalui interaksi antara kumpulan isosianat dengan kumpulan hidroksil, seperti berikut;

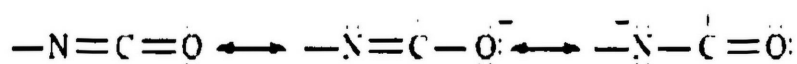


Apabila diisosianat dan polioliol berinteraksi, polimer PU terpaat-silang akan terbentuk. PU terpaat-silang juga boleh terbentuk apabila suatu sebatian yang mempunyai tiga atau lebih kumpulan isosianat berinteraksi dengan diol, tetapi ianya kurang diminati secara komersial [Allport et al., 2003].

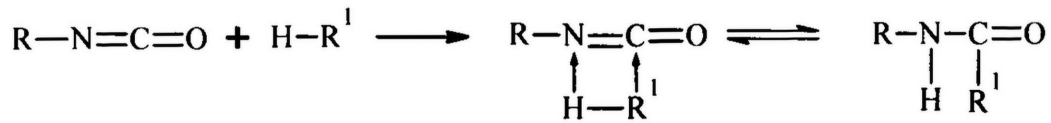
## 2.4.1 Kimia Poliuretana

### 2.4.1.1 Tindak Balas Asas Isosianat

Kereaktifan kumpulan isosianat sangat tinggi disebabkan struktur elektron yang mana isosianat berkemungkinan bertindak dalam satu atau lebih struktur resonans seperti yang berikut;

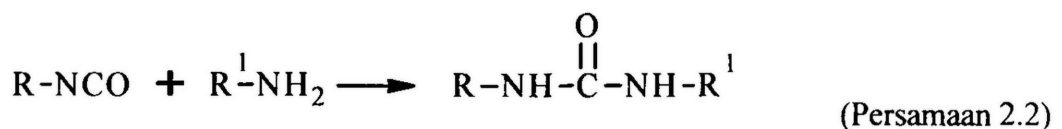


Mengikuti ketumpatan elektron yang tertinggi ialah oksigen (elektronegatif) dan yang paling rendah pula merupakan karbon (elektropositif), manakala nitrogen mempunyai keelektronegatifan yang rendah daripada oksigen. Oleh itu, NCO mudah bertindak balas dengan penderma-penderma proton:



Walau bagaimanapun, serangan nukleofilik isosianat sama seperti elektrofilik. Tindak balas nukleofilik isosianat dengan alkohol atau sebatian yang mengandungi kumpulan hidroksil yang ditunjukkan dalam Persamaan 2.1 akan menghasilkan uretana (karbamat) [Dwan'Isa et al., 2005, Frish, 1969].

Terdapat banyak tindak balas yang terlibat dalam pembuatan poliuretana. Dua tindak balas yang penting masing-masing ditunjukkan dalam persamaan 2.2 dan 2.3. Tindak balas isosianat dengan amina akan mempengaruhi pembentukan urea seperti persamaan 2.2:

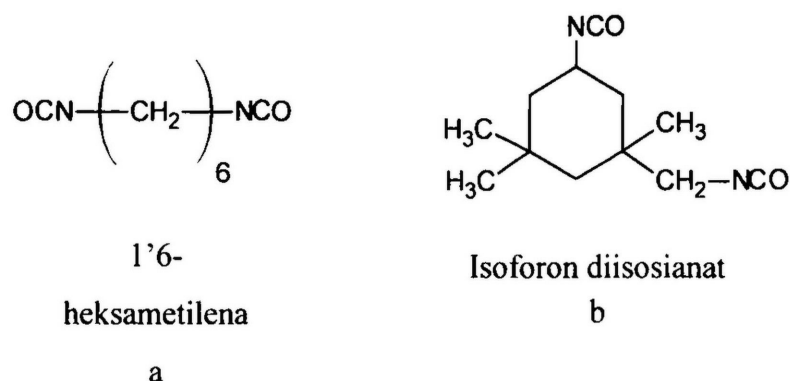


Manakala dalam kebanyakan kes, tindak balas isosianat dengan hidroksil dan amina akan membentuk polimer poli(urea-uretana). Dengan kehadiran air, ia juga akan bertindak balas dengan kumpulan isosianat dan membentuk rangkaian urea dan karbon dioksida seperti persamaan 2.3 :



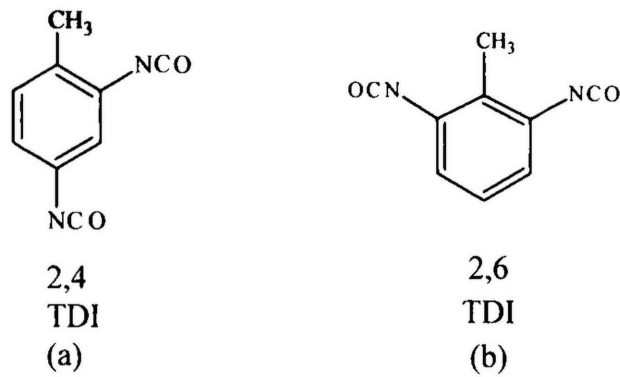
## 2.4.2 Jenis Isosianat

Isosianat merupakan bahan kimia penting dalam pembentukan PU. Molekul yang mempunyai dua kumpulan berfungsi isosianat dipanggil diisosianat. Isosianat dapat digolongkan kepada dua, iaitu isosianat aromatik dan alifatik. Sebatian isosianat aromatik merupakan sebatian yang penting dan lebih diminati kerana ia lebih reaktif dan murah berbanding sebatian isosianat alifatik. Terdapat dua jenis isosianat yang sering digunakan iaitu difenilmetana diisosianat (MDI) dan toluena diisosianat (TDI) [Allport et al., 2003, Frish, 1969]. Manakala isosianat alifatik pula adalah 1'6-heksametilena (HDI) (Rajah 2.6 a) dan isofofon diisosianat (IPDI) (Rajah 2.6 b) bestuktur seperti Rajah 2.6 di bawah:



Rajah 2.6 Struktur kimia isosianat alifatik; a) 1'6-heksametilena (HDI) dan b) isofofon diisosianat (IPDI) [Allport et al., 2003].

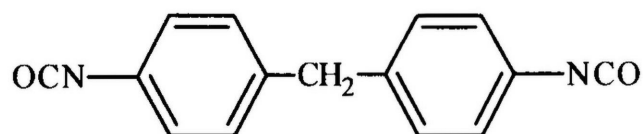
Toluena diisosianat (TDI) merupakan hasil keluaran produk yang terbesar daripada kimia isosianat. TDI merupakan diisosianat yang menawarkan dua jenis campuran dari 80% isomer 2,4 TDI dan 20% 2,6 isomer TDI seperti Rajah 2.7;



Rajah 2.7 Struktur kimia TDI; a) isomer 2,4 TDI dan b) 2,6 isomer TDI [Allport et al., 2003].

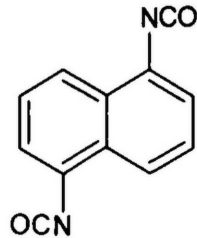
Campuran TDI komersial dengan nisbah isomer lain yang boleh didapati, termasuklah sebatian tulen 2,4 TDI. Pengeluaran utama TDI pada tahun 1988 yang banyak digunakan ialah PU pembusa boleh lentur. Bagaimanapun, TDI juga penting dalam pengeluaran produk separa tegar (“*semirigid*”).

Difenilmetana diisosianat (MDI) merupakan poliisosianat aromatik, dengan hasil keluaran kedua terbesar dalam pasaran. Produk komersil yang dihasilkan daripada MDI mengandungi tiga isomer utama. MDI juga boleh terdiri daripada komponen yang mempunyai lebih daripada dua cincin benzena dan dua kumpulan isosianat yang mempunyai kereaktifan yang sama seperti struktur berikut;



MDI jenis ini dikategorikan sebagai polimer MDI yang menawarkan pelbagai jenis produk untuk aplikasi yang berbeza.

Terdapat satu lagi jenis isosianat lain iaitu naftalena -1,5-diisiosianat (NDI). Ia sering digunakan untuk pembuatan elastomer tuangan berprestasi tinggi. Struktur NDI adalah seperti berikut Rajah 2.8;



Rajah 2.8 Struktur kimia NDI [Allport et al., 2003].

Isosianat boleh diubahsuai seterusnya apabila sebahagiannya bertindak balas dengan polioliol membentuk pra-polimer. Satu kuasi-prapolimer terbentuk apabila nisbah stoikiometri kumpulan isosianat dengan hidroksil lebih besar daripada 2:1. Ciri-ciri penting isosianat ialah tulang belakang molekulnya, peratus kumpulan berfungsi NCO dan kelikatannya [Allport et al., 2003, Frish, 1969, Macosko, 1989, Petrovic, 2004, Tay, 2002].

#### 2.4.3 Jenis Polioliol

Komponen kedua terpenting dalam penghasilan polimer poliuretana ialah sebatian yang mempunyai kumpulan berfungsi hidroksil (OH) atau dikenali sebagai polioliol. Polioliol yang sering digunakan untuk menghasilkan PU adalah polieter dan poliester. Suatu molekul yang mempunyai dua kumpulan berfungsi hidroksil dipanggil dioliol, sekiranya molekul mempunyai tiga kumpulan berfungsi hidroksil dipanggil trioliol. Kegunaan utama polimer polioliol adalah sebagai bahan tindak balas untuk polimer lain [Brent Strong, 2002, Cateto et al., 2008, Frish, 1969].