



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN *CARBON NANOTUBE* PADA  
KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT TANDAN  
KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN RESIN EPOKSI**

**SKRIPSI**

**HARYO WIBISONO**

**0806333101**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN *CARBON NANOTUBE* PADA  
KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT TANDAN  
KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN RESIN EPOKSI**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HARYO WIBISONO**

**0806333101**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

i

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

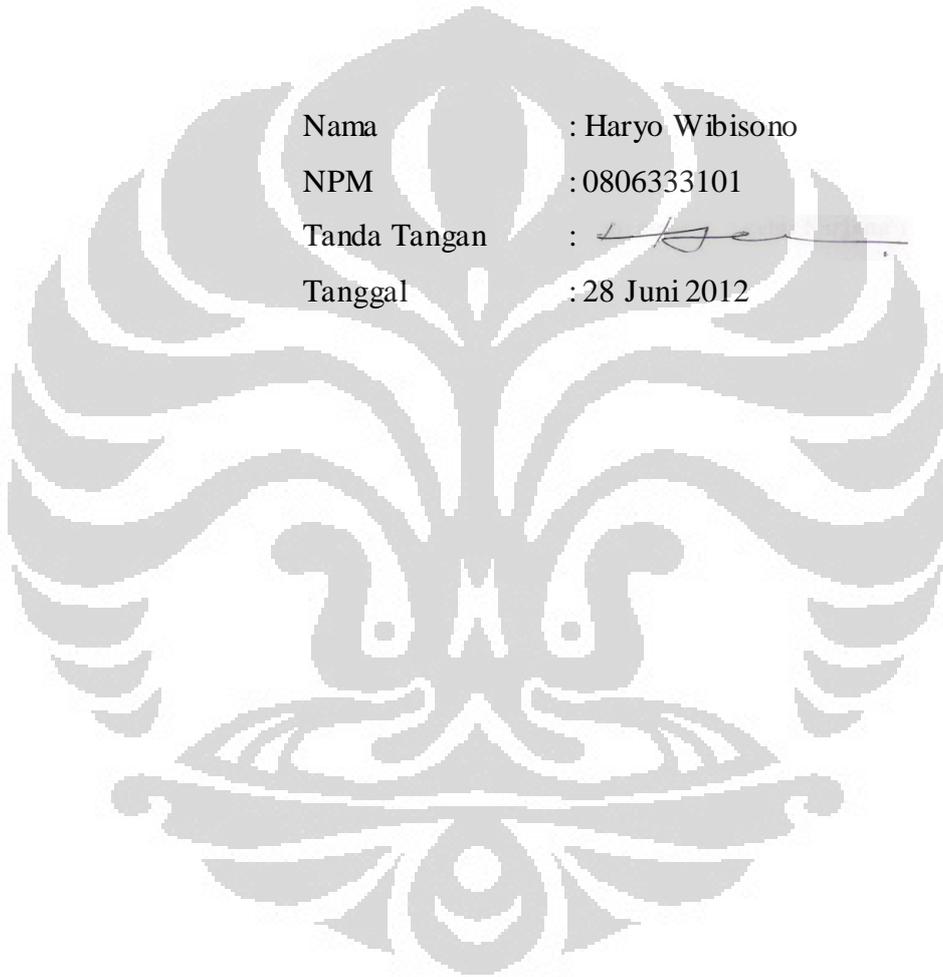
Makalah skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Haryo Wibisono

NPM : 0806333101

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2012



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Haryo Wibisono

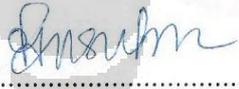
NPM : 0806333101

Program Studi : Teknik Kimia

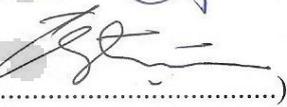
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan *Carbon nanotube* Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Resin Epoksi

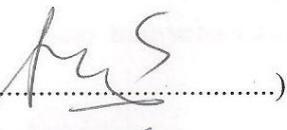
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

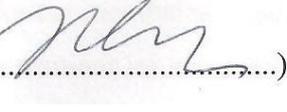
### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, M.T. (.....)

Pembimbing 2 : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng (.....)

Penguji 1 : Dr. Ir. Tania Surya Utami, M.T. (.....)

Penguji 2 : Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc. Ph.D. (.....)

Penguji 3 : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam, M.T. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan makalah seminar ini. Penulisan makalah skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan makalah ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan makalah skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Praswasti P. D. K Wulan, M.T dan Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan makalah skripsi ini;
2. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto selaku kepala Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia yang telah mengajar dan memberi wawasan kepada mahasiswa teknik kimia;
4. Seluruh laboran dan staff Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan makalah skripsi ini;
5. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
6. Sahabat serta rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga makalah seminar ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haryo Wibisono  
NPM : 0806333101  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Pengaruh Penambahan *Carbon nanotube* Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Resin Epoksi”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2012

Yang menyatakan



(Haryo Wibisono)

## ABSTRAK

Nama : Haryo Wibisono  
Jurusan : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Penambahan *Carbon nanotube* Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Resin Epoksi

TKKS merupakan limbah perkebunan kelapa sawit dengan kandungan serat selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun komposit. Komposit serat alami dengan matriks epoksi dikenal memiliki resistansi kimia yang baik. Penambahan *carbon nanotube* pada komposit diketahui melalui banyak penelitian dapat meningkatkan sifat mekanik. Pada penelitian ini dilakukan penambahan *carbon nanotube* pada komposit serat TKKS dengan matriks epoksi sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks yang digunakan. Serat TKKS didapatkan dengan metode *chemical retting*. Untuk meningkatkan kompatibilitas, fungsionalisasi dan perlakuan *carbon nanotube* dan serat TKKS dilakukan dengan metode *mild acid oxidation* dan *silane coupling agent* dan terbukti tidak merusak struktur dan ukuran *carbon nanotube*. Penambahan *carbon nanotube* meningkatkan kekuatan tarik komposit serat TKKS dengan matriks epoksi sebesar 10,03%, 4,75%, dan 7,75% dan kekuatan tekuk sebesar 51,64%, 65,8%, dan 105,9% masing-masing untuk penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks yang digunakan.

**Kata kunci:** komposit, *carbon nanotube*, TKKS, epoksi, *silane coupling agent*

## ABSTRACT

Name : Haryo Wibisono  
Major : Chemical Engineering  
Title : The Effect of Carbon nanotube Addition on Mechanical Properties of Empty Palm Oil Fruit Bunch Fiber/Epoxy Multiscale Composite

Empty palm oil fruit bunch fiber is the side product of palm oil cultivation that contain cellulose fiber. This kind of fiber is usually used as composite reinforcement. Natural fiber reinforced composite with epoxy matrices well known of its chemical stability. Addition of carbon nanotube also known to strengthen epoxy based composites. In this research, carbon nanotube is added as much as 0,1%, 0,5%, and 1% wt in matrices. The empty palm oil fruit bunch fiber is prepared by chemical retting process. Functionalization and surface treatment of carbon nanotube and natural fiber with mild acid method and silane coupling agent are performed in order to increase the compatibility. It was proved by FE-SEM that no damage was occurred to the carbon nanotube. The addition of carbon nanotube has increased the tensile strength as much as 10.03%, 4.75%, and 7.75% and flexural strength as much as 51.64%, 65.8%, dan 105.9% each for addition of 0.1%, 0.5%, and 1% weight carbon nanotube.

**Key Word:** composite, carbon nanotube, empty palm oil fruit bunch, epoxy, silane coupling agent

## DAFTAR ISI

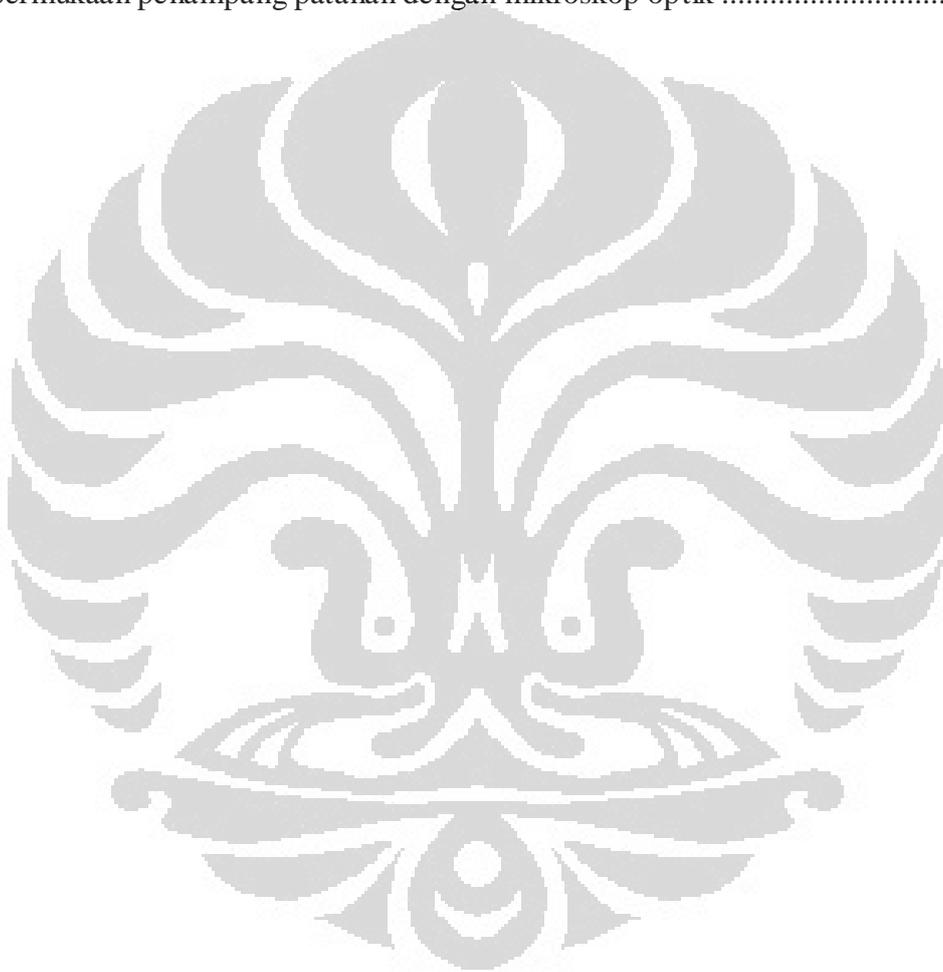
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Program .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Carbon nanotube .....	6
2.1.1 Sifat fisik Carbon nanotube .....	7
2.1.2 Carbon nanotube Sebagai Penguat dalam Komposit Poli mer .....	7
2.2 Kelapa Sawit .....	9
2.2.1 Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia .....	9
2.2.2 Serat TKKS Sebagai Komponen Komposit .....	10
2.3 Komposit .....	11
2.3.1 Jenis – Jenis Komposit .....	11
2.3.2 Komponen Komposit .....	12
2.3.3 Pembuatan Komposit .....	18
2.3.4 Komposit dengan Partikel Nano .....	19
2.3.5 Komposit Skala Multi (Multiscale Composite) .....	20

2.4 Silane coupling agent .....	21
2.5 Karakterisasi Sifat Fisik .....	24
2.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	24
2.5.2 Bending Test.....	25
2.5.3 Tensile Test.....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	28
3.2 Alat dan Bahan.....	28
3.3 Rancangan Penelitian .....	30
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Preparasi Serat TKKS .....	33
4.1.1 Chemical Retting TKKS.....	33
4.1.2 Perlakuan Permukaan Serat TKKS.....	34
4.2 Preparasi CNT .....	35
4.2.1 Fungsionalisasi Permukaan CNT .....	37
4.2.2 Perlakuan Permukaan CNT .....	39
4.3 Fabrikasi Komposit Multi Skala .....	42
4.4 Karakterisasi Sifat Fisik Komposit Multi Skala.....	42
4.4.1 Analisis Kekuatan Tarik (Tensile Strength) .....	42
4.4.2 Analisis Kekuatan Tekuk (Bending Strength).....	44
4.4.3 Analisis Morfologi Komposit dengan Mikroskop Optik .....	48
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) SWNT dan (b) MWNT (Paramitha, 2009) .....	6
Gambar 2.2 Struktur kimia selulosa (anonym 2010) .....	13
Gambar 2.3 Struktur Epoksi (Sitorus, 2009) .....	16
Gambar 2.4 Struktur TETA (triethylenetetramine) (Sitorus, 2009) .....	17
Gambar 2.5 Skema pembentukan crosslinking DGBA oleh TETA (Dinnensen, 2007) .....	17
Gambar 2.6 <i>Crack Bridging</i> oleh CNT pada polimer (Desai & Haque, 2005) .....	21
Gambar 2.7 Struktur $\gamma$ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane (Buyl et al., 2005) .....	23
Gambar 2.8 Hidrolisis, kondensasi, dan pembentukan ikatan kovalen dari silane kepada substrat inorganik (Buyl et al., 2005) .....	23
Gambar 2.9 Gambaran singkat uji tarik dan data yang dihasilkan (Prabowo, 2010) ..	26
Gambar 2.10 Kurva tegangan-regang (Prabowo, 2010) .....	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 4.1 (a) TKKS sebelum pemotongan, (b) TKKS setelah pemotongan.....	33
Gambar 4.2 (a) Serat TKKS setelah proses pemasakan bilah, (b) Lindi hitam .....	34
Gambar 4.3 Spektra FTIR Serat TKKS (a) sebelum perlakuan permukaan, (b) setelah perlakuan permukaan dengan <i>silane coupling agent</i> .....	36
Gambar 4.4 Campuran <i>carbon nanotube</i> dalam larutan $\text{HNO}_3$ (a) sebelum dan (b) sesudah sonikasi.....	37
Gambar 4.5 Spektra FTIR CNT (a) sebelum fungsionalisasi, (b) setelah fungsionalisasi, (c) setelah perlakuan permukaan dengan <i>silane coupling agent</i> . ....	38
Gambar 4.6 FE SEM dari <i>carbon nanotube</i> sebelum fungsionalisasi dan perlakuan permukaan.....	40
Gambar 4.7 FE SEM <i>carbon nanotube</i> setelah fungsionalisasi dan perlakuan permukaan.....	41
Gambar 4.8 komposit serat TKKS-epoksi-CNT dengan konsentrasi (a) 0% wt, (b) 0,1%, (c) 0,5%, (d) 1% .....	42
Gambar 4.9 Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM D638 tipe V .....	43
Gambar 4.10 Hasil karakterisasi sifat mekanik tensile strength dengan ASTM D638 .....	43

Gambar 4.11 <i>Crack bridging</i> pada pada retakan .....	44
Gambar 4.12 Dimensi specimen uji tekuk berdasarkan ASTM D790 tipe I .....	45
Gambar 4.13 Hasil karakterisasi sifat mekanik bending strength dengan ASTM D790 .....	45
Gambar 4.14 mekanisme penguatan interlaminar oleh carbon nanotube (Wicks, de Villoria, & Wardle, 2010) .....	46
Gambar 4.15 (a) Morfologi patahan komposit; (b) serat yang terputus pada permukaan penampang patahan dengan mikroskop optik .....	48



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan serat alam dan serat kaca (Daulay, 2009) .....	14
-----------------------------------------------------------------------	----



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 0% carbon nanotube .....	55
Lampiran 2 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 0,1% carbon nanotube .....	55
Lampiran 3 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 0,5% carbon nanotube .....	56
Lampiran 4 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 1% carbon nanotube .....	56
Lampiran 5 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0% carbon nanotube .....	57
Lampiran 6 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0,1% carbon nanotube .....	57
Lampiran 7 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0,5% carbon nanotube .....	58
Lampiran 8 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 1% carbon nanotube .....	58
Lampiran 9 Skema reaksi (a) hidrolisis GPTMS dan (b) permukaan serat TKKS dengan silanol .....	59
Lampiran 10 (a) Skema reaksi permukaan serat TKKS termodifikasi dengan (a) TETA dan (b) DGBA .....	59
Lampiran 11 Skema reaksi permukaan CNT terfungsionalisasi dengan silanol .....	59
Lampiran 12 (a) Skema reaksi permukaan CNT termodifikasi dengan (a) TETA dan (b) DGBA .....	60

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Oleh karena itu, kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang berperan besar dan dapat diandalkan dalam penerimaan devisa negara. Hal tersebut dapat dilihat dari data BPS (Badan Pusat Statistik) berupa nilai ekspor kelapa sawit dan turunannya yang mencapai US\$ 11,61 milyar, demikian juga dengan volume CPO (*crude palm oil*) yang produksinya diperkirakan meningkat 21,2 ton (14,23%) dari jumlah produksi tahun 2010. Berdasarkan publikasi dari data statistik Direktorat Jendral Perkebunan, Indonesia memiliki total perkebunan kelapa sawit seluas 8,04 juta hektar dengan produksi 19,76 juta ton CPO pada tahun 2010. Kebutuhan buah kelapa sawit akan meningkat tajam seiring dengan meningkatnya kebutuhan CPO dunia seperti yang terjadi beberapa tahun terakhir ini.

Meskipun kelapa sawit merupakan komoditas yang penting, akan tetapi industri perkebunan kelapa sawit cukup kontroversial karena selain perluasannya akan memakan luas hutan alam, industri perkebunan ini juga akan menghasilkan jumlah limbah yang sangat banyak. Berdasarkan pernyataan Subyakto (UPTBPP Biomaterial LIPI) yang dikutip pada harian Kompas, Jumat 18 Februari 2011, setiap tahunnya diperoleh 155,22 juta ton limbah kelapa sawit. Limbah tersebut dapat berupa pelepah, tandang kosong, batang, dan cangkang biji sawit. Jumlah yang sangat melimpah ini sangat berpotensi untuk menjadi sumber pemasukan bila dapat dimanfaatkan menjadi barang dengan nilai jual lebih tinggi.

Limbah sawit berupa pelepah, batang, tandang kosong, dan cangkang sawit dapat diambil serat kayunya kemudian serat ini dapat dimanfaatkan menjadi papan partikel dan papan komposit. Komposit sendiri merupakan bahan dengan dua penyusun yaitu bahan penguat dan matriks. Bahan penguat umumnya berupa serat, baik sintetis atau alami (contoh: serat kayu) dan matriks pada umumnya berupa resin polimer baik *thermoset* maupun *thermoplast*. Perbedaan mendasar antara papan partikel dan papan komposit adalah ukuran papan komposit yang jauh lebih tipis dan ringan namun lebih kokoh jika dibandingkan dengan papan

partikel. Pengaplikasian papan partikel umumnya sebagai penunjang industri furnitur, sedangkan papan komposit dapat lebih luas pemanfaatannya seperti pada industri interior otomotif karena membutuhkan spesifikasi sifat fisik yang tinggi. Pemanfaatan papan komposit dengan bahan serat kayu sawit dapat saja lebih luas dan bernilai jual lebih tinggi, seperti dalam industri *aerospace*, *aeromodeling*, elektronik, dan transportasi, bila saja dapat dibentuk dengan lebih tipis, lebih ringan, akan tetapi cukup kuat atau dapat dikatakan memiliki sifat mekanik yang baik.

Di lain sisi perkembangan teknologi nano semakin meningkat. Rekayasa material dalam skala nanometer, dapat menghasilkan perilaku sangat berbeda dan beragam dari yang umumnya diketahui pada skala makroskopik atau mikroskopik. Ukurannya yang kecil membuat material ini mempunyai sifat-sifat khusus yang tidak dimiliki oleh partikel lain yang berukuran lebih besar. Sifat unggul tersebut diantaranya adalah luas permukaan yang besar, perbandingan volume-luas yang besar, serta sifat mekanik dan elektrik yang baik. Keunggulan sifat mekanik ini diketahui dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada komposit (Bal & Samal, 2007). Penambahan *nanoclay* pada komposit kayu polimer bermatriks HDPE (*high density polyethylene*) dengan metode *melt blending* dan *direct dry blending* diketahui dapat memperbaiki sifat mekanik berupa kekakuan dan modulus lentur (*flexural*) (Faruk & Matuana, 2008).

Salah satu material nano yang banyak diteliti beberapa tahun terakhir adalah *carbon nanotube* (CNT). *Carbon nanotube* adalah sebuah struktur nano yang unik dari karbon dan dikenal memiliki sifat mekanik dan elektronik yang sangat baik (Harris, 2004). Sifat mekanik dan elektrik yang baik ini telah memicu pengembangan alat-alat nano-elektrik dan nano-mekanik. Sifat mekanik yang sangat baik dari *carbon nanotube* diperkirakan diakibatkan oleh ikatan karbon-karbon  $sp^2$  (Popov, 2004). Beberapa studi telah menunjukkan bahwa *carbon nanotube* dapat bertindak sebagai bahan penguat pada polimer (Schadler, Giannaris, & Ajayan, 1998), keramik (Peigney, Laurent, & Rousset, 1997), dan matriks metal (Kuzumaki, Miyazawa, & Ichinose, 1998). Penelitian yang telah dilakukan oleh Goerge R dimana *carbon nanotube* jenis dinding tunggal sebanyak 0,1% – 0,2% berat matrik dan jenis dinding jamak sebanyak 5% - 20% berat

matriks dapat meningkatkan konduktivitas elektrik dari matrik PVC dengan distribusi yang merata dan meningkatkan sifat mekanik dengan cukup signifikan (Broza, Piszczek, Schulte, & Sterzynski, 2007). Penelitian Lee dkk. menunjukkan bahwa penambahan carbon nanotube pada komposit serat karbon/epoksi dapat meningkatkan kekuatan ekanik dan elektrik dari komposit yang terbentuk (Lee, Rhee, & Park, 2011). Chandrasekaran (2010) dan Godara (2010) menunjukkan bahwa penambahan carbon nanotube pada komposit dengan serat kaca dan matriks epoksi dapat meningkatkan kekuatan interlaminar dan kekuatan retak komposit. Penggunaan serat alami dalam komposit dengan carbon nanotube telah dilakukan dimana penambahan carbon nanotube dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit dengan serat alami dari tumbuhan hemp dengan matriks epoksi (Longkullabutra, 2008).

Pada penelitian ini akan disusun komposit dengan penyusun berupa serat TKKS, matriks epoksi, dan *carbon nanotube*. Serat TKKS didapatkan dengan proses *chemical retting* bertekanan atmosferik dari serat TKKS. *Carbon nanotube* berupa MWCNT didapatkan dari Chendu Organic Chemicals .Co .Ltd Cina dengan diameter luar kurang dari 8nm, kemurnian lebih dari 95%, dan panjang rata-rata 30  $\mu\text{m}$ . MWCNT dioksidasi secara berurutan dengan  $\text{HNO}_3$  3M dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% v/v untuk membentuk gugus hidroksi pada permukaannya. Modifikasi permukaan pulp TKKS dan MWCNT teroksidasi dilakukan dengan *silane coupling agent* (GPTMS Silquest A187) untuk mengurangi polaritas permukaan. Papan komposit dibentuk dengan metode larutan yaitu dengan mendispersi dalam aseton dan kemudian mencampurkan dengan resin epoksi, campuran diaduk dengan suhu  $65^\circ\text{C}$  dan dibiarkan sampai semua aseton menguap. Setelah aseton menguap, pengeras ditambahkan ke dalam campuran dan dicetak pada cetakan terbuka. Kekuatan tarik dan kekuatan tekuk dari papan komposit yang terbentuk diukur untuk mengetahui pengaruh penambahan MWCNT pada komposit.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka masalah yang hendak diselesaikan adalah bagaimana membuat komposit berbahan dasar

serat tandan kosong kelapa sawit dengan *carbon nanotube* sebagai penguat sehingga dihasilkan papan komposit dengan sifat mekanik yang sangat baik.

### 1.3 Tujuan Program

Tujuan penelitian ini adalah membuat papan komposit berbahan dasar serat tandan kosong kelapa sawit dan mempelajari peningkatan sifat mekanis dari papan komposit dengan penambahan *carbon nanotube* sebagai bahan penguat.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- Tandan kosong kelapa sawit yang digunakan merupakan limbah dari perkebunan kelapa sawit yang berlokasi di provinsi Bangka Belitung
- *Carbon nanotube* yang digunakan adalah *Multi Walled Carbon nanotube* (MWNT) dengan diameter luar kurang dari 8 nm, panjang 30  $\mu\text{m}$ , dan kemurnian lebih besar dari 95% yang dibeli dari Chengdu Organic Chemicals Co. Ltd. Cina
- Matriks untuk polimer yang digunakan adalah epoksi dengan gugus Bisphenol A
- *Silane coupling agent* yang digunakan adalah  $\gamma$ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) produksi Momentive Inc. dengan merek dagang Silquest A-187®

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi tiga bab, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Dimaksudkan untuk mengarahkan penulis makalah seminar ini. Berisi latar belakang penelitian dan penulisan, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkupnya, serta sistematika penulisan makalah seminar ini.

## BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dimaksudkan untuk memberikan tinjauan pustaka dalam melaksanakan penelitian ini. Pada bab ini akan dijelaskan secara singkat dan padat mengenai beberapa hal yang terkait dalam penelitian ini. Diantaranya dijelaskan mengenai serat selulosa, TKKS, nanopartikel, *carbon nanotube*, komposit, nanokomposit, cara pembuatan komposit, sifat mekanik, karakteristik struktur fisik dan sifat mekanik material, serta karakterisasi.

## BAB III : METODE PENELITIAN

Dimaksudkan untuk memberi penjelasan metode yang akan diterapkan dalam penelitian. Bab ini berisi diagram alir penelitian, peralatan, bahan yang digunakan dalam percobaan, prosedur percobaan dan analisisnya, dan juga uji sifat fisik dan mekanik yang dilakukan.

## BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimaksudkan untuk memberikan penjelasan tentang hasil penelitian yang dilakukan beserta analisisnya.

## BAB V : KESIMPULAN

Dimaksudkan untuk memberikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Carbon nanotube

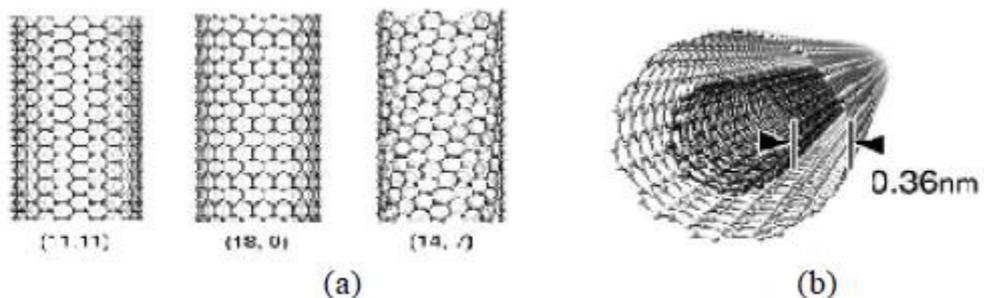
*Carbon nanotube* ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991. Karbon nanotube merupakan lembaran grafit yang membentuk tube/silinder. Jenis-jenis *carbon nanotube* antara lain :

➤ *Single-Walled Carbon nanotube* (SWNT)

Jenis ini berdiameter antara 0.4 nm dan 2.5 nm dengan panjang beberapa mikrometer sampai beberapa millimeter. SWNT memiliki tiga jenis bentuk struktur yang berbeda yaitu : armchair, zig-zag, dan helical type. Karbon nanotube jenis SWNT memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan jenis MWNT (*Multi Walled Carbon nanotube*). Akan tetapi, SWNT lebih sulit didapat dibandingkan MWNT. SWNT banyak dimanfaatkan sebagai *hydrogen storage* untuk fuel cell.

➤ *Multi Walled Carbon nanotube* (MWNT)

Karbon nanotube jenis ini merupakan SWNT yang tersusun secara aksial konsentris dengan jarak antara SWNT yang satu dengan yang lainnya sebesar 0.34 nm. Jumlah lapisan yang terdapat pada MWNT juga bervariasi antara dua sampai puluhan lapisan, sehingga memungkinkan diameter eksternalnya mencapai 100 nm. Aplikasi karbon nanotube jenis ini dapat berupa pemodifikasi adsorber atau agen penguat walaupun tidak sebaik SWNT. Perbedaan struktur antara SWNT dan MWNT ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) SWNT dan (b) MWNT (Paramitha, 2009)

### 2.1.1 Sifat fisik *Carbon nanotube*

*Carbon nanotube* memiliki banyak sifat fisik yang unggul sehingga produknya banyak dimanfaatkan dalam dunia industri untuk berbagai aplikasi. Sifat-sifat dan pemanfaatannya antara lain sebagai berikut :

➤ Kekuatan mekanis yang besar

Karbon nanotube jenis SWNT memiliki kekuatan tensil sebesar 50-100 GPa dan bilangan modulus Young sebesar 1-2 TPa. Sedangkan karbon nanotube jenis MWNT seperti dilaporkan Yu memiliki kekuatan tensile dan modulus Young masing-masing sebesar 11-63 GPa dan 270-950 GPa (Yu, Zhonghua, & Brus, 2001)

➤ Konduksi elektronik besar

Penambahan karbon nanotube dalam jumlah kecil ke dalam plastik dapat meningkatkan konduktivitas elektriknya. Hal ini memungkinkan pengerjaan electrostatic painting dalam proses pelapisan sparepart otomotif.

➤ Ratio L/d yang tinggi

Rasio panjang terhadap diameter yang tinggi memungkinkan aplikasi karbon nanotube sebagai bahan komposit

### 2.1.2 *Carbon nanotube* Sebagai Penguat dalam Komposit Polimer

Sifat mekanik dan elektrik yang dari *carbon nanotube* telah memicu pengembangan alat-alat nano-elektrik dan nano-mekanik. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa *carbon nanotube* dapat bertindak sebagai bahan penguat pada polimer (Schadler et al., 1998), keramik (Peigney et al., 1997), dan matrik metal (Kuzumaki et al., 1998). Konduktivitas, kekuatan, elastisitas, kekokohan, dan ketahanan dari komposit yang terbentuk dapat meningkat secara substansial dengan penambahan *carbon nanotube* (Bal & Samal, 2007). Penelitian yang telah dilakukan dimana SWNT sebanyak 0.1% – 0.2% berat matrik dan MWNT sebanyak 5% - 20% berat matriks dapat meningkatkan konduktivitas elektrik dari matrik PVC dengan distribusi yang merata dan meningkatkan sifat mekanik dengan cukup signifikan (Broza et al., 2007).

Pengaruh penambahan *carbon nanotube* pada komposit bermatriks polietilena sangat tergantung dari dispersitas *carbon nanotube* dalam matriks tanpa menghancurkan integritasnya (Kanagaraj, Varanda, Zhil'tsova, Oliveira, & Simões, 2007). Secara umum terdapat empat cara untuk mendispersikan *carbon nanotube* dalam matriks polimer yaitu *direct mixing*, *in situ polymerization*, *solution method*, and *melt processing* (Tang, Santare, & Advani, 2003). Proses *direct blending* melibatkan pencampuran mekanis *carbon nanotube* dalam resin berviskositas rendah seperti epoksi. Pada proses *in situ polymerization*, *carbon nanotube* ditambahkan dalam matriks yang belum terpolimerisasi, kemudian matriks di-*curing* agar terpolimerisasi. *Melt processing* memanfaatkan sifat *thermoplast* yang akan meleleh pada suhu relatif rendah, matriks yang telah meleleh dicampur dengan *carbon nanotube* lalu diaduk dengan sistem *double screw*, *slurry* yang terbentuk dimasukan kedalam cetakan. Pada *solution method*, *carbon nanotube* dilarutkan dalam pelarut kemudian dicampur dengan matriks. Pelarut akan mempermudah *carbon nanotube* untuk terdispersi karena fasanya cair, setelah tercampur dilakukan solidifikasi yaitu pengeringan cairan pelarut dan terbentuk komposit.

*Direct mixing* dan *in situ polymerization* umum digunakan pada matriks polimer *thermoset* karena viskositasnya sebelum terpolimerisasi cukup rendah. *Melt mixing* dan *solution method* umum digunakan pada matriks *thermoplast*, akan tetapi proses *melt mixing* memiliki beberapa kekurangan, yaitu menghasilkan gumpalan-gumpalan *carbon nanotube* dalam matriks (Tang et al., 2003). *Solution method* menghasilkan dispersi *carbon nanotube* yang baik sehingga menunjukkan peningkatan sifat mekanik (Kanagaraj et al., 2007). Pada penelitian tersebut *carbon nanotube* diperlakukan dengan asam nitrat dan asam sulfat konsentrasi tinggi, kemudian didispersi dalam air suling. Campuran ini kemudian dicampur dengan pelet HDPE sambil dipanaskan sampai pelarut menguap.

## 2.2 Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tumbuhan industri yang minyak dari buahnya dapat dimanfaatkan sebagai minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Klasifikasi tumbuhan kelapa sawit adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Arecales
Famili	: Arecales
Genus	: <i>Elaeis</i> Jacq
Species	: <i>Elaeis Guineensis</i> dan <i>Elaeis Olieifera</i>

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan luas dan jumlah produksi yang meningkat selama 10 tahun terakhir dimana pada tahun 2010 luas seluruh perkebunan kelapa sawit yang ada berkisar 7.824.623 hektar dan produksi minyak kelapa sawit sebanyak 19.844.901 ton ("Luas Areal dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia Menurut Pengusahaan," 2010).

### 2.2.1 Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia

Perkebunan kelapa sawit menghasilkan beberapa limbah yang sampai saat ini pemanfaatannya belum signifikan. Limbah-limbah tersebut diantaranya adalah pelepah, tandan kosong, batang, dan cangkang buah kelapa sawit. Menurut Subyakto anggota UPTBPP Biomaterial LIPI dalam harian Kompas Jumat, 18 Februari 2011 setiap tahunnya diperoleh 79 juta ton pelepah, 36,3 juta ton tandan kosong, 28,86 juta ton batang, dan 11,06 juta ton cangkang biji limbah kelapa sawit. Jumlah tersebut sangat berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi produk dengan nilai jual lebih tinggi dibanding limbah.

Salah satu limbah hasil perkebunan kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Tandan adalah tempat buah kelapa sawit menempel, Setelah buah kelapa sawit dipisahkan untuk kemudian diolah maka dihasilkan limbah berupa TKKS. Limbah berupa tandan kelapa sawit dapat digunakan

sebagai bahan dasar pembuatan komposit serat karena tandan kelapa sawit banyak mengandung komponen kimia kayu seperti lignin (24%), selulosa (44,14%), dan hemiselulosa (19,28%) (Trisyulianti, 1996). Komponen kimia kayu seperti selulosa dapat digunakan sebagai sumber serat alami dalam pembentukan bahan komposit serat.

### 2.2.2 Serat TKKS Sebagai Komponen Komposit

Sampai saat ini pemanfaatan TKKS masih sebatas pembuatan kompos dan bahan interior dengan cara memisahkan serat-serat TKKS. Meskipun demikian beberapa peneliti sudah mulai menyadari bahwa bentuk serat dan kandungan serat TKKS, yaitu selulosa dan hemiselulosa, dapat dimanfaatkan sebagai komponen komposit. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa serat TKKS dibentuk komposit dengan cara memadukannya dengan matriks thermoset (Bagus, 2011) dan matriks thermoplast (Trisyulianti, 1996)

Selulosa dan hemiselulosa dalam tubuh tumbuhan umumnya terbungkus secara fisik oleh lignin dan pektin. Pemisahan lignin dan pektin dari selulosa dapat dilakukan didasari oleh perbedaan kelarutan antara keduanya. Proses yang sering dilakukan untuk memisahkan lignin dan pektin dari selulosa adalah pulping atau *chemical retting*. Pulping merupakan proses pelarutan lignin (delignifikasi) melalui pemasakan bahan dengan larutan pemasak tertentu sedangkan *chemical retting* adalah teknik untuk mendapatkan serat selulosa dari komponen tumbuhan dengan bantuan bahan kimia. Pulping dan *chemical retting* pada umumnya melibatkan pemanasan sampai suhu 100°C dalam larutan pemasak tertentu seperti NaOH, KOH, atau asam sulfat cair dimana akan terjadi pemutusan ikatan lignin karbohidrat sehingga lignin yang lepas akan larut dalam larutan pemasak (Heradewi, 2007). Serat tumbuhan bisa didapatkan dengan lebih mudah dari tubuh tumbuhan setelah komponen perekat berupa lignin dan pektin larut dalam larutan pemasak.

Terdapat beberapa jenis proses *pulping*, diantaranya proses soda, asam, kraft, dan bertekanan. Proses soda melibatkan pemasakan dengan larutan NaOH dalam berbagai konsentrasi. Pada penelitian ini digunakan proses pemasakan soda karena dikenal sederhana dan cukup efektif untuk melarutkan lignin pada bahan.

Pemasakan TKKS dengan larutan NaOH 10% berat pada suhu 100°C selama 3 jam dapat melarutkan sebagian besar lignin yang terdapat pada komponen tumbuhan sehingga serat dapat dengan mudah dipisahkan (Anggraini & Roliadi, 2011)

## 2.3 Komposit

Material komposit adalah material hasil kombinasi buatan antara bahan berbeda sehingga diperoleh sifat bahan yang tidak dimiliki komponen penyusunnya secara individu. Komposit dapat dirancang sehingga memiliki sifat tertentu dengan cara memilih komponen-komponen penyusunnya, komposisi, distribusi, dan struktur antarmuka antara komponen penyusun. Karena kemampuannya dibuat memiliki sifat tertentu ini, pemanfaatan komposit sangat luas seperti pada bidang *aerospace*, otomotif, elektronik, konstruksi, biomedis, energi, dan industri lain.

### 2.3.1 Jenis – Jenis Komposit

Jika ditinjau dari unsur pokok penyusun komposit, maka komposit dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain :

a. Komposit Lapis

Komposit lapis merupakan jenis komposit yang terdiri atas dua lapisan atau lebih yang digabung menjadi satu dimana setiap lapisannya memiliki karakteristik berbeda. Sebagai contoh adalah *polywood laminated glass* yang merupakan komposit yang terdiri dari lapisan serat dan lapisan matriks, komposit ini sering digunakan sebagai bahan bangunan.

b. Komposit Serpihan

Suatu komposit serpihan terdiri atas serpih-serpih yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matriks. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh adalah bentuknya yang besar dan permukaannya yang datar.

c. Komposit Partikel

Komposit yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-

sama. Contoh komposit partikel yang sering dijumpai adalah beton dimana butiran-butiran pasir diikat bersama dengan matriks semen.

d. Komposit Serat

Komposit serat yaitu komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu lapisan. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintetis (asbes, kaca, boron) atau serat organik (selulosa, polipropilena, polietilena bermodulus tinggi, sabut kelapa, ijuk). Berdasarkan ukuran seratnya, komposit serat dapat dibedakan menjadi komposit berserat panjang dan pendek. Komposit serat pendek memiliki perbandingan panjang dan diameternya sebesar  $<100\text{mm}$ . Serat pendek ini dapat diorientasikan atau didistribusi secara acak. Komposit serat panjang lebih mudah diorientasikan dibandingkan serat pendek, akan tetapi komposit serat pendek lebih memiliki rancang design lebih banyak.

### 2.3.2 Komponen Komposit

Secara umum komposit disusun dari dua komponen yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks.

#### 2.3.2.1 Penguat (*reinforcement*)

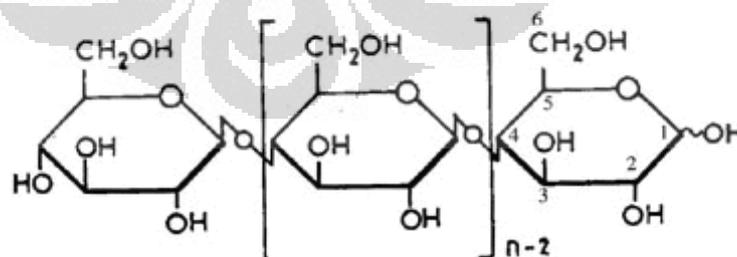
Komposit dapat dimodifikasi dengan penambahan pengisi (*filler*), setiap filler dapat memiliki peran yang berbeda seperti meningkatkan sifat elektrik dan sifat mekanik. Filler yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanik disebut penguat (*reinforcement*). Penguat atau sering disebut *reinforcement* berperan meningkatkan kekokohan dan kekuatan (*tensile* dan *flexural*) karena sifatnya yang tertarik sebagian saat terjadi deformasi. Penguat berperan juga sebagai kerangka yang memberikan struktur pada komposit. Efektifitas bahan penguat dalam komposit sangat dipengaruhi oleh interaksinya dengan bahan matriks, semakin baik interaksi antara permukaan penguat dan matriks maka semakin efektif efek penguatan yang diberikan. Jenis bahan penguat yang umumnya digunakan dalam komposit adalah serat. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintetis seperti serat kaca, logam, keramik, boron dan asbestos

maupun serat alami seperti serat selulosa, polypropilena, grafit karbon, sabut kelapa, dan lain-lain.

➤ Serat Selulosa

Selulosa adalah senyawa organik dengan formula  $(C_6H_{10}O_5)_n$  dan merupakan sebuah polisakarida dengan panjang rantai mencapai ratusan hingga ribuan. Terdapat dua sumber utama selulosa yaitu tumbuhan dan serat selulosa yang dihasilkan oleh bakteri atau disebut *Bacterial Celluloses* (BC). Serat selulosa dari tumbuhan memiliki keunggulan yaitu jumlah bahan baku yang sangat melimpah dan mudah didapat.

Selulosa pada tumbuhan terdapat pada beberapa bagian seperti pada batang dan bagian lain. Bagian tubuh tumbuhan umumnya tidak hanya mengandung selulosa tetapi juga lignin dan hemiselulosa, lignin membungkus selulosa oleh karena itu sebelum dapat dimanfaatkan untuk menjadi bahan penguat pada komposit, lignin perlu dilarutkan terlebih dahulu. Pelarutan lignin ini menghasilkan bahan yang hanya mengandung serat selulosa dan hemiselulosa yang disebut pulp. Struktur kimia dari selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.2 dimana terlihat bahwa antara molekul selulosa memiliki ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen antar molekul ini sangat kuat, hal ini menyebabkan selulosa tidak dapat larut dalam air walaupun memiliki banyak gugus hidroksil dan bersifat polar (Seymour, 1975). Sifat inilah yang dapat dimanfaatkan untuk memisahkan lignin dengan selulosa pada bagian tubuh tumbuhan.



Gambar 2.2 Struktur kimia selulosa (anonym 2010)

➤ Serat Kaca (*Fiberglass*)

Serat kaca adalah kaca dengan bentuk serat-serat halus. Material ini telah lama dikenal sebagai bahan penguat dalam komposit. Komposit yang sering digunakan dalam bidang otomotif, industri olahraga, konstruksi, dan *aerospace* umumnya menggunakan serat kaca sebagai penguat karena harganya lebih murah dibanding armid dan karbon. Akan tetapi terdapat beberapa kekurangan pada serat ini, diantaranya tidak dapat didaurulang, konsumsi energi dalam pembuatnya tinggi terkait dengan panas yang dibutuhkan untuk mencairkan pasir silika agar dapat dibentuk serat-serat kaca. Seiring berkembangnya isu lingkungan beberapa tahun terakhir maka sumber serat lain yang terbarukan mulai mendapat perhatian, salah satunya adalah serat selulosa. Penggunaan serat selulosa memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan penggunaan serat sintetik seperti serat kaca dalam pembuatan komposit. Beberapa keunggulan serat alam dibandingkan dengan serat kaca dapat terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan serat alam dan serat kaca (Daulay, 2009)

	Serat Alam	Serat Kaca
Densitas	Rendah	2x serat alam
Harga	Rendah	Rendah
Dapat diperbaharui	Ya	Tidak
Dapat didaurulang	Ya	Tidak
Konsumsi energy	Rendah	Tinggi
Disposal	Biodegradasi	Tidak biodegradasi
Abrasi	Tidak	Ya

Penggunaan serat selulosa sebagai penguat komposit akan lebih baik jika sumber selulosa yang digunakan berupa limbah karena tidak menambah bebah hutan dalam menyediakan sumber kayu. Oleh karena itu dalam penelitian ini selulosa yang digunakan berasal dari limbah industri kelapa sawit berupa tandan kosong kelapa sawit.

### 2.3.2.2 Matriks

Matriks berfungsi untuk menjaga penguat agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlaminer. Dalam pembuatan komposit, terdapat beberapa jenis matriks yang dapat digunakan diantaranya logam, keramik dan polimer. Komposit dengan matriks polimer jauh lebih mudah dibuat daripada komposit dengan matriks logam atau keramik. Hal ini terkait dengan rendahnya suhu operasi untuk membuat komposit bermatriks polimer dibandingkan komposit bermatriks logam dan keramik. Matriks polimer sendiri dapat dibagi berdasarkan jenis polimer yang digunakan, *thermoset* atau *thermoplast*.

#### ➤ Polimer Termoplastik

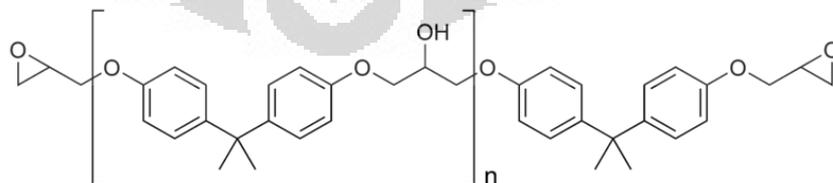
Polimer termoplastik adalah resin yang melunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan, atau dapat dikatakan bahwa proses pengerasannya bersifat *reversible*. Resin termoplastik memiliki kekuatan lentur yang lebih baik, ketahanan terhadap *cracking* yang lebih tinggi, dan lebih mudah dibentuk tanpa katalis dibandingkan dengan resin *thermoset*. Namun resin tipe ini sulit dikombinasikan dengan *reinforcement* karena viskositas dan kekuatannya yang tinggi. Selain itu kondisi operasi yang tinggi dalam membentuk komposit dari resin jenis ini juga membatasi pemakaian jenis penguat yang digunakan. Beberapa contoh resin termoplastik antara lain : *polyvinylchloride* (PVC), *polyethylene*, *polypropylene* dan lain-lain.

#### ➤ Polimer Termoset

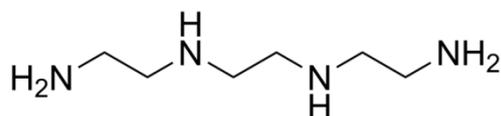
Polimer termoset adalah resin yang akan mengeras jika dipanaskan, namun jika dipanaskan lebih lanjut tidak akan melunak, atau dengan kata lain proses pengerasannya *irreversible*. Keunggulan dari jenis polimer ini untuk keperluan komposit adalah memiliki kekuatan yang lebih tinggi, harga yang lebih murah, dan memiliki stabilitas dimensi yang lebih baik namun lebih rapuh bila dibandingkan dengan polimer

thermoplast. Contoh resin termoset antara lain resin *phenolic*, polimer melamin, resin epoksi, *polyester*, silikon dan *polyamide*. Salah satu polimer termoset yang paling banyak digunakan untuk komponen komposit adalah epoksi

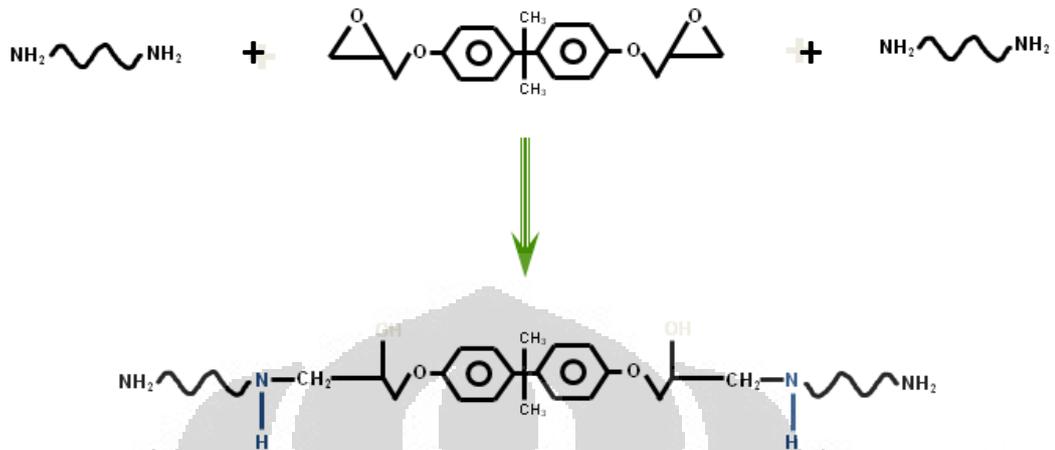
Epoksi atau epoksida adalah sebuah polimer termoset yang terbentuk dari hasil reaksi epoksi (resin) dan polyamine (pengeras/katalis). Epoksi merupakan sebuah copolymer, yang berarti dibentuk dari dua komponen kimia yang berbeda. Satu komponen (biasa disebut resin atau epoksi) merujuk pada komponen yang terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan gugus epoksi pada ujung-ujungnya. Pada umumnya resin atau epoksi diproduksi dari reaksi antara epichlorohydrin dan bisphenol-A. Struktur dari resin polimer epoksi yang tidak termodifikasi ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Pengeras atau umum disebut katalis pada dasarnya adalah monomer polyamine seperti triethylenetetramine (TETA) atau m-phenylenediamine. Struktur TETA yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4 menunjukkan gugus amin yang akan bereaksi dengan gugus epoksi dari resin epoksi. Istilah katalis yang sering digunakan tidak berarti bahwa komponen pengeras ini membantu reaksi yang terjadi sebagai katalis, karena sebenarnya merupakan reaktan dalam reaksi kopolimerisasi. Saat kedua bahan dicampurkan grup amine akan bereaksi dengan gugus epoksi, membuat polimer yang saling terkait dengan baik. Fenomena ini menyebabkan resin epoksi memiliki sifat fisik rigid dan kuat atau sering disebut dengan proses *curing*. Struktur molekul resin epoksi ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.3 Struktur Epoksi (Sitorus, 2009)



Gambar 2.4 Struktur TETA (triethylenetetramine) (Sitorus, 2009)



Gambar 2.5 Skema pembentukan crosslinking DGBA oleh TETA (Dinnensen, 2007)

Proses reaksi polimerisasi yang terjadi disebut *curing*. Waktu *curing* dapat ditentukan dengan cara menyesuaikan suhu, jenis resin dan pengeras, serta komposisi resin-pengeras. Beberapa kombinasi akan membutuhkan suhu cukup tinggi dan waktu cukup lama, sedangkan kombinasi lain dapat mengering (*cured*) dalam suhu lingkungan dan waktu yang singkat. Resin epoksi memiliki sifat fisik berupa kekedapan air yang tinggi, rigid, dan kuat. Resin epoksi juga dikenal memiliki sifat isolasi listrik yang tinggi. Penggunaan epoksi telah dilakukan sejak beberapa dekade yang lalu yang pada awalnya digunakan sebagai perekat. Saat ini epoksi digunakan dalam berbagai bidang seperti perekat, cat dan coating, komponen pembentuk komposit pada berbagai industri seperti otomotif, aerospace, dan perkapalan, serta sistem elektronik. Keunggulan resin epoksi antara lain:

- Kekuatannya tidak berubah dalam jangka waktu yang lama
- Memiliki resistansi minyak, lemak, alkali, dan pelarut aromatik
- Tahan cuaca panas dan dingin
- Kekuatan kohesif yang tinggi tanpa terjadi pengerutan

Penggunaan matriks polimer *thermoset* mulai mendapat perhatian akhir-akhir ini karena memiliki beberapa keuntungan seperti :

- Mudah dibentuk
- Kekuatan tinggi
- Tahan korosi
- Stabilitas dimensi yang baik
- Daya adhesi yang tinggi
- Suhu operasi penyusunan komposit lebih rendah dibanding polimer *thermoplast*
- Lebih murah dibanding polimer *thermoplast*

### 2.3.3 Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit sangat tergantung dari bahan-bahan yang digunakan seperti jenis serat dan jenis matriks. Pada umumnya komposit berserat pendek dan komposit partikel dibuat dengan cara mencampurkan serat atau partikel dengan resin cair sehingga menghasilkan *slurry*, dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan setelah mengeras dapat diangkat dari cetakan.

Untuk polimer termoplastik metode pencetakan yang ada meliputi *injection molding* (memanaskan polimer sampai diatas titik leleh kemudian mendorong *slurry* menuju cetakan berongga dengan mekanisme *screw*), *extrusion*, *calendering* (menempatkan *slurry* pada celah kecil antara dua penggulung), *thermoforming* (pemanasan sampai polimer melunak dan kemudian dientuk). Untuk polimer termoset pencetakan bertekanan dan pencetakan *matched die* (penggunaan tekanan dan suhu pada *slurry* dalam cetakan tertutup untuk mengeras resin termoset). The casting of the *slurry* into a mold umumnya tidak sesuai untuk dilakukan karena perbedaan densitas antara resin dan serat menyebabkan serat mengapung atau tenggelam dalam resin kecuali viskositas resin disesuaikan (Chung, 2009). Peningkatan dispersitas serat dan bahan penguat dapat dilakukan dengan cara mendispersi serat atau bahan penguat ke dalam pelarut volatile sebelum dicampur dengan resin. Pelarut tersebut kemudian diuapkan bersamaan atau sebelum *curing* dilakukan. Metode ini dikenal juga dengan metode larutan. Pada penelitian ini, pencampuran serat, bahan penguat, dan resin dilakukan dengan metode larutan. Campuran kemudian dicetak dalam sebuah cetakan terbuka berbentuk persegi panjang dengan ketinggian campuran yang diatur.

### 2.3.4 Komposit dengan Partikel Nano

Pada perkembangan teknologi komposit, telah berhasil ditemukan material nanokomposit. Nanokomposit merupakan material komposit dengan struktur berskala nanometer (Chung, 2009). Struktur ini terkait dengan ukuran butiran, ukuran pengisi, dan ukuran pori. Ukuran pengisi yang lebih kecil memungkinkan permukaan interaksi antara pengisi dengan matriks yang lebih besar per unit volume (Chung, 2009). *Nanofiller* pada komposit dapat berupa partikel nano (contoh: carbon black dengan ukuran partikel 30 nm dan partikel alumina berukuran 13 nm), serat nano (contoh : serat karbon nano dengan diameter 150 nm), tabung nano (contoh : *Carbon nanotube* dengan lapisan konsentrik tunggal, ganda atau jamak).

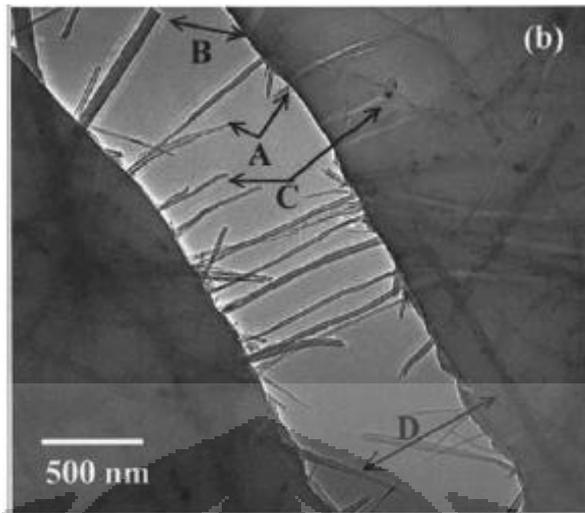
Nanokomposit memiliki keunggulan kekuatan mekanik dibandingkan dengan komposit pada umumnya. Hal ini dikarenakan partikel-partikel penyusunnya yang berukuran nano memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin tinggi kekuatan dari material tersebut. Permukaan partikel nano yang sangat luas berinteraksi dengan rantai polimer sehingga mampu mereduksi mobilitas rantai polimer, mentransfer beban yang terisi pada matriks, dan mencegah propagasi keretakan mikro pada bagian kaya matriks yang umumnya tidak dapat dilakukan oleh serat dalam skala makro dan mikro . Partikel nano juga dapat digunakan sebagai pengisi sekunder pada komposit yang mengandung pengisi utama karena memiliki kemampuan mengisi porositas yang tidak dapat terisi oleh polimer (Chung, 2009).

Contoh pemanfaatan partikel nano pada komposit adalah penambahan *nanoclay* pada komposit kayu polimer bermatriks HDPE (*high density polyethylene*) dengan metode *melt blending* dan *direct dry blending* diketahui dapat memperbaiki sifat mekanik berupa kekakuan dan modulus lentur (*flexural*) (Faruk & Matuana, 2008). Sifat fisik yang unggul serta rendahnya densitas yang dimiliki oleh CNT membuatnya material yang baik untuk digunakan sebagai bahan penguat komposit. CNT dianggap sebagai bahan penguat yang efektif karena hanya dengan jumlah kurang dari 5% berat dapat meningkatkan sifat mekanik polimer secara signifikan (M. Kim, Park, Okoli, & Zhang, 2009).

### 2.3.5 Komposit Skala Multi (*Multiscale Composite*)

Penggunaan serat sebagai penguat polimer telah diketahui dapat meningkatkan sifat fisik polimer melalui pembentukan material komposit. Komposit berpenguat serat dikenal memiliki rasio kekuatan:berat yang unggul serta mudah dibentuk. Sifat memperkuat yang dihasilkan didapat dari transfer beban pada komponen-komponen komposit sehingga sifat fisik komposit merupakan perpaduan antara sifat fisik komponen-komponen penyusunnya. Akan tetapi peningkatan kekuatan oleh serat umumnya hanya peningkatan kekuatan intra-bidang bukan pada inter-bidang (*through thickness properties*). Hal ini membuat komposit serat tidak dapat mencapai potensi pemanfaatannya secara maksimal (Green, Dean, Vaidya, & Nyairo, 2009).

Di lain sisi, melalui beragam penelitian telah terbukti bahwa partikel nano dapat meningkatkan sifat mekanik polimer. Partikel nano seperti CNT dapat mencegah inisiasi dan propagasi keretakan dalam skala kecil melalui mekanisme *crack bridging* pada skala mikro yang umumnya tidak dapat dilakukan oleh serat berukuran makro dan mikro (Ma, Kim, & Tang, 2007). Komposit dari polimer yang termodifikasi partikel nano disebut PNC (*polymer based nanocomposite*). Inkorporasi partikel nano pada polimer telah membuka paradigma baru mengenai bagaimana sebuah material komposit dapat dibentuk untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu. Karena sifatnya, PNC menjadi perhatian untuk menggantikan matriks konvensional pada komposit serat sehingga terbentuk composite dengan komponen penyusun berskala multi yaitu mikro (serat) dan nano (partikel nano). Komposit jenis ini disebut komposit skala multi (*multiscale composite*). Pada multiscale komposit, baik partikel nano dan serat berperan sebagai penguat matriks polimer (Qiu, 2008). CNT telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan fisik komposit serat karbon/epoksi (Godara et al., 2009) dan komposit serat kaca/epoksi (Warrier et al., 2010) melalui mekanisme *crack bridging* seperti diilustrasikan oleh Gambar 2. 6.



Gambar 2.6 *Crack Bridging* oleh CNT pada polimer (Desai & Haque, 2005)

*Multiscale composite* dengan komponen penyusun serat dan CNT dapat dibentuk dengan dua cara:

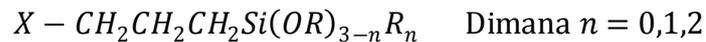
1. Mendispersi CNT dalam matriks polimer kemudian menggunakan matriks termodifikasi tersebut untuk membentuk komposit dengan serat, atau
2. Menumbuhkan CNT pada permukaan serat kemudian mencampurnya dengan matriks polimer untuk membentuk komposit

Cara pertama lebih mudah dilakukan dibandingkan dengan cara kedua karena penumbuhan CNT pada sebuah permukaan material memerlukan deposisi katalis yang baik dan melalui proses deposisi gas yang membutuhkan suhu tinggi (suhu CVD untuk gas metana dengan katalis Co 700°C (Paramitha, 2009)). Suhu yang tinggi akan membatasi jenis serat yang dapat ditumbuhi CNT.

#### **2.4 Silane coupling agent**

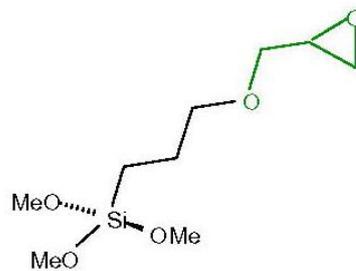
Efektivitas penguatan serat selulosa pada polimer sangat tergantung oleh kompatibilitas antara kedua bahan tersebut. Terdapat berbagai cara untuk meningkatkan interaksi permukaan bahan-bahan penyusun komposit sehingga dapat meningkatkan kompatibilitasnya. Perlakuan yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut sering disebut perlakuan permukaan (*surface treatment*). Perlakuan permukaan dapat berupa perlakuan mekanik seperti pengamplasan, etching, coating, sand blasting, dan sebagainya; atau perlakuan kimia seperti acid etching dan penggunaan coupling agent.

*Silane coupling agent* adalah molekul monomer silika yang mengandung dua gugus reaktif yang berbeda pada atom silika sehingga dapat berinteraksi dengan material yang sangat berbeda seperti permukaan inorganik dan resin organik melalui ikatan kovalen (Buyl, Corning, & Seneffe, 2005). *Silane coupling agent* memiliki beberapa kemungkinan struktur molekul dengan struktur umum

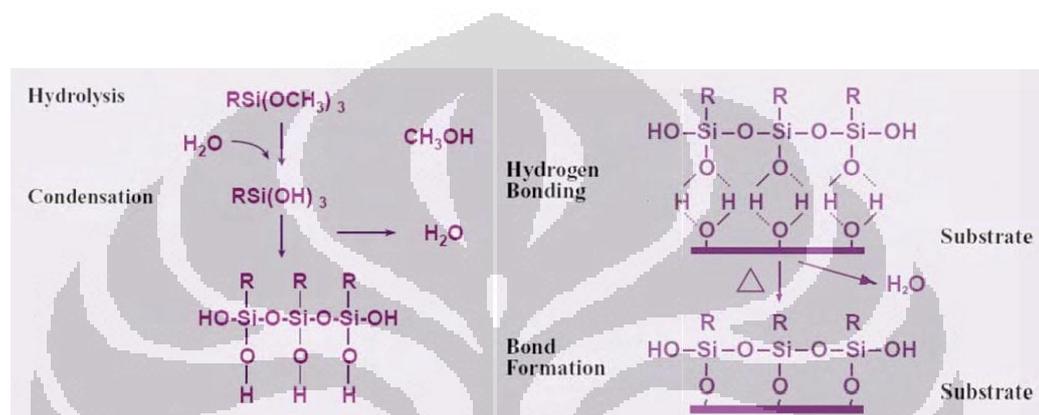


Gugus OR adalah gugus yang dapat terhidrolisis seperti gugus metoksi, etoksi, atau asetoksi. Gugus X adalah gugus organo functional seperti epoksi, amino, atau silfido. GPTMS ( $\gamma$ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane) mengandung gugus organo functional epoksi dengan struktur seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Ikatan Si-OR dapat dengan mudah terhidrolisis dengan air membentuk gugus silanol Si-OH. Gugus silanol ini dapat terkondensasi dengan sesamanya membentuk struktur polimeris yang sangat stabil dengan ikatan Si-O-Si. Hal ini menyebabkan terjadi pemasangan atau penggabungan permukaan yang sangat berbeda secara kimiawi seperti antara material organik dan inorganik (Buyl et al., 2005). Skema reaksi hidrolisis, kondensasi, dan pembentukan ikatan kovalen pada substrat inorganik ditunjukkan oleh Gambar 2.8

Selulosa memiliki banyak gugus hidroksi sehingga pada dasarnya larut dalam air, sedangkan epoksi tidak dapat larut dalam air. Perbedaan sifat ini menunjukkan kompatibilitas yang rendah bila keduanya digunakan langsung sebagai komponen penyusun komposit secara bersamaan dan akan berujung pada sifat mekanik yang kurang baik. Oleh karena itu diperlukan GPTMS (*silane coupling agent*). *Silane coupling agent* dapat bereaksi dengan gugus hidroksi pada selulosa sehingga dapat meningkatkan interaksi antara epoksi dengan selulosa menjadi lebih baik. Dengan interaksi dan disperse yang lebih baik, serat selulosa dapat dengan menjadi pendistribusi beban yang baik sehingga dapat meningkatkan kekuatan komposit. Perlakuan permukaan dengan *silane coupling agent* telah terbukti meningkatkan kekuatan mekanis dikarenakan dispersi dan adhesi yang baik pada matriks epoksi (Lu, Askeland, & Drzal, 2008)



Gambar 2.7 Struktur  $\gamma$ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane (Buyl et al., 2005)



Gambar 2.8 Hidrolisis, kondensasi, dan pembentukan ikatan kovalen dari silane kepada substrat inorganik (Buyl et al., 2005)

CNT merupakan bahan yang inert terkait dengan kuatnya ikatan antara atom karbon yang tersusun secara hexagonal. Susunan ini juga menyebabkan CNT mudah teraglomerasi sesamanya, membentuk gumpalan sehingga meminimalisir potensi-potensi terkait struktur tabung nano yang dimilikinya seperti kemampuan menghantarkan listrik selain itu dapat menyebabkan CNT tidak terdispersi secara merata dalam matriks komposit. Dalam material komposit, distribusi bahan pengisi yang tidak merata tidak hanya menyebabkan tidak berfungsi dengan baiknya bahan pengisi sebagai penguat namun juga dapat menyebabkan inisiasi keretakan lokal karena distribusi beban tidak merata sepanjang matriks. Fungsionalisasi gugus hidroksil dan karbonil pada CNT dengan proses oksidasi permukaan diketahui dapat mengurangi tendensi CNT untuk beraglomerasi (Datsyuk et al., 2008). Fungsionalisasi CNT dengan oksidator asam kuat seperti campuran  $\text{HNO}_3$  pekat dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat diketahui dapat merusak permukaan dan memotong CNT menjadi potongan kecil, hal ini

dapat mempengaruhi kemampuannya sebagai penguat matrik pada komposit (Avilés, Cauich-Rodríguez, Moo-Tah, May-Pat, & Vargas-Coronado, 2009). Oksidasi dengan  $\text{HNO}_3$  3M dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% v/v dan dengan bantuan getaran ultrasonic telah terbukti dapat memfungsionalisasi permukaan CNT tanpa merusak struktur tabung nano yang dimilikinya (Aviles, Rodriguez, Gonzales, & May-Pat, 2011). Lebih lanjut, perlakuan permukaan dengan GPTMS juga telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan flexural dan kekuatan retak komposit berbasis matriks epoksi (M. T. Kim, Rhee, Park, & Hui, 2010) serta dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit dengan matriks epoksi (Lee et al., 2011)

## 2.5 Karakterisasi Sifat Fisik

Berbagai metode karakterisasi material komposit pada saat ini telah banyak dikembangkan. Metode-metode ini diklasifikasikan dalam:

1. Observasi morfologi digunakan untuk mengetahui dimensi, distribusi, susunan serat
2. Observasi sifat mekanik digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan mekanik dari material komposit tersebut.

Dengan mengetahui morfologi dan sifat mekanik dari material komposit tersebut, maka akan dapat diketahui paduan material komposit apa yang layak untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan komposit produk baru misalnya *body* mobil dan *bumper*. Adapun karakterisasi material komposit yang dilakukan antara lain uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat persebaran *carbon nanotube* dalam matriks polietilena dengan perbesaran skala nano, serta uji mekanik dengan menggunakan uji tarik (*tensile test*), *bending test* untuk mengetahui nilai *tensile strength* dan modulus young komposit.

### 2.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Electron Microscopy* (EM) adalah salah satu teknik yang digunakan untuk karakterisasi material komposit. Dua teknik utama EM dibedakan menjadi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). SEM merupakan metode yang tepat untuk

mengkarakterisasi material komposit dengan batas resolusi mikroskop elektron 10 nm. Metode mikroskopi dapat secara cepat menunjukkan ukuran nominal dan bentuk serat. Permukaan spesimen yang akan diuji, di-*scan* dengan pancaran berkas elektron dan pantulan dari elektron ditangkap, kemudian ditampilkan diatas tabung sinar katoda. Bayangan yang tampak diatas *layer* menampilkan gambaran permukaan dari specimen

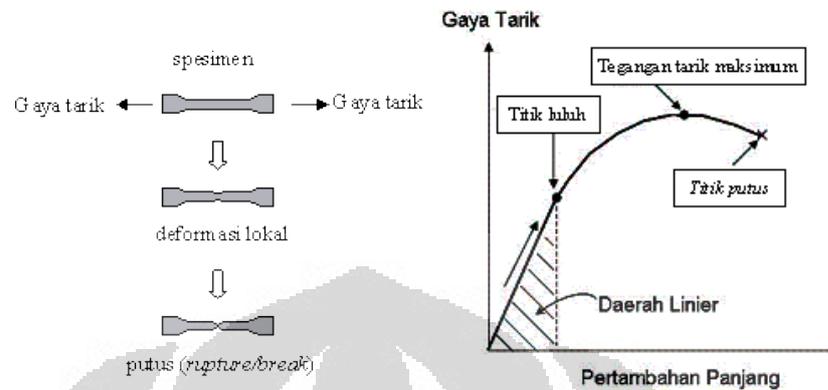
### 2.5.2 Bending Test

*Bending test* digunakan untuk menentukan *Modulus Young* ( $E$ ) dan *Bending Strength* ( $\sigma_b$ ). *Bending test* juga dikenal sebagai uji lengkung, digunakan untuk menentukan kekuatan material dengan menerapkan gaya ke bahan tersebut dan melihat bagaimana bereaksi di bawah tekanan. Biasanya *bending test* ini digunakan untuk mengukur keuletan bahan yang diuji yaitu kemampuan bahan untuk mengubah bentuk di bawah tekanan dan menjaga formilir yang secara permanen. Dalam kasus-kasus tertentu *bending test* dapat menentukan *tensile strength*. Bila menggunakan uji lengkung untuk tujuan ini, penguji memeriksa sisi mana material yang pertama kali patah untuk melihat seberapa besar kekuatan yang dimiliki material tersebut. Hal ini juga memungkinkan mereka tahu besar tekanan yang masih dapat ditahan. Dalam penelitian ini karakterisasi yang digunakan adalah *3 point bending test* dengan ASTM D638-77A.

### 2.5.3 Tensile Test

*Tensile test* digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari material komposit yang telah dibuat. *Tensile test* atau biasa disebut uji tarik merupakan salah satu jenis uji sifat mekanik paling dasar. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.9. Kurva ini

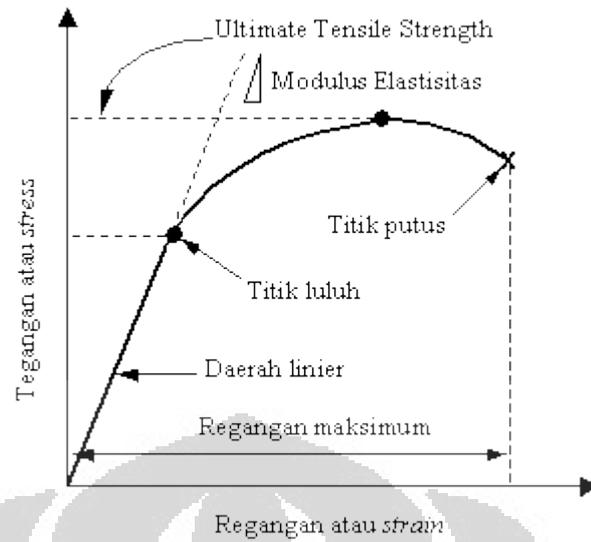
menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



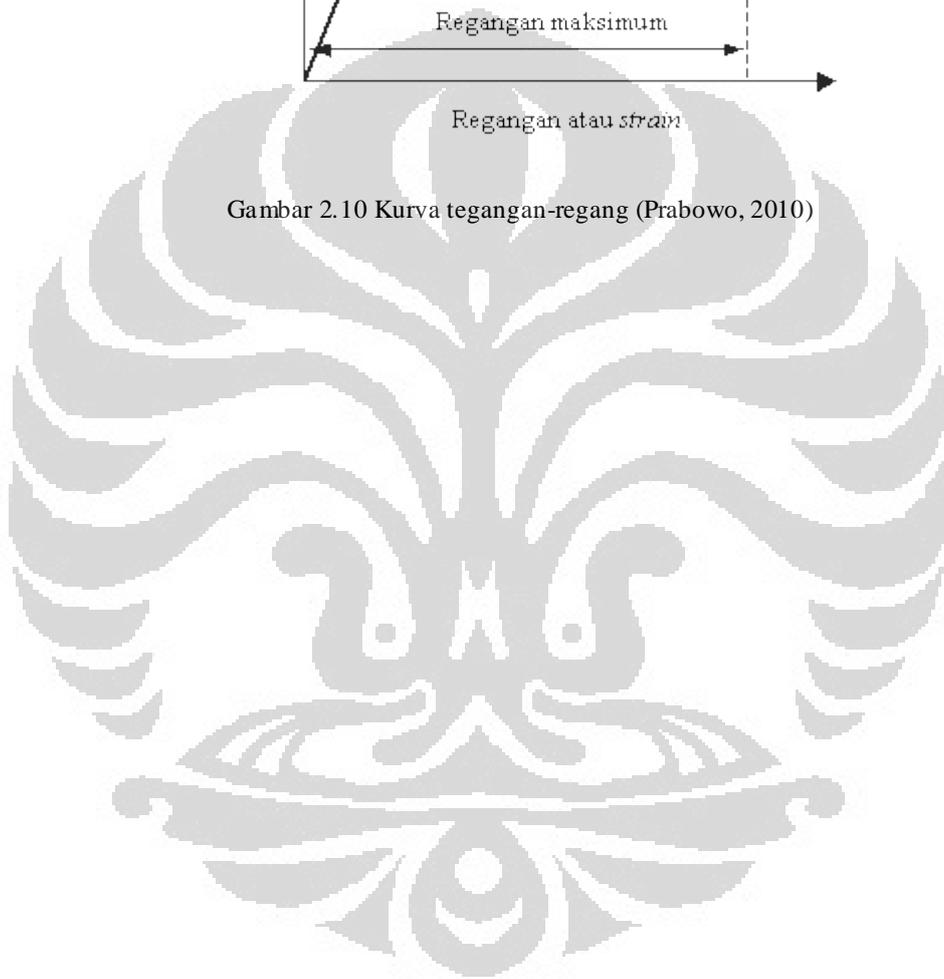
Gambar 2.9 Gambaran singkat uji tarik dan data yang dihasilkan (Prabowo, 2010)

Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut: *rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan*. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan. *Strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan. Untuk memudahkan pembahasan, Gambar 2.9 dimodifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*) seperti ditunjukkan Gambar 2.10, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik.  $E$  adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) selalu tetap.  $E$  diberi nama “Modulus Elastisitas” atau modulus Young. Pada penelitian ini karakteristik yang digunakan adalah *tensile test* ASTM D790-71 dengan *universal testing machine*.



Gambar 2.10 Kurva tegangan-regang (Prabowo, 2010)



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian akan dibagi dalam beberapa tahap, yaitu tahap pra-penelitian, penelitian, dan pasca penelitian. Tahap pra-penelitian adalah melakukan studi literatur mengenai hal-hal yang berhubungan dengan komposit, *Carbon nanotube* sebagai bahan penguat komposit, dan tandan kosong kelapa sawit. Sedangkan tahap penelitian terdiri dibagi menjadi tiga proses utama, yaitu preparasi serat TKKS dan *carbon nanotube*, pembuatan papan komposit dan karakterisasi sifat fisik papan komposit. Pasca penelitian adalah melakukan analisis dan kesimpulan hasil penelitian. Diagram alir penelitian seperti tersaji pada Gambar 3.1.

### 3.2 Alat dan Bahan

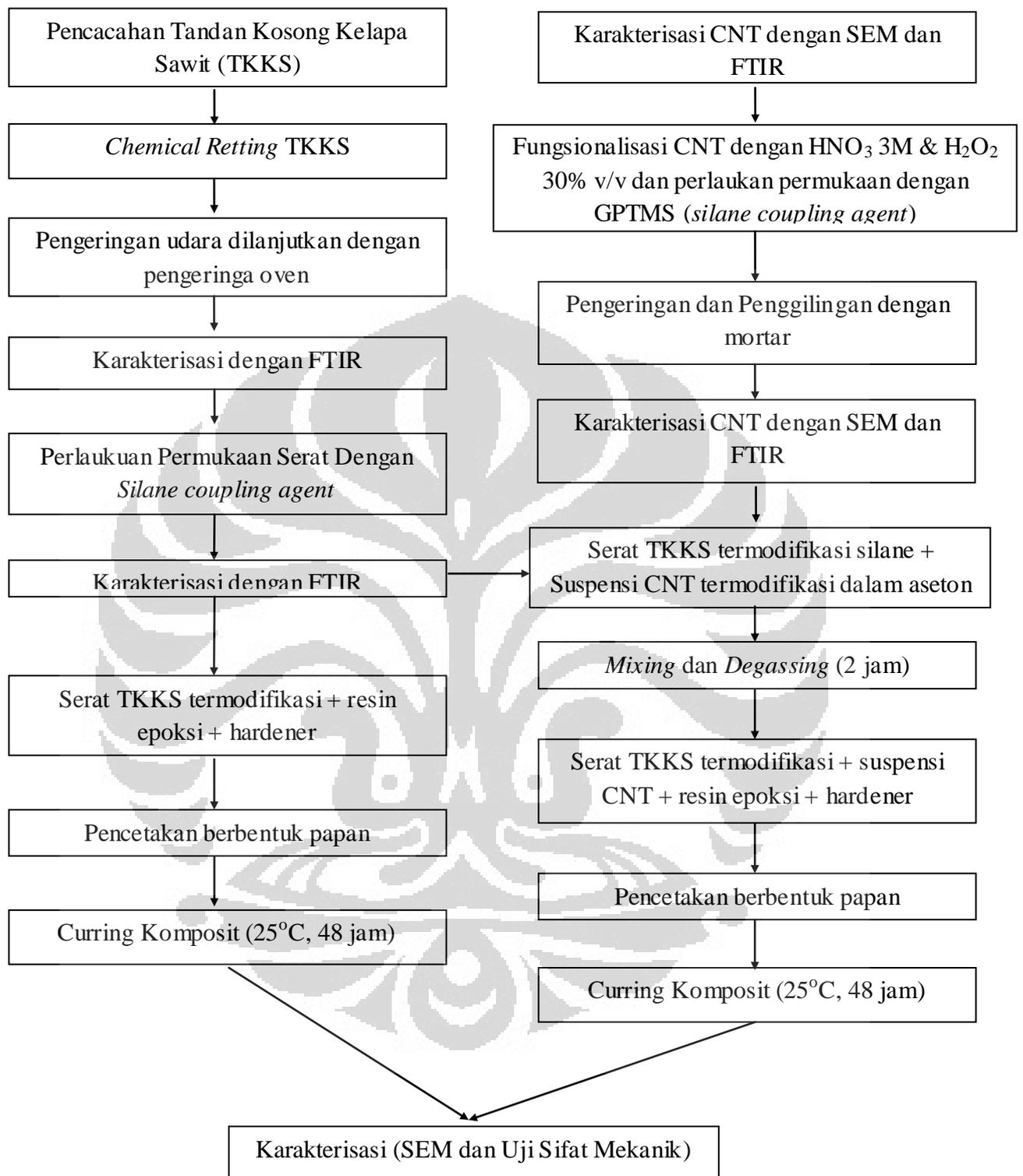
Peralatan :

1. Pisau Besar
2. *Beaker glass*
3. Ketel pemasak
4. Termometer
5. Oven
6. Ultrasonifikator
7. *Hot Plate Magnetic Stirrer*
8. Kertas Saring
9. *Vacuum Vask Filter*
10. SHIMADZU IR PRESTIGE-21 FTIR Spectroscopy
11. SHIMADZU AG-Xplus Material Universal Tester
12. Perkin Elmer FT-IR Spectrum

13. Wadah cetak berbahan plat alumunium

Bahan :

1. Tandan kosong kelapa sawit
2. *Multi Walled Carbon nanotube*
3. Methanol
4. Ethanol 96%
5. HNO<sub>3</sub> 65%
6. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95%
7. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% v/v
8. NaOH
9. Aseton
10. Air desalinasi
11. Epoksi dan *curing agent*
12. *Silane coupling agent* (GPTMS)



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.3 Rancangan Penelitian

- **Karakterisasi *Carbon nanotube* dengan SEM dan FTIR**

Karakterisasi dengan SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi *carbon nanotube* sebelum dan sesudah fungsionalisasi dan perlakuan permukaan. Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui spektra infra merah carbon nanotube sebelum diberikan perlakuan

- **Pemisahan bilah TKKS**

TKKS dibersihkan dipisahkan dari sisa kulit buah sawit kemudian bilah-bilah tandan kosong kelapa sawit dipisahkan dengan bantuan alat pemotong. Bilah-bilah yang telah terpisah kemudian dicuci dan dikeringkan di udara terbuka selama 3 hari.

- ***Chemical Retting***

TKKS dimasak dalam *digester* dengan konsentrasi NaOH pada larutan pemasak sebanyak 10% berat bilah TKKS kering. Larutan pemasak yang digunakan berjumlah 5,5 : 1 (v/b) terhadap berat serat kering. Pemasakan dilakukan pada suhu sekitar 100°C - 110°C selama 3 jam. Lindi hitam yang terbentuk dipisahkan dari serat dan serat dicuci dengan air sebanyak 3 liter sebanyak lima kali. Serat yang telah bersih dari sisa NaOH kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C.

- **Perlakuan Permukaan Serat Selulosa dan CNT**

Serat dan CNT perlu dimodifikasi permukaannya agar kompatibilitasnya dengan resin epoksi meningkat. Hal tersebut sangat berpengaruh pada sifat mekanik akhir dari komposit yang terbentuk. CNT yang telah dimurnikan ditambahkan ke dalam toluene untuk diultrasonikasi selama 30 menit. Campuran kemudian ditambahkan *silane coupling agent* 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) kemudian diaduk dengan suhu 60°C selama 6 jam. Setelah itu sisa coupling agent yang tidak bereaksi dilarutkan dengan methanol dan CNT termodifikasi dicuci dengan air suling

dan aseton. Setelah dicuci, CNT dikeringkan dalam oven bersuhu 80°C selama 12 jam.

Serat yang telah dihilangkan kadar ligninnya melalui proses *chemical retting* dicampur dengan larutan 10% volume GPTMS dalam etanol 95%. Sebelumnya larutan GPTMS dalam etanol diaduk terlebih dahulu selama 5-10 menit untuk membentuk senyawa sinol. Perendaman serat dilakukan selama 24 jam kemudian dikeringkan dalam suhu ruang selama 24 jam dan dilanjutkan pengeringan oven bersuhu 110°C selama 2 jam untuk memastikan *curing* gugus silane pada permukaan serat.

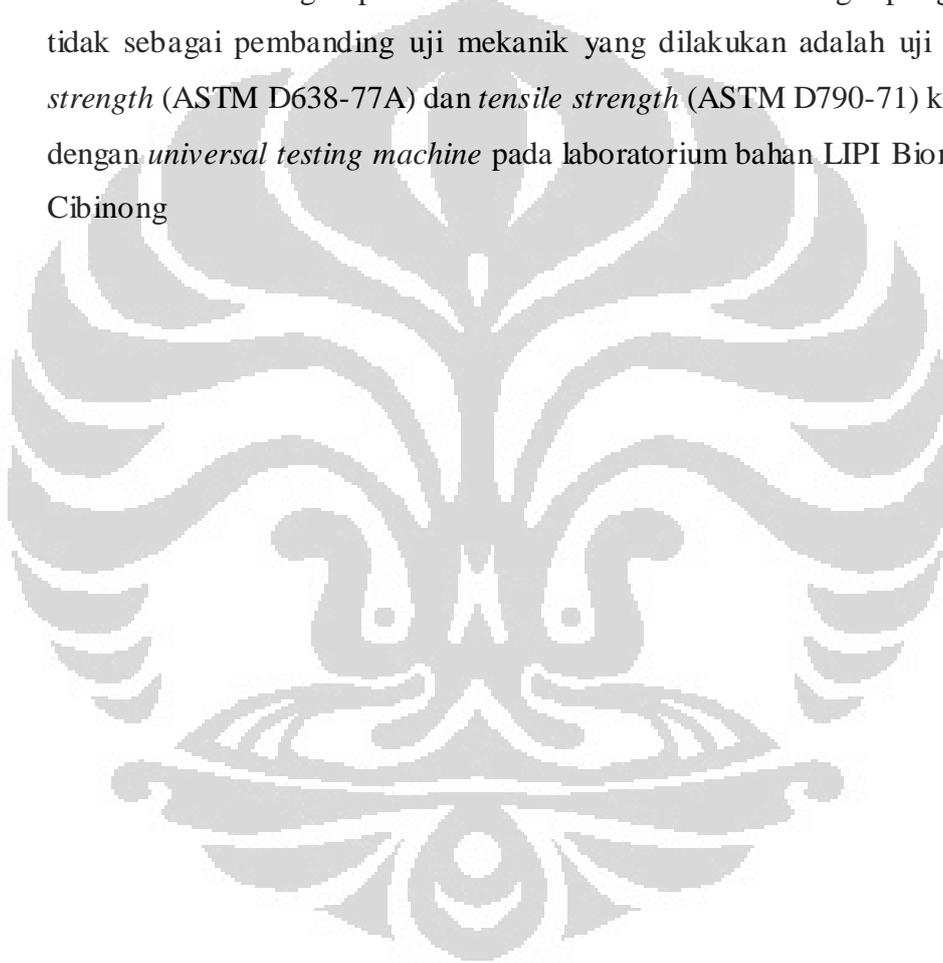
#### • **Pembentukan Komposit Epoksi/CNT-TKKS**

Serat dan CNT yang telah termodifikasi dicampurkan ke dalam aseton teknis untuk membentuk suspensi. Pengadukan dilakukan dengan bantuan ultrasonikator dan magnetic stirrer selama 30 menit. Setelah suspensi terbentuk, resin epoksi ditambahkan dalam suspensi dan dilakukan ultrasinikasi dan pengadukan kembali selama masing-masing 5 menit dan 3 jam. Tujuan pembentukan suspensi adalah untuk meningkatkan dispersitas serat dan CNT dalam resin epoksi. Dispersitas tersebut sangat mempengaruhi sifat mekanik komposit yang terbentuk, semakin baik dispersitas maka semakin baik sifat mekanik komposit. Jumlah *carbon nanotube* yang digunakan divariasikan yaitu 0,1%, 0,5%, dan 1% berat komposit untuk mengetahui komposisi optimal carbon nanotube sebagai bahan penguat.

Proses degassing dilakukan bersamaan dengan proses pengadukan yaitu dengan pemanasan dan pengadukan secara bersamaan dengan suhu diatas 60°C (titik didih aseton). Setelah pengadukan dan degassing selama 3 jam atau sampai seluruh aseton menguap, hardener ditambahkan dalam campuran suspensi dan epoksi untuk mempercepat proses *curing*. Campuran yang telah ditambahkan hardener ditambahkan serat TKKS sebanyak 10% berat komposit dan dituangkan pada cetakan aluminium yang telah dilasi agen pelepas untuk memudahkan pelepasan komposit dari cetakan. *Curing* dan *degassing dispersing agent* dilakukan secara bersamaan pada suhu 40°C selama 6 jam. *Post curing* dilakukan pada suhu 80°C selama 3 jam

- **Karakterisasi**

Karakterisasi yang dilakukan adalah SEM untuk mengetahui struktur *carbon nanotube* sebelum dan sesudah fungsionalisasi dan perlakuan permukaan. SEM juga dilakukan pada komposit yang terbentuk untuk mengetahui dispersitas *carbon nanotube* pada komposit dan uji sifat mekanik dan morfologi permukaan patah komposit yang dihasilkan. Pada uji sifat mekanik ini dilakukan untuk melihat performa papan komposit yang terbentuk baik dengan penambahan *carbon nanotube* sebagai penguat dan tidak sebagai pembanding uji mekanik yang dilakukan adalah uji *bending strength* (ASTM D638-77A) dan *tensile strength* (ASTM D790-71) keduanya dengan *universal testing machine* pada laboratorium bahan LIPI Biomaterial, Cibinong



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Preparasi Serat TKKS

Tandan kosong kelapa sawit yang digunakan berasal dari limbah perkebunan kelapa sawit di provinsi Bangka Belitung. TKKS berbentuk bongkahan bulat pipih dengan diameter 30-40 cm dan tersusun dari banyak bilah-bilah tempat bunga dan buah kelapa sawit sebelum dipanen. Bilah-bilah TKKS dipisahkan secara manual menjadi berukuran panjang 10-15 cm dengan alat pemotong. Hal ini bertujuan agar larutan pemasak pada proses *chemical retting* dapat meresap lebih baik sehingga dapat melarutkan lebih banyak lignin dan pektin pada TKKS. Perbandingan ukuran sebelum dan sesudah pemotongan ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Setelah pemotongan bilah kelapa sawit, pemisahan serat masih tidak dapat dilakukan secara manual karena serat-serat melekat satu sama lain dengan kuat membentuk bilah-bilah.



Gambar 4.1 (a) TKKS sebelum pemotongan, (b) TKKS setelah pemotongan

##### 4.1.1 *Chemical Retting* TKKS

Bilah-bilah yang telah kering kemudian dimasak dengan larutan NaOH dengan suhu 100°C selama 3 jam dalam tekanan atmosferik. Jumlah NaOH yang digunakan adalah 10% berat TKKS kering dan jumlah larutan pemasak adalah 1:5,5 (w/v) berat kering TKKS terhadap volume larutan pemasak. Pada proses ini 300 gr bilah TKKS kering diproses dengan larutan 30 gr NaOH dalam 1,7 liter air

distilasi. Setelah pemasakan, sebagian besar bilah TKKS terurai menjadi serat-serat seperti terlihat pada Gambar 4.2 (a) dan larutan pemasak berubah warna dari bening menjadi hitam kecoklatan atau umum disebut lindi hitam seperti ditunjukkan Gambar 4.2 (b). Hal ini terjadi karena larutan pemasak telah melarutkan sebagian besar pektin dan lignin yang semula merekatkan serat-serat TKKS sehingga serat-serat TKKS dapat terpisah dan larutan pemasak menjadi lindi hitam. Proses *chemical retting* dengan larutan NaOH ini didasarkan oleh kelarutan pektin dan lignin dalam larutan NaOH panas yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa yang terdapat pada TKKS (Anggraini & Roliadi, 2011). Serat-serat yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan oven bersuhu 110°C dan ditimbang setiap 10 menit sampai tidak ada penurunan berat serat TKKS untuk meminimalisir kandungan air dalam serat. Berat kering serat yang diperoleh adalah 243 gr atau 81 % berat kering bilah TKKS yang diproses. Kehilangan berat bilah sebanyak 19 % dikarenakan lignin yang semula terdapat pada bilah terlarut dalam larutan pemasak membentuk lindi hitam. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar lignin pada bilah telah terlarut dimana kadar lignin dalam TKKS adalah 22,12 % (Heradewi, 2007).



(a)

(b)

Gambar 4.2 (a) Serat TKKS setelah proses pemasakan bilah, (b) Lindi hitam

#### 4.1.2 Perlakuan Permukaan Serat TKKS

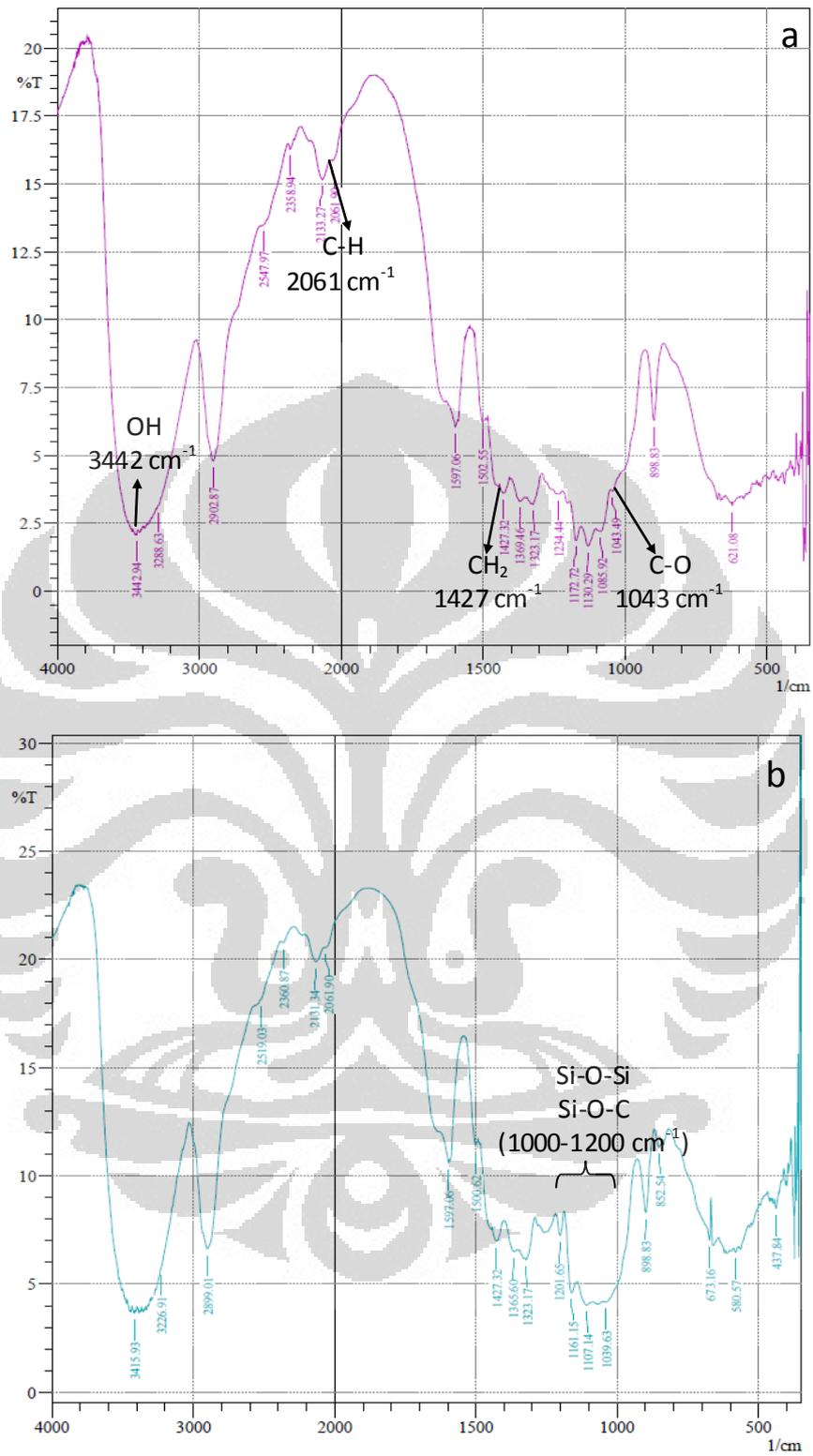
Perlakuan permukaan serat TKKS dilakukan dengan *silane coupling agent* berupa 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane. GPTMS dilarutkan dalam etanol 95% dan diaduk selama 1 jam, hal ini dilakukan untuk memastikan GPTMS bereaksi dengan air yang terdapat pada larutan etanol untuk membentuk gugus silanol.

Setelah 1 jam serat TKKS dimasukkan ke dalam larutan GPTMS dalam etanol dan direaksikan selama 24 jam. Gugus silanol yang terbentuk akan membentuk ikatan kovalen Si-O-Si dengan gugus OH pada selulosa seperti ditunjukkan oleh gambar pada Lampiran 9. Pengeringan dilakukan dengan oven bersuhu 110°C selama 2 jam. Analisa FTIR (fourier transmission infra red) dilakukan setelah perlakuan permukaan serat dengan SHIMADZU IR PRESTIGE-21 FTIR Spectroscopy. Grafik transmitansi serat TKKS sebelum dan sesudah perlakuan permukaan dengan *silane coupling agent* ditunjukkan oleh Gambar 4.3 (a) dan (b) secara berurutan.

Gambar 4.3 (a) menunjukkan beberapa peak yang merupakan karakteristik selulosa seperti regangan yang menunjukkan gugus -OH pada panjang gelombang 3442  $\text{cm}^{-1}$ , regangan C-H pada panjang gelombang 2061  $\text{cm}^{-1}$ , pembengkokan ikatan  $\text{CH}_2$  pada panjang gelombang 1427, pembengkokan ikatan CH pada panjang gelombang 1379  $\text{cm}^{-1}$ , dan regangan ikatan C-O pada panjang gelombang 1043  $\text{cm}^{-1}$ . Spektra FTIR serat TKKS setelah perlakuan permukaan menunjukkan puncak-puncak yang sama dengan Gambar 4.3 (a). Regangan untuk ikatan Si-O-Si dan Si-O-C<sub>selulosa</sub> bertumpang tindih dengan regangan untuk ikatan C-O dari selulosa yaitu pada panjang gelombang sekitar 1000-1200  $\text{cm}^{-1}$ . Meskipun demikian intensitas transmitansi pada panjang gelombang 1040  $\text{cm}^{-1}$  meningkat, menunjukkan terdapatnya ikatan Si-O-Si (Lu et al., 2008)

#### 4.2 Preparasi CNT

*Carbon nanotube* pada penelitian ini merupakan *carbon nanotube* komersil berjenis MWNT yang di produksi dengan metode CVD (chemical vapour deposition). Diameter luar rata-rata *carbon nanotube* 10 nm, panjang 1-5  $\mu\text{m}$ , kemurnian lebih dari 95%, dan luas permukaan lebih besar dari 500  $\text{m}^2/\text{g}$  yang didapatkan dari Chengdu Organic Chemicals Co. Ltd. *Carbon nanotube* berbentuk serbuk halus berwarna hitam.

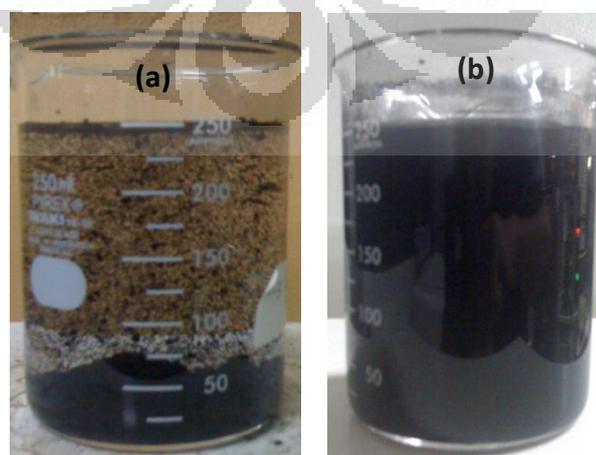


Gambar 4.3 Spektra FTIR Serat TKKS (a) sebelum perlakuan permukaan, (b) setelah perlakuan permukaan dengan *silane coupling agent*

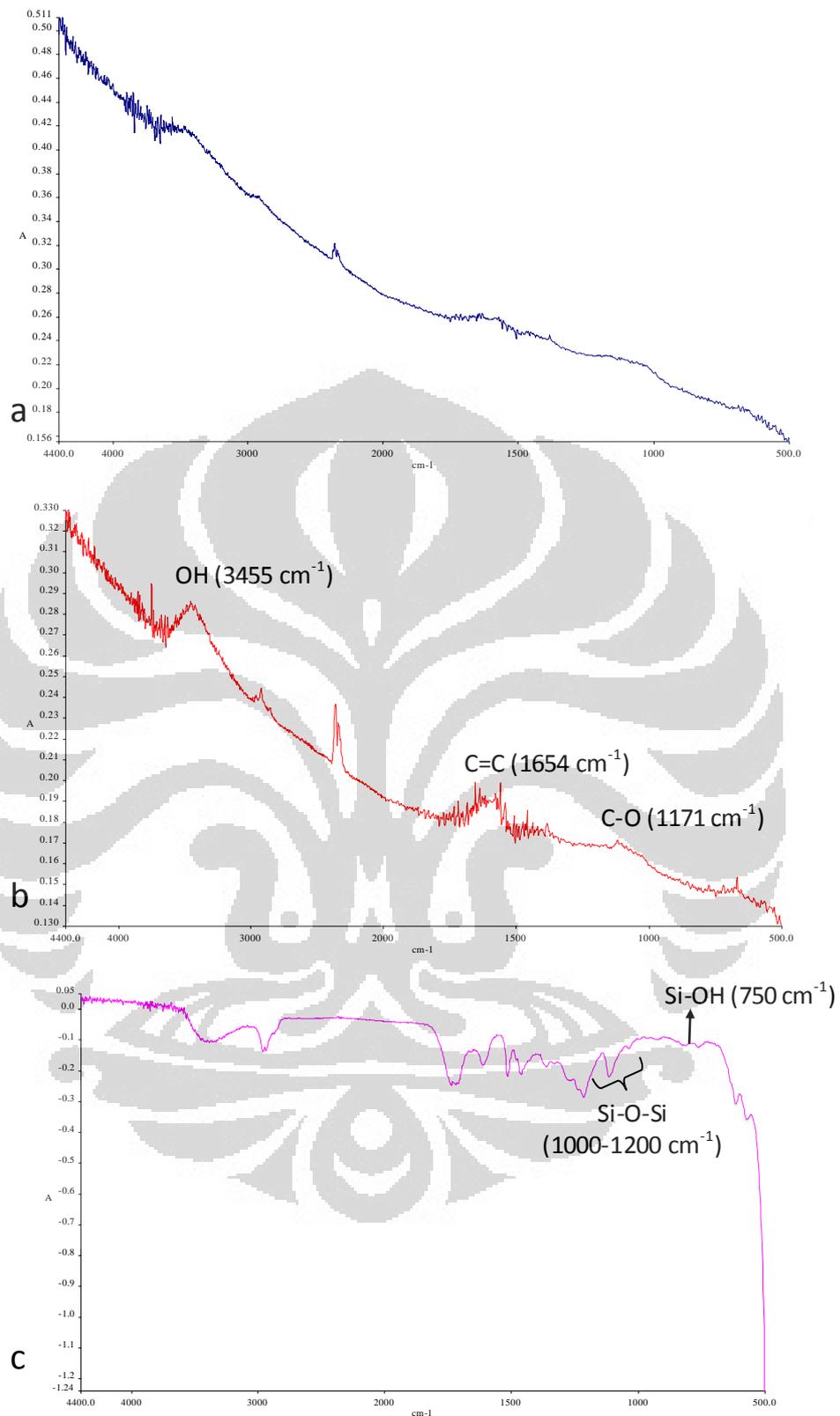
#### 4.2.1 Fungsionalisasi Permukaan CNT

*Carbon nanotube* sebanyak 2 gr dicampurkan ke dalam 500 ml larutan  $\text{HNO}_3$  3M. Campuran kemudian mengalami pengadukan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  dengan bantuan *hot plate magnetic stirrer* selama 15 menit. Setelah pengadukan, campuran digetarkan dengan *water bath sonicator* selama 2 jam. *Carbon nanotube* dalam larutan  $\text{HNO}_3$  sebelum sonikasi cenderung mengalami aglomerisasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.4 (a). Aglomerat *carbon nanotube* terpisah setelah mengalami sonikasi, menghasilkan dispersi yang lebih merata dalam larutan  $\text{HNO}_3$  seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.4 (b). Aglomerisasi dapat menyebabkan sebagian permukaan *carbon nanotube* tidak mengalami fungsionalisasi karena tidak terpapar oleh  $\text{HNO}_3$ . Berat kering *carbon nanotube* yang didapat adalah 1,8 gram, pengurangan 0,2 terkait dengan terbuangnya *carbon nanotube* selama proses pencucian dan penyaringan. Fungsionalisasi dilanjutkan dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% v/v dengan cara yang sama.

Analisa FTIR dengan Perklin Elmer FT-IR Spectrum1000 dilakukan terhadap *carbon nanotube* sebelum dan setelah proses fungsionalisasi. Spektra FTIR *carbon nanotube* sebelum dan setelah fungsionalisasi ditunjukkan oleh Gambar 4.4 (a) dan (b). Dari Gambar 4.5 (a) dan (b) terlihat beberapa perbedaan yaitu pada spektra *carbon nanotube* setelah fungsionalisasi terdapat spektra pada panjang gelombang  $3455\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan karakter regangan ikatan  $-\text{OH}$ ,  $1654\text{ cm}^{-1}$  dari regangan ikatan  $\text{C}=\text{C}$ , dan  $1171\text{ cm}^{-1}$  dari regangan ikatan  $\text{C}-\text{O}$  sehingga dapat diketahui bahwa *carbon nanotube* telah terfungsionalisasi dengan gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ).



Gambar 4.4 Campuran *carbon nanotube* dalam larutan  $\text{HNO}_3$  (a) sebelum dan (b) sesudah sonikasi

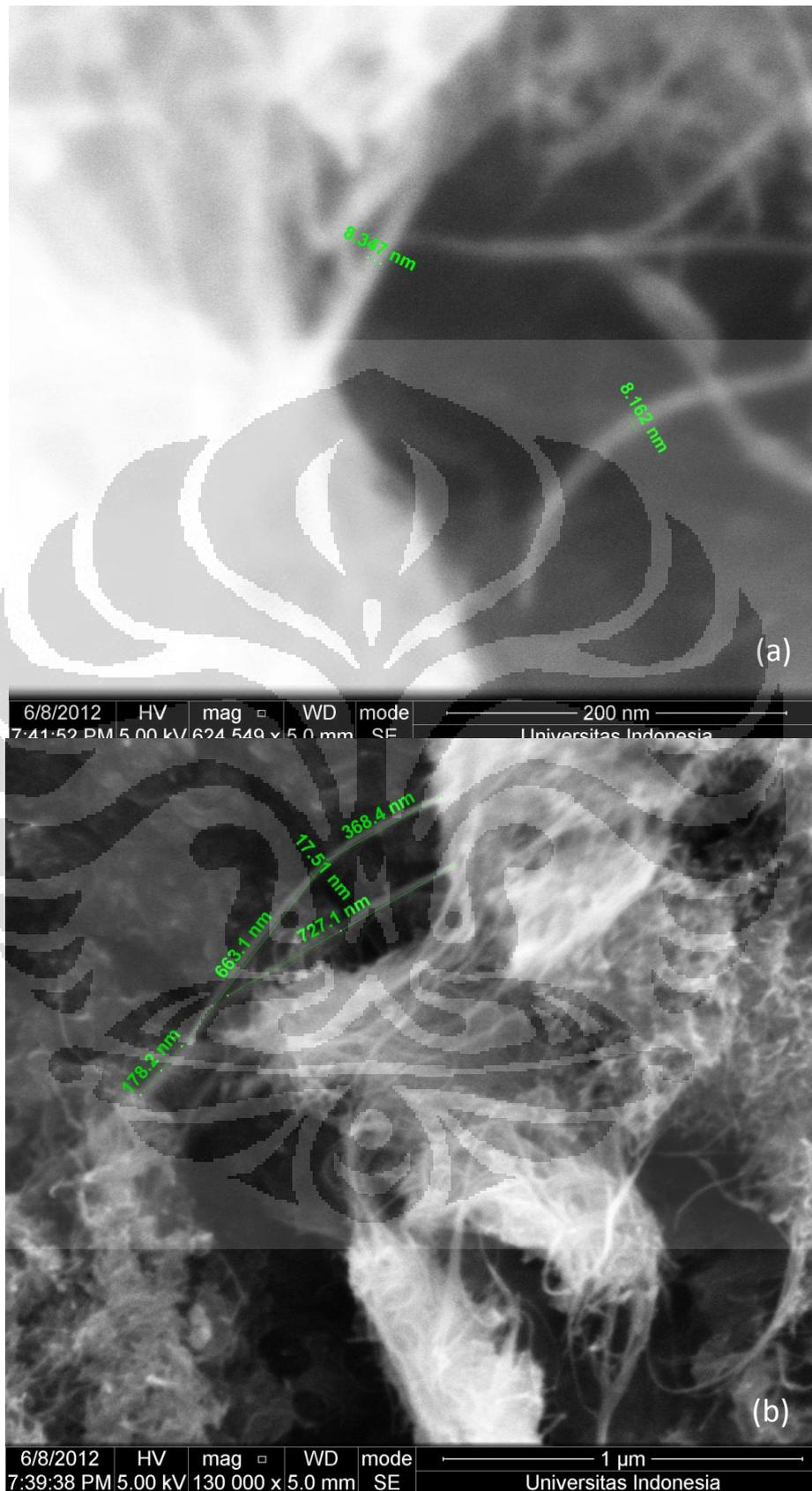


Gambar 4.5 Spektra FTIR CNT (a) sebelum fungsionalisasi, (b) setelah fungsionalisasi, (c) setelah perlakuan permukaan dengan *silane coupling agent*.

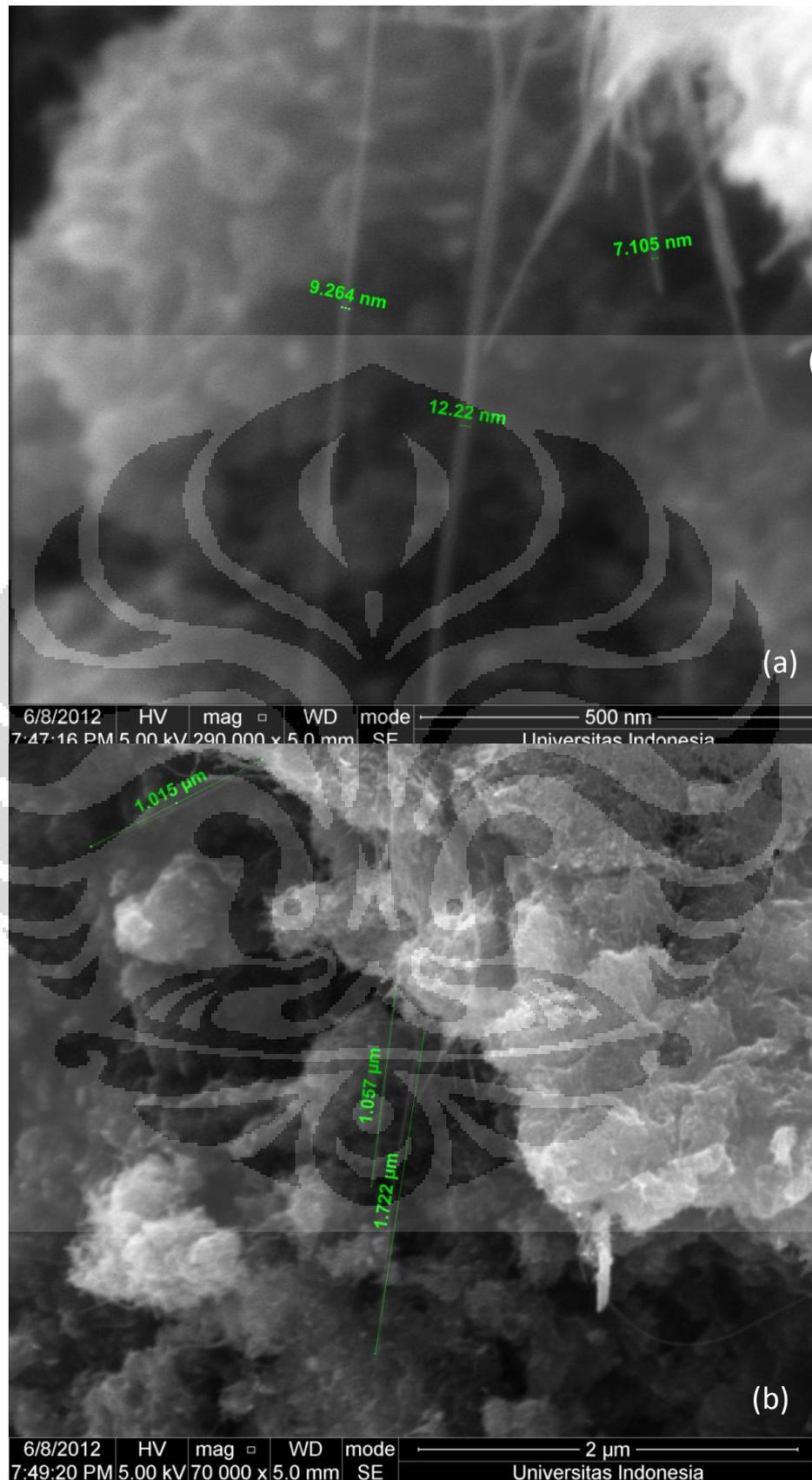
#### 4.2.2 Perlakuan Permukaan CNT

Perlakuan permukaan *carbon nanotube* dilakukan dengan larutan GPTMS 10% v/v dalam etanol teknis (96%) sebanyak 500 ml. Gugus silanol yang terbentuk dari hidrolisis GPTMS akan membentuk ikatan kovalen dengan gugus OH pada permukaan *carbon nanotube* membentuk ikatan polimeris Si-O-Si seperti yang ditunjukkan gambar pada Lampiran 11. Timbulnya ikatan Si-O-Si dibuktikan dengan spektra analisa FTIR terhadap *carbon nanotube* setelah diberi perlakuan permukaan dengan GPTMS seperti ditunjukkan Gambar 4.5 (c) menunjukkan dimana puncak pada panjang gelombang antara  $1000-1200\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan karakteristik regangan ikatan Si-O-Si. Selain itu terdapat peak pada panjang gelombang  $750\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik regangan ikatan gugus silanol Si-OH yang belum bereaksi. Pada Gambar 4.5 (c) juga terlihat bahwa puncak karakteristik ikatan -OH menghilang yang menandakan bahwa sebagian besar gugus -OH telah membentuk ikatan dengan unsur Si pada GPTMS.

Untuk memastikan bahwa proses fungsionalisasi dan perlakuan permukaan tidak merusak struktur dan ukuran *carbon nanotube* maka analisa FE SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) dilakukan. Gambar 4.5 (a) dan (b) menunjukkan struktur *carbon nanotube* sebelum mengalami proses fungsionalisasi dan perlakuan permukaan sedangkan Gambar 4.6 (a) dan (b) setelah fungsionalisasi dan perlakuan permukaan. Dari Gambar 4.5 (a) terlihat bahwa *carbon nanotube* yang digunakan memiliki diameter luar sebesar  $\pm 8\text{ nm}$ . Dari Gambar 4.5 (b) terlihat bahwa *carbon nanotube* memiliki panjang  $1,2\ \mu\text{m}$  dan  $727\ \mu\text{m}$ , selain itu terdapat *carbon nanotube* dengan diameter luar  $17,51\ \text{nm}$ . Gambar 4.6 (a) dan (b) menunjukkan terdapat *carbon nanotube* dengan diameter luar  $9,264\ \text{nm}$ ,  $12,22\ \text{cm}$ , dan  $7,105\ \text{nm}$  dan panjang  $1,05\ \mu\text{m}$  dan  $1,7\ \mu\text{m}$ . Dari perbandingan Gambar 4.5 (a) dan (b) dengan Gambar 4.6 (a) dan (b) diketahui bahwa diameter luar dan panjang *carbon nanotube* dapat dikatakan tidak mengalami perubahan karena hanya sedikit berbeda diantaranya. Bilapun terdapat perbedaan ukuran, hal itu dapat disebabkan oleh ketidak seragaman ukuran *carbon nanotube* dari produsen, ditandai dengan rentang diameter luar sebelum perlakuan terdapat pada  $8-17\ \mu\text{m}$ .



Gambar 4.6 FE SEM dari *carbon nanotube* sebelum fungsionalisasi dan perlakuan permukaan



Gambar 4.7 FE SEM *carbon nanotube* setelah fungsionalisasi dan perlakuan permukaan

### 4.3 Fabrikasi Komposit Multi Skala

Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi *carbon nanotube* untuk mengetahui komposisi efektif sebagai bahan penguat pada komposit dengan resin epoksi. Jumlah serat TKKS yang digunakan adalah sebesar 10% berat komposit yang terbentuk. Jumlah serat TKKS tersebut menunjukkan volume yang sangat besar terkait dengan struktur berseratnya yang menyebabkan penggumpalan. Gambar 4.8 menunjukkan komposit yang berhasil dibentuk. Variasi *carbon nanotube* yang dilakukan adalah 0%, 0,1%, 0,5%, dan 1% terhadap berat matriks epoksi. Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa kandungan *carbon nanotube* mempengaruhi warna komposit yang terbentuk. Selain itu terlihat bahwa permukaan komposit menjadi kasar terkait serat TKKS yang ada. Pada komposit yang terbentuk, serat dan *carbon nanotube* berperan sebagai pengisi yang berfungsi sebagai penguat atau *reinforcement*.



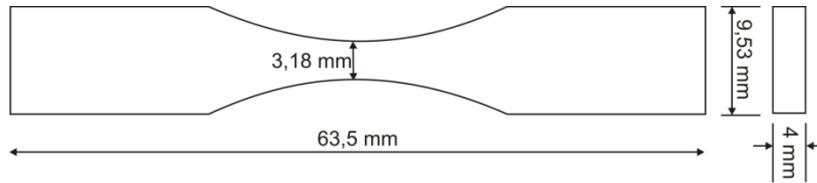
Gambar 4.8 komposit serat TKKS-epoksi-CNT dengan konsentrasi (a) 0% wt, (b) 0,1%, (c) 0,5%, (d) 1%

### 4.4 Karakterisasi Sifat Fisik Komposit Multi Skala

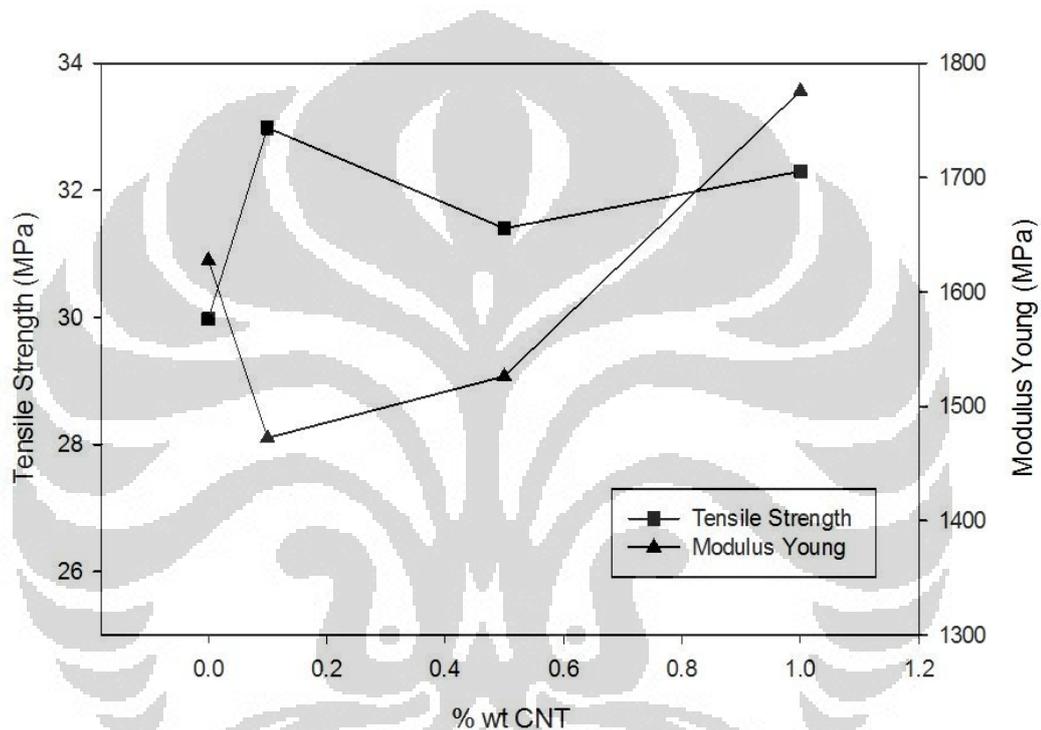
#### 4.4.1 Analisis Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Analisis kekuatan tarik dilakukan dengan SHIMADZU AG-Xplus Material Universal Tester yang terdapat pada laboratorium bahan LIPI Biomaterial, Cibinong. Standar yang digunakan untuk uji tarik adalah ASTM D638: Tensile Properties of Plastics dengan spesimen tipe V dengan dimensi seperti ditunjukkan Gambar 4.9. Pada uji ini, spesimen uji akan ditarik seajaar

dengan bidang sampai terjadi kegagalan mekanis berupa patah/putusnya spesimen uji. Hasil karakterisasi sifat mekanik dengan uji tarik berupa kekuatan tarik (tensile strength) dan modulus Young di tunjukan oleh Gambar 4.10.



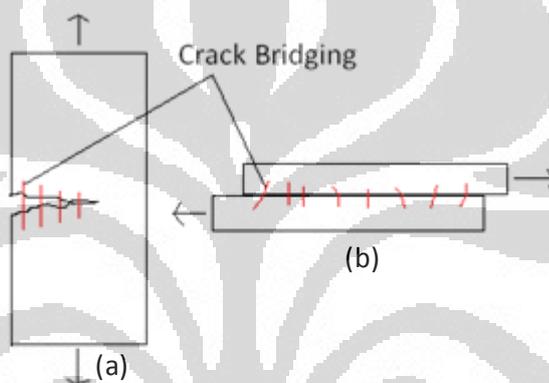
Gambar 4.9 Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM D638 tipe V



Gambar 4.10 Hasil karakterisasi sifat mekanik tensile strength dengan ASTM D638

Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% berat matriks epoksi masing-masing meningkatkan kekuatan tarik komposit sebesar 10,03%, 4,75%, dan 7,75%. Hal ini menunjukkan bahwa komposit dengan penambahan *carbon nanotube* dapat menahan beban lebih banyak sebelum mengalami kegagalan mekanis. Pada umumnya kegagalan mekanis yang menjadi faktor utama pada penarikan sebuah material adalah mekanisme kegagalan *crack opening* seperti ditunjukan oleh Gambar 4.11 (a). Serat TKKS dapat menjembatani dan mencegah propagasi keretakan melalui mekanisme *crack bridging* seperti ditunjukan oleh Gambar 4.11 (a). Peningkatan

kekuatan tarik dari penambahan carbon nanotube terjadi hanya sebatas karena meningkatnya luas permukaan interaksi antara serat TKKS dan matriks, semakin besar luas permukaan dan permukaan interaksi maka transfer beban dapat lebih efektif. Hal tersebut menyebabkan peningkatan kekuatan yang terjadi tidak signifikan. Selain itu kekuatan tarik merupakan sifat yang didominasi oleh sifat serat bukan sifat matriks. Komposit yang dihasilkan memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding dengan bumper mobil komersil berbahan dasar polipropilena yang di produksi oleh Shanghai/Beijing Expert in the Developing of New Material Co. Ltd yaitu sebesar 25 MPa (Shanghai / Beijing Expert in The Developing of New Material CO., 2010)



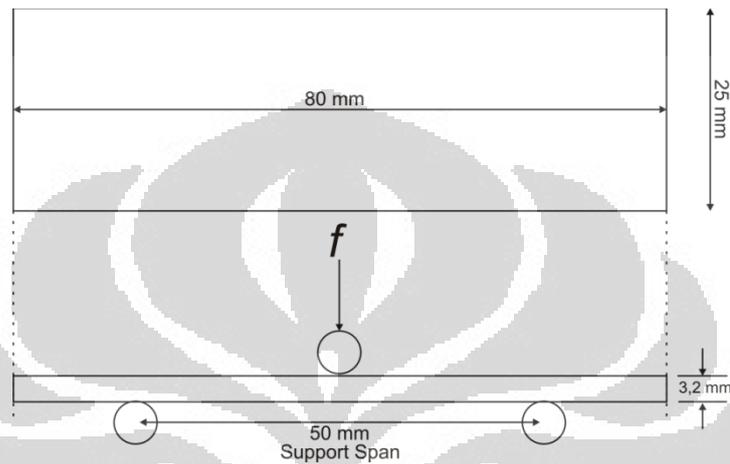
Gambar 4.11 *Crack bridging* pada pada retakan

Modulus Young menunjukkan perbandingan antara tekanan dan regangan yang dialami material. Pengaruh *carbon nanotube* pada modulus Young komposit yang terbentuk tidak dapat ditentukan dari penelitian ini selama modulus Young komposit berkurang 9% dan 6% masing-masing pada komposisi *carbon nanotube* sebesar 0,1% dan 0,5% bila dibandingkan dengan komposit tanpa *carbon nanotube*. Namun demikian, modulus Young komposit mengalami peningkatan sebesar 9% dengan penambahan *carbon nanotube* sebanyak 1% berat matriks epoksi.

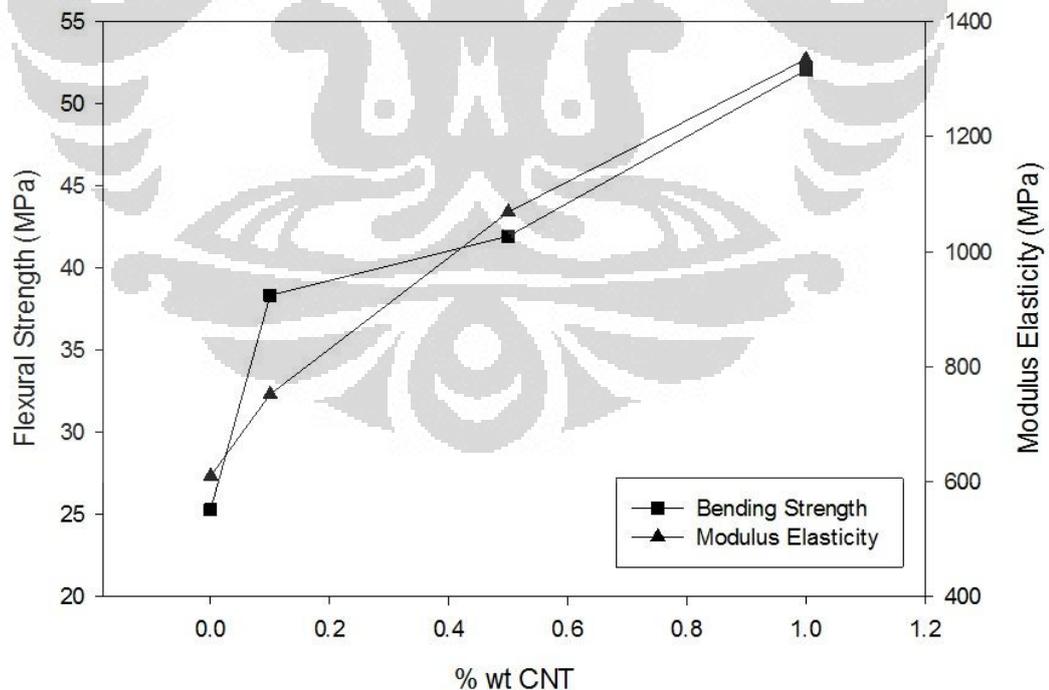
#### 4.4.2 Analisis Kekuatan Tekuk (*Bending Strength*)

Standar yang digunakan untuk uji tekuk adalah ASTM D790: Flexural Properties of Plastics and Electrical Insulating Materials dengan cara I atau *3-point loading*. Dimensi spesimen uji tekuk seperti ditunjukkan Gambar 4.12. Pada

uji ini, spesimen berbentuk persegi panjang akan ditopang oleh dua penyangga dengan jarak tertentu (*support span*) dan bagian tengah spesimen akan ditekan sampai spesimen tidak dapat menahan beban yang diberikan. Hal itu dapat ditandai dengan terjadi patahan atau deformasi plastis dengan beban yang tetap. Hasil karakterisasi sifat mekanik dengan uji tekuk berupa kekuatan tekuk (*bending strength*) dan modulus elastisitas di tunjukan oleh Gambar 4.13.

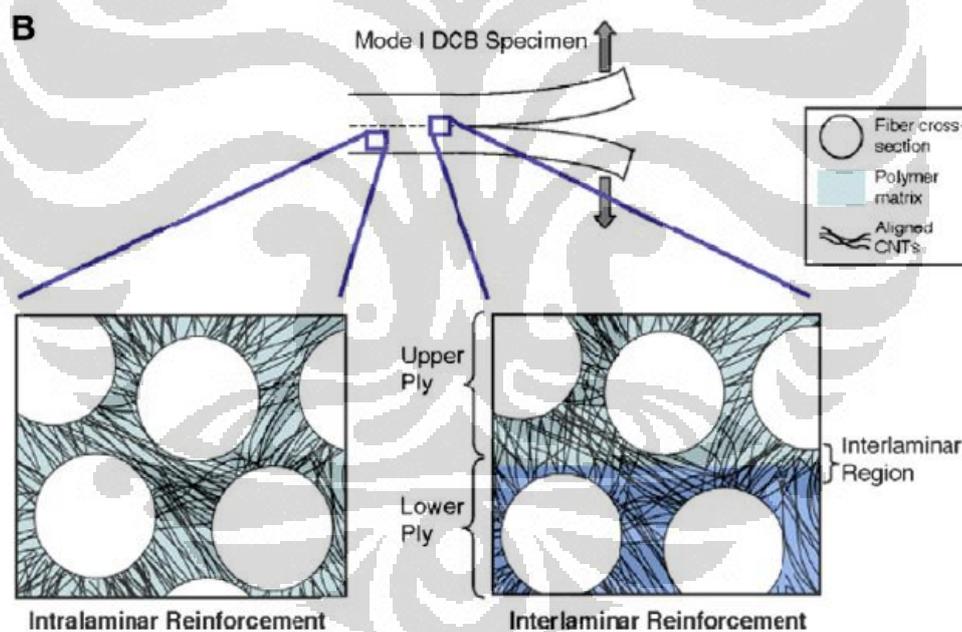


Gambar 4.12 Dimensi specimen uji tekuk berdasarkan ASTM D790 tipe I



Gambar 4.13 Hasil karakterisasi sifat mekanik bending strength dengan ASTM D790

Dari hasil uji tekuk diketahui bahwa penambahan *carbon nanotube* dapat meningkatkan kekuatan tekuk dan modulus elastisitas pada komposit serat TKKS dengan matriks epoksi. Kekuatan tekuk komposit meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi karbon nanotube seperti terlihat bahwa kekuatan tekuk meningkat sebesar 51,64%, 65,8%, dan 105,9% masing-masing untuk penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks epoksi. Peningkatan kekuatan tekuk yang terjadi dapat disebabkan oleh *carbon nanotube* yang mencegah propagasi keretakan dengan mekanisme *crack bridging* (Warrier et al., 2010). Tidak seperti pada uji tarik, tekanan yang berperan pada uji tekuk tiga titik (*3-point bending test*) adalah kombinasi antara tekanan geser dan tekanan tarik (Godara et al., 2009), dan mekanisme kegagalan yang terjadi adalah Gambar 4.14. Pada inisiasi keretakan akibat tegangan geser, *carbon nanotube* membantu mengurangi propagasi keretakan dan berujung pada patahnya material.



Gambar 4.14 mekanisme penguatan interlaminar oleh carbon nanotube (Wicks, de Villoria, & Wardle, 2010)

Modulus elastisitas komposit meningkat dengan penambahan *carbon nanotube*. Variasi komposisi *carbon nanotube* mempengaruhi peningkatan modulus elastisitas komposit seperti terlihat pada Gambar 4.13 dimana modulus elastisitas komposit meningkat sebesar 23,27%, 75,35%, dan 119% masing-masing untuk

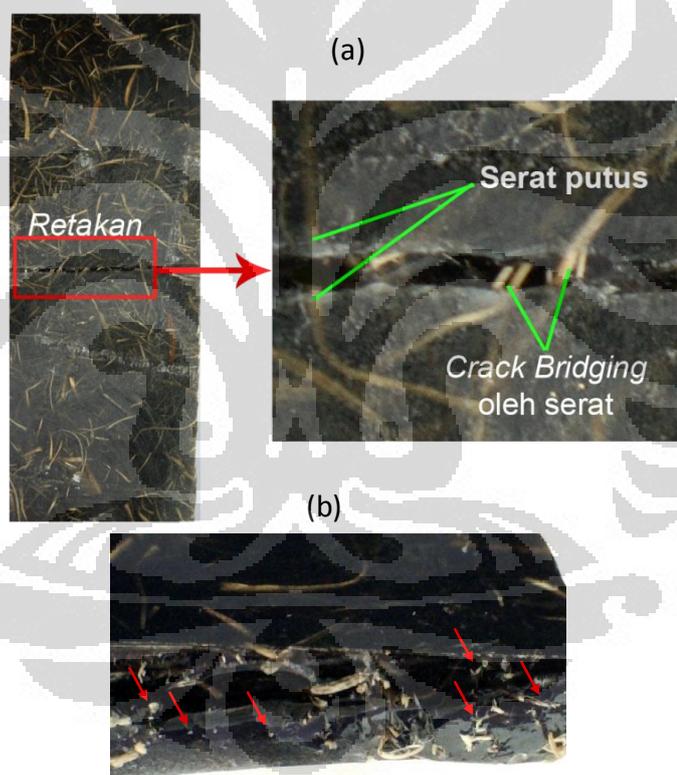
penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks epoksi. Mekanisme yang sama dapat untuk menjelaskan meningkatnya modulus elastisitas komposit yang dibentuk. Keberadaan *carbon nanotube* yang mengalami interaksi dengan matriks dapat mengurangi deformasi rantai molekul polimer matriks sehingga perenggangan yang terjadi dapat berkurang dengan beban yang sama (Santos, Hernandez, & Castano, 2008). Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya modulus elastisitas komposit. Komposit yang terbentuk memiliki kekuatan tekuk yang lebih besar dibandingkan dengan bumper komersial berbahan dasar polipropilena yaitu sebesar 25 MPa (Shanghai / Beijing Expert in The Developing of New Material CO., 2010)

Perbedaan efektifitas penguatan sifat mekanik oleh *carbon nanotube* pada uji tarik dan tekuk dapat diakibatkan oleh perbedaan jenis beban diberikan. Pada uji tarik beban yang diberikan merupakan beban intra bidang dimana pada dimensi ini distribusi beban yang paling besar dilakukan oleh serat TKKS bukan oleh matriks epoksi, sehingga penambahan *carbon nanotube* tidak memberikan pengaruh yang besar bagi kekuatan uji tarik. Pada uji tekuk, beban yang diberikan merupakan beban inter bidang dimana pada dimensi ini transfer beban sangat dipengaruhi oleh sifat penguatan matriks pada komposit bukan oleh serat. Lain halnya dengan uji tarik dimana kekuatan yang terukur dipengaruhi terutama oleh sifat penguatan dari serat yang digunakan (M. Kim et al., 2009). Oleh karena itu penambahan *carbon nanotube* memberikan peningkatan kekuatan tekuk yang signifikan pada komposit karena keberadaannya memperkuat daerah kaya matriks melalui mekanisme yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil yang sama juga didapatkan oleh Bekyarova dkk dimana penambahan *carbon nanotube* tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kekuatan tarik komposit namun berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan geser komposit (Bekyarova et al., 2007) dan penelitian oleh Myungsoo dkk dimana penambahan *carbon nanotube* pada komposit epoksi/serat karbon tidak menunjukkan peningkatan kekuatan tarik namun menunjukkan peningkatan kekuatan tekuk pada komposit skala multi yang dibentuk (M. Kim et al., 2009).

#### 4.4.3 Analisis Morfologi Komposit dengan Mikroskop Optik

Pada Gambar 4.15 (a) terlihat bahwa pada retakan yang terjadi, serat berperan menjembatani retakan sehingga dapat mencegah propagasi retakan lebih lanjut. Lebih lanjut, Gambar 4.15 (a) dan (b) menunjukkan serat tidak mengalami *pull-out* melainkan terputus. Hal ini menunjukkan interaksi yang kuat antara matriks epoksi dengan serat TKKS.

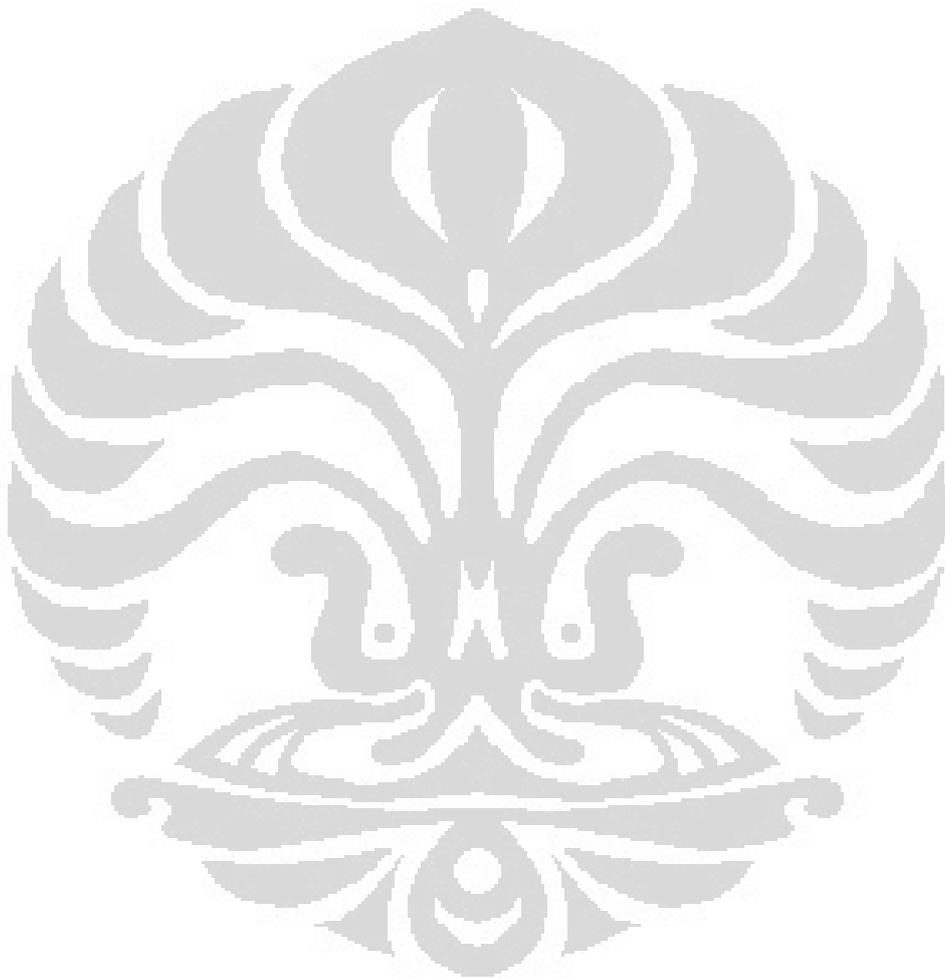
Permukaan serat TKKS yang sebelumnya telah diberi perlakuan memiliki gugus epoksi seperti gugus yang terdapat pada DGBA. Gugus epoksi ini akan bereaksi dengan salah satu ikatan N-H dari TETA (*curing agent*) dan ikatan N-H lain dari TETA akan bereaksi dengan gugus epoksi dari DGBA demikian seterusnya sampai DGBA ter-*crosslink* oleh TETA membentuk jaringan polimer.



Gambar 4.15 (a) Morfologi patahan komposit; (b) serat yang terputus pada permukaan penampang patahan dengan mikroskop optik

Ikatan antara gugus epoksi pada permukaan serat TKKS dengan *cross linking/curing agent* TETA tersebut yang menyebabkan baiknya interaksi serat dengan matriks. Skema reaksi permukaan serat TKKS termodifikasi dengan TETA dan DGBA ditunjukkan oleh gambar pada Lampiran 10. Pengaruh *carbon*

*nanotube* pada morfologi komposit tidak dapat diamati dengan mikroskop optik karena perbesaran yang dihasilkan tidak cukup besar (maksimal 400x).



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian mengenai pengaruh penambahan *carbon nanotube* pada sifat mekanik komposit serat TKKS dengan matriks epoksi yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal berikut ini :

1. Fungsionalisasi dengan metode mild acid oxidation berhasil memberikan gugus OH pada permukaan *carbon nanotube* tanpa merusak struktur dan ukuran *carbon nanotube*
2. Perlakuan permukaan serat TKKS dan *carbon nanotube* dengan *silane coupling agent* GPTMS berhasil memodifikasi permukaan sustrat
3. Penambahan *carbon nanotube* meningkatkan kekuatan tarik komposit serat TKKS dengan matriks epoksi sebesar 10,03%, 4,75%, dan 7,75% masing-masing untuk penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks yang digunakan
4. Penambahan *carbon nanotube* meningkatkan kekuatan tekuk komposit serat TKKS dengan matriks epoksi sebesar 51,64%, 65,8%, dan 105,9% dan modulus elastisitas sebesar 23,27%, 75,35%, dan 119% masing-masing untuk penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,1%, 0,5%, dan 1% dari berat matriks yang digunakan

#### 5.2 Saran

Dari penelitian mengenai pengaruh penambahan *carbon nanotube* pada sifat mekanik komposit serat TKKS dengan matriks epoksi yang telah dilakukan maka beberapa saran dibuat untuk penelitian berikutnya, yaitu:

1. Pencetakan komposit dilakukan dengan metode vacuum assisted resin transfer moulding (VARTM) untuk mengurangi kemungkinan terbentuknya gelembung udara pada komposit yang terbentuk dan mempermudah proses pencetakan komposit
2. Serat sebaiknya dibentuk menjadi bentuk *mat* baik dengan penganyaman atau penekanan untuk mempermudah proses fabrikasi kompos

3. Karakterisasi dengan TEM perlu dilakukan pada penelitian berikutnya untuk mengetahui interaksi *carbon nanotube* dengan matriks polimer dengan lebih jelas
4. Dilakukan penelitian dengan jenis serat lain seperti serat kaca, serat karbon, maupun serat alami dari tumbuhan lain dengan orientasi yang beragam
5. *Carbon nanotube* yang digunakan merupakan *carbon nanotube* hasil penelitian pada Departemen Teknik Kimia UI
6. Karakterisasi konduktivitas atau resistansi listrik dari komposit yang terbentuk perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *carbon nanotube* terhadap sifat elektrik komposit



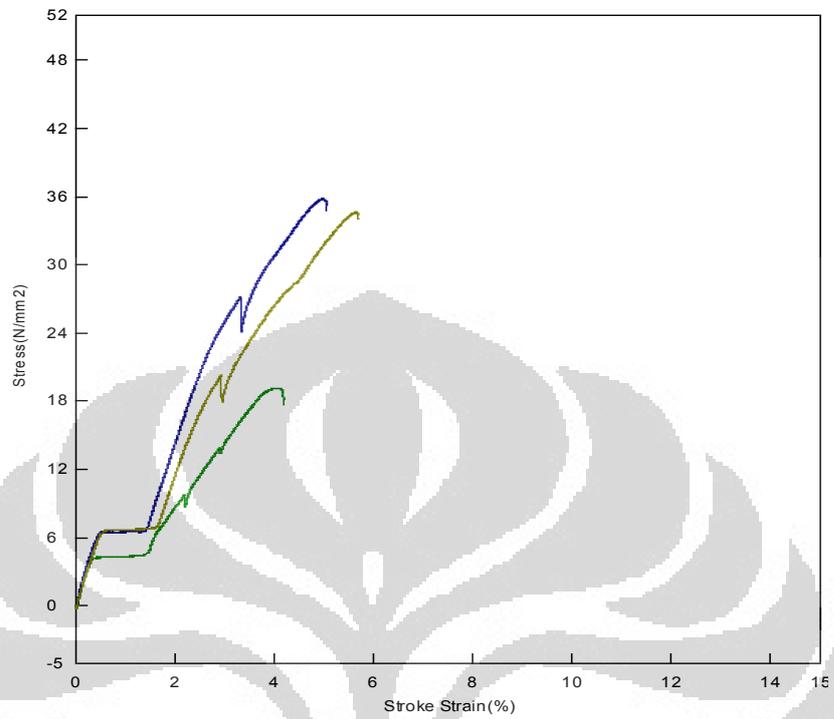
## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D., & Roliadi, H. (2011). Pembuatan Pulp Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Karton pada Skala Usaha Kecil. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29, 215.
- Avilés, F., Cauich-Rodríguez, J. V., Moo-Tah, L., May-Pat, A., & Vargas-Coronado, R. (2009). Evaluation of mild acid oxidation treatments for MWCNT functionalization. *Carbon*, 47(13), 2970-2975. doi: 10.1016/j.carbon.2009.06.044
- Aviles, F., Rodriguez, J. V. C., Gonzales, J. A. R., & May-Pat, A. (2011). Oxidation and Silanization of MWCNTs *EXPRESS Polymer Letter*, 5(9), 776.
- Bagus, B. (2011). Papan Komposit dari Limbah Sawit, *Kompas*, p. 14.
- Bal, S., & Samal, S. S. (2007). Carbon nanotube reinforced polymer composites—A state of the art. 8.
- Bekyarova, E., Thostenson, E. T., Yu, A., Kim, H., Gao, J., Tang, J., . . . Haddon, R. C. (2007). Multiscale Carbon Nanotube–Carbon Fiber Reinforcement for Advanced Epoxy Composites. *Langmuir*, 23(7), 3970-3974. doi: 10.1021/la062743p
- Broza, G., Piszczek, K., Schulte, K., & Sterzynski, T. (2007). Nanocomposites of poly(vinyl chloride) with carbon nanotubes (CNT). *Composites Science and Technology*, 67(5), 890-894. doi: 10.1016/j.compscitech.2006.01.033
- Buyl, F. d., Corning, D., & Seneffe. (2005). Organo-Functional Silanes. In R. d. Jeager & M. Gleria (Eds.), *Inorganic Polymer*. France: Nova Science Publishers.
- Chung, D. D. L. (2009). *Composites Materials Science and Applications* (Vol. 2). New York: Springer.
- Datsyuk, V., Kalyva, M., Papagelis, K., Parthenios, J., Tasis, D., Siokou, A., . . . Galiotis, C. (2008). Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes. *Carbon*, 46(6), 833-840. doi: 10.1016/j.carbon.2008.02.012
- Daulay, L. R. (2009). *Adhesi Penguat Serbuk Pulp Tandan Kosong Kelapa Sawit Teresterifikasi dengan Matriks Polietilena*. Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Desai, A. V., & Haque, M. A. (2005). Mechanics of the interface for carbon nanotube–polymer composites. *Thin-Walled Structures*, 43(11), 1787-1803. doi: 10.1016/j.tws.2005.07.003
- Dinnensen, T. (2007). NEO Chemical Seminar 2007: DOW Chemical.
- Faruk, O., & Matuana, L. M. (2008). Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites. *Composites Science and Technology*, 68(9), 2073-2077. doi: 10.1016/j.compscitech.2008.03.004

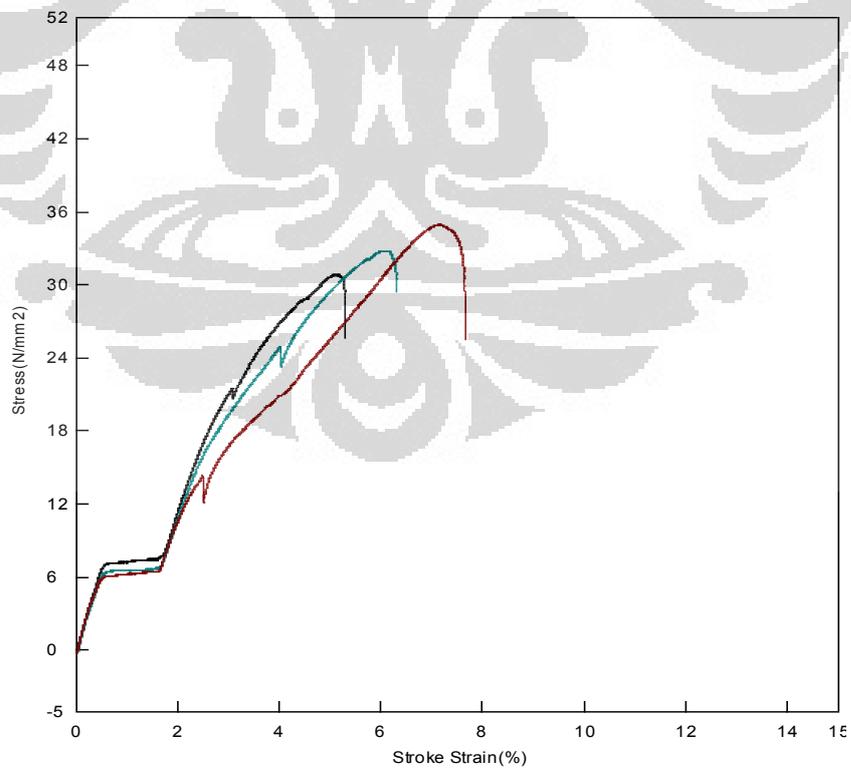
- Godara, A., Mezzo, L., Luizi, F., Warriar, A., Lomov, S. V., van Vuure, A. W., . . . Verpoest, I. (2009). Influence of carbon nanotube reinforcement on the processing and the mechanical behaviour of carbon fiber/epoxy composites. *Carbon*, 47(12), 2914-2923. doi: 10.1016/j.carbon.2009.06.039
- Green, K. J., Dean, D. R., Vaidya, U. K., & Nyairo, E. (2009). Multiscale fiber reinforced composites based on a carbon nanofiber/epoxy nanophased polymer matrix: Synthesis, mechanical, and thermomechanical behavior. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(9), 1470-1475. doi: 10.1016/j.compositesa.2009.05.010
- Harris, P. J. F. (2004). Carbon Nanotube Composites.
- Heradewi. (2007). *Isolasi Lignin dari Lindi Hitam Proses Pemasakan Organosolv Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kanagaraj, S., Varanda, F. R., Zhil'tsova, T. V., Oliveira, M. S. A., & Simões, J. A. O. (2007). Mechanical properties of high density polyethylene/carbon nanotube composites. *Composites Science and Technology*, 67(15-16), 3071-3077. doi: 10.1016/j.compscitech.2007.04.024
- Kim, M., Park, Y.-B., Okoli, O. I., & Zhang, C. (2009). Processing, characterization, and modeling of carbon nanotube-reinforced multiscale composites. *Composites Science and Technology*, 69(3-4), 335-342. doi: 10.1016/j.compscitech.2008.10.019
- Kim, M. T., Rhee, K. Y., Park, S. J., & Hui, D. (2010). Effects of silane-modified carbon nanotubes on flexural and fracture behaviors of carbon nanotube-modified epoxy/basalt composites. *Composites Part B: Engineering*(0). doi: 10.1016/j.compositesb.2011.12.007
- Kuzumaki, T., Miyazawa, K., & Ichinose, H. (1998). Processing of carbon nanotube reinforced aluminium composite. *Journal Of Nanomaterials*.
- Lee, J.-H., Rhee, K. Y., & Park, S. J. (2011). Silane modification of carbon nanotubes and its effects on the material properties of carbon/CNT/epoxy three-phase composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(5), 478-483. doi: 10.1016/j.compositesa.2011.01.004
- Longkullabutra, H. (2008). Mechanical Properties of Hemp Fiber Composites with Carbon Nanotubes Reinforcement. *Advanced Material Research*, 55-57, 553-555.
- Lu, J., Askeland, P., & Drzal, L. T. (2008). Surface modification of microfibrillated cellulose for epoxy composite applications. *Polymer*, 49(5), 1285-1296. doi: 10.1016/j.polymer.2008.01.028
- Ma, P. C., Kim, J.-K., & Tang, B. Z. (2007). Effects of silane functionalization on the properties of carbon nanotube/epoxy nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 67(14), 2965-2972. doi: 10.1016/j.compscitech.2007.05.006

- Paramitha, S. S. (2009). Aplikasi Pengadukan Ultrasonik dan Pemanasan Microwave untuk Memurnikan Karbon Nanotube yang Disintesis dengan Metode Dekomposisi Katalitik Metana.
- Peigney, A., Laurent, C., & Rousset, A. (1997). Synthesis and characterization of alumina matrix nanocomposites containing carbon nanotubes.
- Popov, V. (2004). Carbon nanotubes : properties and application. *Mater Sci Eng*.
- Prabowo, A. B. (2010). *Peningkatan Sifat Mekanik Serat Nata de Coco Menggunakan Nanoclay Sebagai Filler dalam Pembuatan Material Nanokomposit Superkuat*. Bachelor, Universitas Indonesia, Depok.
- Qiu, J. (2008). *Multifunctional Multiscale Composite: Processing, Modeling, and Characterization*. Doctor of Philosophy, Florida State University, Florida, USA.
- Santos, C. V., Hernandez, A. L. M., & Castano, V. M. (2008). Silanization of Carbon Nanotubes: Surface Modification and Polymer Nanocomposites. *Departemento de Metal-Mecanica Insituto Tecnologico de Queretaro*.
- Schadler, L., Giannaris, S., & Ajayan, P. (1998). Load transfer in carbon nanotube epoxy composite. *Applied Phiycs Letter*.
- Seymour, R. B. (1975). *Modern Plastic Technology*: Reston.
- Shanghai / Beijing Expert in The Developing of New Material CO., L. (2010). Technical Data for Polyolefin Compounding for The Auto Parts. In S. R. f. P. A. Bumper-P7006 (Ed.). Beijing: Shanghai/Beijing Expert in the Developing of New Material Co. Ltd.
- Sitorus, R. (2009). *Sifat Fisis dan Kimia dari Campuran Antara Epoksiprena dengan Polipropilena dan Metil Metakrilat*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Tang, W., Santare, M. H., & Advani, S. G. (2003). Melt processing and mechanical property characterization of multi-walled carbon nanotube/high density polyethylene (MWNT/HDPE) composite films. *Carbon*, 41(14), 2779-2785. doi: 10.1016/s0008-6223(03)00387-7
- Trisyulianti, E. (1996). Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Skripsi Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor*.
- Warrier, A., Godara, A., Rochez, O., Mezzo, L., Luizi, F., Gorbatikh, L., . . . Verpoest, I. (2010). The effect of adding carbon nanotubes to glass/epoxy composites in the fibre sizing and/or the matrix. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(4), 532-538. doi: 10.1016/j.compositesa.2010.01.001
- Wicks, S. S., de Villoria, R. G., & Wardle, B. L. (2010). Interlaminar and intralaminar reinforcement of composite laminates with aligned carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 70(1), 20-28. doi: 10.1016/j.compscitech.2009.09.001
- Yu, Zhonghua, & Brus, L. (2001). Scattering from Individual Carbon Nanotube Bundles. *Journal of Physical Chemistry*.

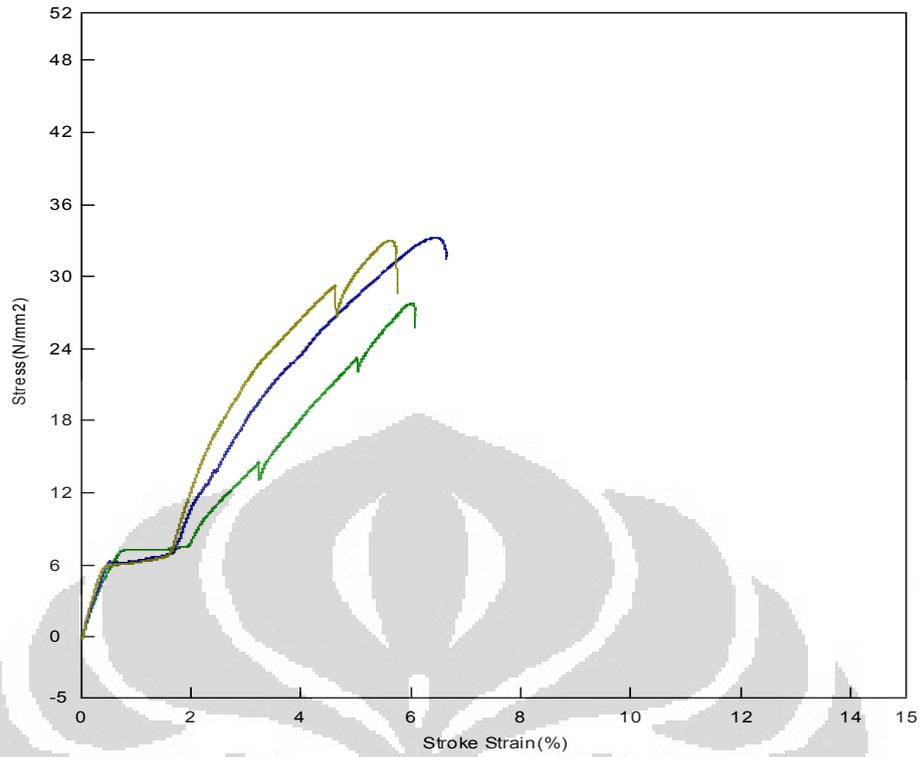
## LAMPIRAN



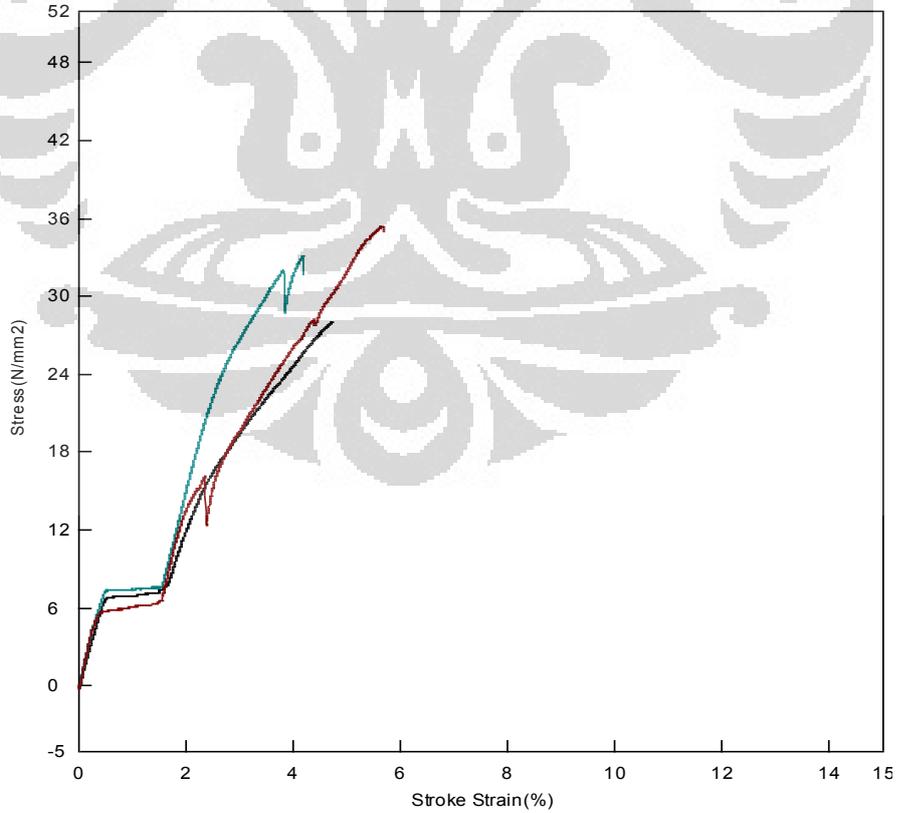
Lampiran 1 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 0% carbon nanotube



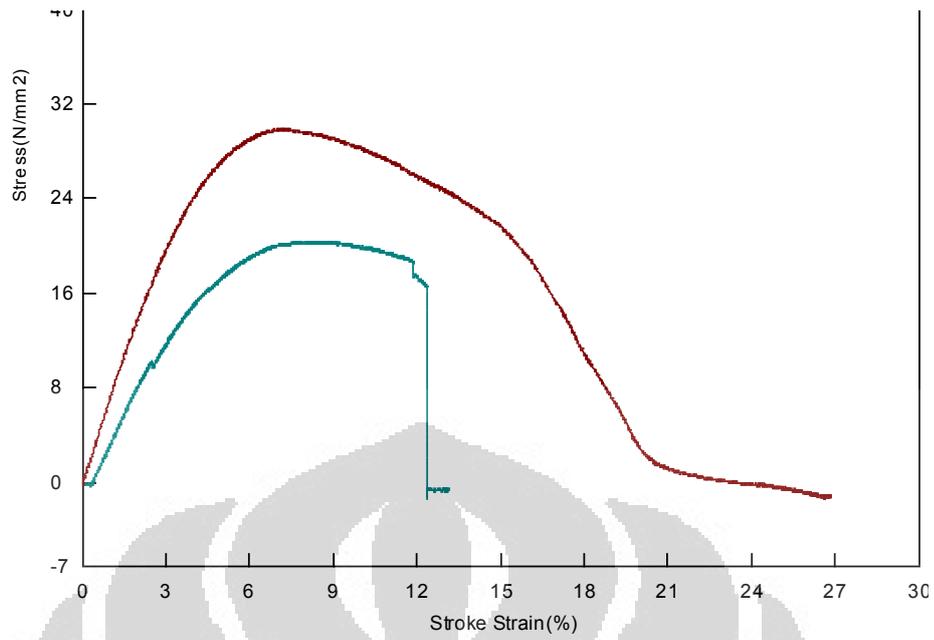
Lampiran 2 Grafik Tegangan-regangan uji tarik komposit dengan 0,1% carbon nanotube



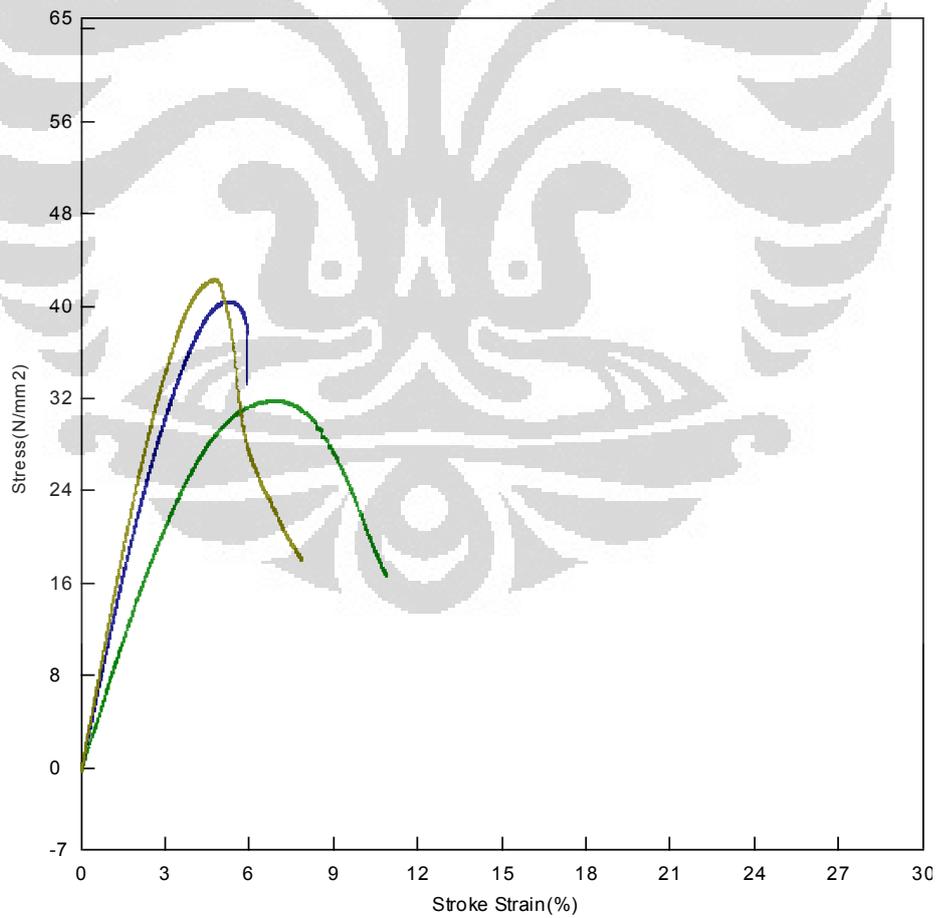
Lampiran 3 Grafik Tegangan-reganan uji tarik komposit dengan 0,5% carbon nanotube



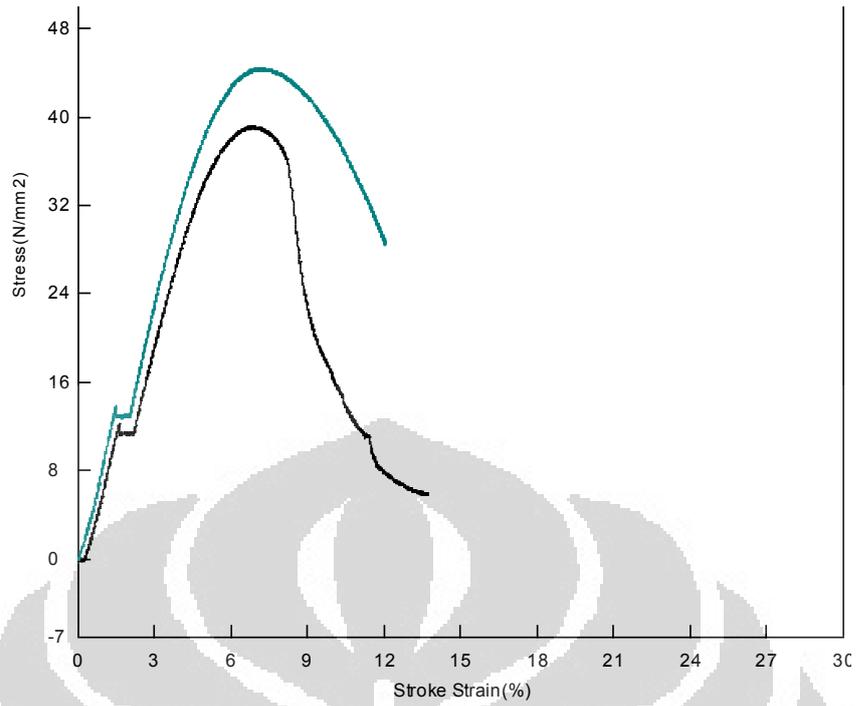
Lampiran 4 Grafik Tegangan-reganan uji tarik komposit dengan 1% carbon nanotube



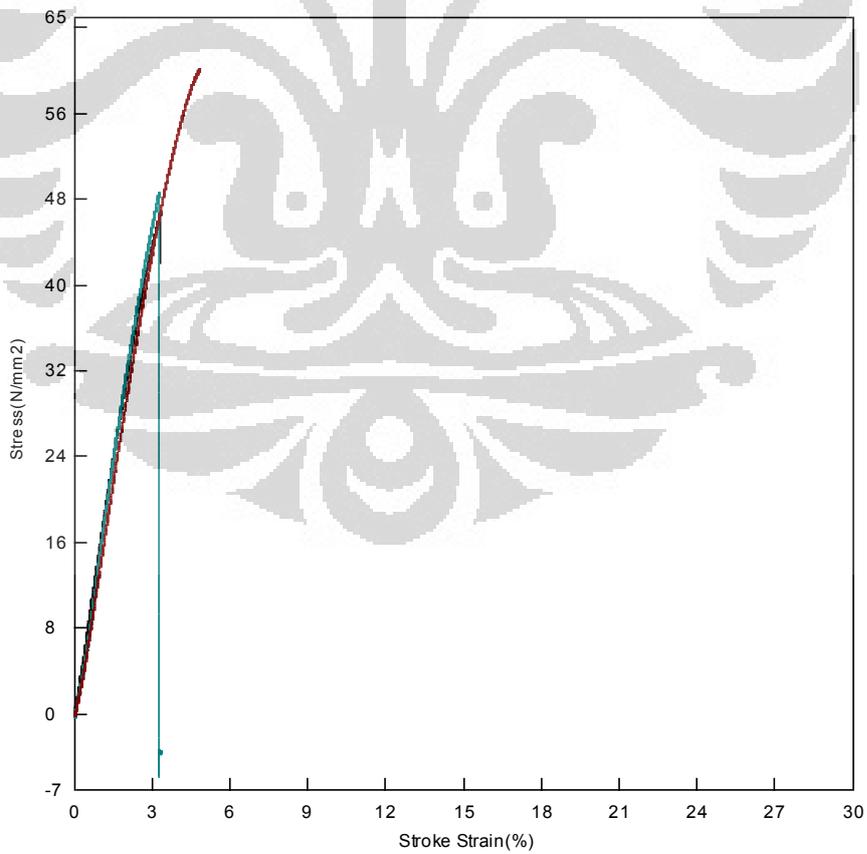
Lampiran 5 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0% carbon nanotube



Lampiran 6 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0,1% carbon nanotube

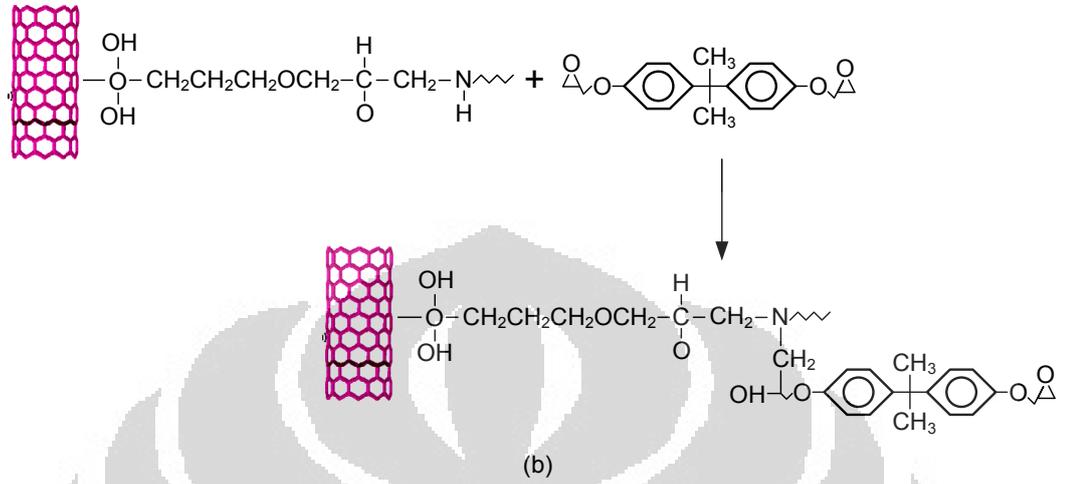
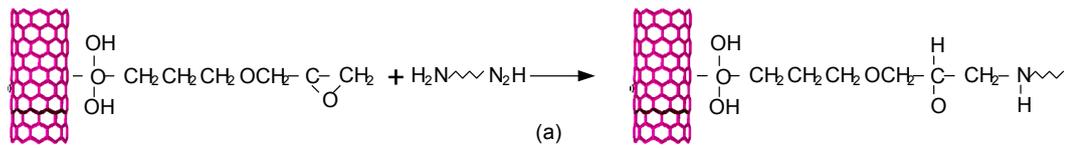


Lampiran 7 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 0,5% carbon nanotube



Lampiran 8 Grafik Tegangan-regangan uji tekuk komposit dengan 1% carbon nanotube





Lampiran 12 (a) Skema reaksi permukaan CNT termodifikasi dengan (a) TETA dan (b) DGEBA