



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISASI KOMPOSIT *LINEAR LOW DENSITY*
POLYETHYLENE-SERAT NANAS-*ORGANOCLAY* PACITAN**

SITI HARDIYANTI NIZMAH

0606068713

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

NOVEMBER 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISASI KOMPOSIT *LINEAR LOW DENSITY*
POLYETHYLENE-SERAT NANAS-*ORGANOCLAY* PACITAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana

Oleh

SITI HARDIYANTI NIZMAH

0606068713

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

NOVEMBER 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Siti Hardiyanti Nizmah

NPM : 0606068713

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 November 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Siti Hardiyanti Nizmah
NPM : 0606068713
Program Studi : S1 Reguler Fisika UI
Judul Skripsi : Karakterisasi Komposit *Linear Low Density Polyethylene-Serat Nanas-Organoclay* Pacitan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ariadne L. Juwono, M.Eng., PhD ()
Pembimbing II : Ir. H. Seto Roseno, BEng. (Hons), M.Sc. ()
Penguji I : Dr. Bambang Soegijono ()
Penguji II : Dr. Ir. Nandang Suhendra, M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 November 2010

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas segala nikmat akal, kesehatan serta kemudahan yang diberikan oleh-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul “Karakterisasi Komposit *Linear Low Density Polyethylene-Serat Nanas-Organoclay* Pacitan” ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai Sarjana Sains pada Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia.

Penyelesaian skripsi ini terlaksana dengan bantuan, dukungan, dan bimbingan berbagai. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- Ibu Ariadne L Juwono, M.Eng., Ph.D., dan Bapak Ir. H. Seto Roseno, B.Eng., (Hons), selaku dosen pembimbing penelitian ini yang telah membantu, membimbing, dan mengarahkan saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Badan Penelitian dan Pengkajian Teknologi (BPPT) yang telah memberikan bahan LLDPE, *organoclay* Pacitan, MA, dan serat nanas untuk tugas akhir saya.
- Mbak Nuning dan Mbak Henny dari BPPT yang telah membantu, memberi saran, dan dukungan dalam pembuatan dan pengujian sampel.
- Bapak Dasep, Bapak Abdurrahman, Roni, Mbak Yeppi, dan keluarga besar Sentra Teknologi Polimer (STP) yang telah membantu saya dalam membuat sampel dan melakukan uji tarik, uji lentur dan uji HDT.
- Pak Sulis, Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN), dan Mbak Ameylia Tristiasti, PT. Indocement Tunggul Prakarsa, yang telah membantu dan mengizinkan saya dalam melakukan pengujian XRD.
- Seluruh staf Center for Materials Processing and Failure Analysis di Teknik Metalurgi Universitas Indonesia yang telah membantu dalam pengujian SEM dan EDAX.
- Dr. Santoso Sukirno, selaku Ketua Departemen Fisika FMIPA UI.
- Prof. Dr. Rosari Saleh, selaku Ketua Peminatan Fisika Zat Mampat, Departemen Fisika dan selaku dosen pada beberapa mata kuliah saya. Terima kasih atas bimbingan dan pembelajaran yang telah diberikan.

- Ibu Lusi dan Mbakyu Heni Safitri yang telah memberikan semangat dan sarannya.
- Seluruh staf dosen Departemen Fisika terutama dosen peminatan Fisika Material dan Zat Mampat.
- Mas Heri, Mbak Ratna, dan Mbak Evi yang selalu membantu dalam pemberian informasi dan peminjaman sarana dalam penyelesaian tugas akhir ini.
- Kak Nidya (Fisika 2004), Kak Erna (Fisika 2003), dan Kak Andes (2003) yang telah memberikan contoh skripsi.
- Teman-teman fisika 2006, terima kasih atas kebersamaan dan segala bantuannya.
- Teman-teman peminatan “Fisika Material dan Material Terkondensasi” angkatan 2006, terutama para ‘Ladies’, Indah Citra Pertiwi, May Rara Amiati dan Robiatul Adawiyah.
- Sri Elsa Fatmi yang telah membantu dalam *editing* skripsi.
- Rizki Mahmudah, Lisa Diana, Ninoy, dan Robiatul Adawiyah yang telah memberikan dukungan dan membantu meneguhkan impian.
- 오빠와 brother들,, 고마워,, 너의 노래이어서 나의 마음을 행복해요 ^^v
- Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan moral dan spiritual yang telah diberikan.

Ucapan terima kasih secara khusus teruntuk Mama, Papa, Kak Nurul, Ikkal, dan Tia. Terima Kasih atas dukungan dan doanya. Semoga skripsi ini bisa menjadi suatu kebanggan bagi keluarga.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran yang membangun demi kebaikan penulis pada masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Penulis

Depok, November 2010

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

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

Nama : Siti Hardiyanti Nizmah

NPM : 0606068713

Program Studi : S1 Reguler Fisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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:

**KARAKTERISASI KOMPOSIT *LINEAR LOW DENSITY*
POLYETHYLENE-SERAT NANAS-ORGANOCLAY PACITAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, 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 : 30 November 2010

Yang menyatakan

(Siti Hardiyanti Nizmah)

ABSTRAK

Nama : Siti Hardiyanti Nizmah

Program Studi : S1 Fisika

Judul : Karakterisasi Komposit *Linear Low Density Polyethylene*-Serat Nanas-*Organoclay* Pacitan

Komposit yang terbuat dari *linear low density polyethylene* diperkuat serat nanas dan *organoclay* Pacitan telah berhasil difabrikasi. *Clay* Pacitan dimodifikasi menggunakan *cetyltrimethylammonium bromide* dan asam sulfat menghasilkan peningkatan *basal spacing* sebesar 0,65 nm. Material komposit difabrikasi menggunakan metode *compression molding*. Modulus lentur dan tarik tertinggi, 3,7 GPa dan 1,42 GPa, didapatkan pada komposit dengan kandungan *organoclay* 7 wt%. Penambahan *organoclay* 1 wt% meningkatkan kekuatan lentur sebesar 15,9 %. Sedangkan, nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh untuk bahan tanpa kandungan *clay* dan cenderung menurun saat terdapat *organoclay*. Kemudian, hasil pengujian *heat deflection temperature* menunjukkan suhu defleksi panas tertinggi didapatkan untuk komposit dengan penambahan *organoclay* 1wt%.

Kata kunci: *Linear low density polyethylene*, *organoclay* Pacitan, serat nanas, *heat deflection temperature*, sifat mekanik

ABSTRACT

Name : Siti Hardiyanti Nizmah

Study Program : Bachelor degree of Physics

Title : Characterization of Linear Low Density Polyethylene
- Pineapple Fiber -Organoclay Pacitan Composite

Composite materials made from linear low density polyethylene reinforced pineapple fiber and organoclay Pacitan were successfully fabricated. Clay Pacitan was modified by cetyltrimethylammonium bromide and sulfuric acid creating an increase in the basal spacing width of 0.65 nm. The composite materials were fabricated using a compression molding technique. The highest values of flexural and tensile moduli were 3.7 GPa and 1.42 GPa, respectively obtained in the composites with the organoclay content of 7 wt% content. The addition of 1 wt% organoclay increased the flexural strength of 15.9 %. Meanwhile, the highest tensile strength values obtained in the pristine polymer materials and tended to decrease when organoclay content increased. In addition, the heat deflection temperature test result showed that the highest value was obtained for the composite with the addition of 1 wt% organoclay.

Keyword : Linear low density polyethylene, organoclay Pacitan, pineapple fiber,
heat deflection temperature, mechanical properties

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mineral <i>Clay</i>	5
2.1.1 Jenis Mineral <i>Clay</i>	5
2.1.2 <i>Bentonite Clay</i>	8
2.1.3 Modifikasi <i>Clay</i>	11
2.2 Matriks Polimer	18
2.3 Material Komposit	22

3. METODA EKSPERIMEN	36
3.1 Bahan	37
3.2 Proses Fabrikasi Komposit	38
3.3 Pengujian Material Komposit	39
3.3.1 Pengujian dengan Difraksi Sinar-X	39
3.3.2 Pengujian Tarik	40
3.3.3 Pengujian Kelenturan Tiga-Titik	41
3.3.4 Pengujian <i>Heat Deflection Temperature</i>	42
3.3.5 Pengujian dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i> dan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>	43
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Pengujian <i>Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>	45
4.2 Hasil Pengujian Difraksi Sinar-X	46
4.3 Hasil Pengujian Tarik	48
4.4 Hasil Pengujian Kelenturan Tiga-Titik	53
4.5 Hasil Pengujian <i>Heat Deflection Temperature</i>	56
4.6 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i>	57
5. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR ACUAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram: (a) tetrahedron tunggal dan (b) struktur lapisan tetrahedral	5
Gambar 2.2. Diagram: (a) oktahedron tunggal dan (b) struktur lapisan oktahedral	6
Gambar 2.3. Bagan mineral <i>clay</i> struktur TOT	7
Gambar 2.4. Pola difraksi sinar-X <i>bentonite</i> Pacitan	9
Gambar 2.5. Struktur <i>montmorillonite</i>	11
Gambar 2.6. Struktur surfaktan	12
Gambar 2.7. Pola Difraksi sinar-X pada Na- <i>bentonite</i> menggunakan surfaktan HDTMA	13
Gambar 2.8. Pola difraksi sinar-X pada <i>bentonite</i> Xinjiang yang diaktivasi asam sulfat	14
Gambar 2.9. Pola difraksi sinar-X pada <i>montmorillonite</i> yang diaktivasi asam sulfat dan <i>pillaring</i>	16
Gambar 2.10. Pola difraksi sinar-X <i>clay</i> Pacitan dan <i>organoclay</i> menggunakan surfaktan CTMABr	17
Gambar 2.11. Struktur monomer <i>ethylene</i> yang berulang membentuk <i>polyethylene</i>	18
Gambar 2.12. Struktur rantai <i>polyethylene</i>	19
Gambar 2.13. Difraksi sinar-X LLDPE	20
Gambar 2.14. Struktur ikatan antara LLDPE dan MA	21
Gambar 2.15. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda	

<i>solution induced intercalation</i>	23
Gambar 2.16. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda polimerisasi <i>in-situ</i>	23
Gambar 2.17. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda <i>melt processing</i>	24
Gambar 2.18. Strukur komposit konvensional atau <i>microcomposite</i> , terinterkalasi, dan tereksfoliasi	25
Gambar 2.19. Strukur serat alam	27
Gambar 2.20. Ikatan hidrogen pada <i>anhydro-d-glucose</i>	28
Gambar 2.21. Hasil SEM komposit polypropylene diperkuat serat aspen: (a) tanpa MAPP dan (b) dengan MAPP	30
Gambar 2.22. Difraksi sinar-X komposit HDPE-serat kayu- <i>nanoclay</i> -MAPE	31
Gambar 2.23. Difraksi sinar-X serat kayu	32
Gambar 2.24. Susunan serat dalam matriks: (a) <i>continuous fiber composite</i> , (b) <i>woven fiber composite</i> , (c) <i>chopped fiber composite</i> , dan (d) <i>hybrid fiber composite</i>	33
Gambar 3.1. Skema tahapan eksperimen	36
Gambar 3.2. Bahan yang digunakan dalam komposit LLDPE- serat nanas- <i>organoclay</i> Pacitan: (a) <i>organoclay</i> Pacitan, (b) LLDPE, (c) serat nanas, dan (d) <i>maleic anhydride</i>	37
Gambar 3.3. Dimensi sampel pengujian tarik berdasarkan ASTM D 638 tipe IV	40
Gambar 3.4. Pengujian tarik	40
Gambar 3.5. Pengujian kelenturan tiga-titik	41

Gambar 3.6. Alat uji HDT Lauda FRANK Prüfgeräte GmbH 40071.	43
Gambar 3.7. Sampel hasil pengujian tarik untuk pengujian SEM pada bagian: (a) ujung dan (b) samping	43
Gambar 3.8. Sampel hasil pengujian lentur untuk pengujian SEM	44
Gambar 4.1. Hasil difraksi sinar-X <i>clay</i> Pacitan Pacitan yang mengalami aktivasi asam dan penambahan surfaktan CTMABr	46
Gambar 4.2. Hasil difraksi sinar-X serat nanas dan komposit LLDPE-serat nanas- <i>organoclay</i> Pacitan dengan variasi <i>organoclay</i> Pacitan	47
Gambar 4.3. Modulus tarik dari LLDPE murni, serat nanas, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP	49
Gambar 4.4 Kekuatan tarik dari LLDPE murni, serat nanas, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP	50
Gambar 4.5. Hasil pengujian tarik sampel komposit LLDPE-SN-OCP dengan kandungan <i>organoclay</i> 3 wt %	51
Gambar 4.6. Modulus lentur dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP	53
Gambar 4.7. Kekuatan lentur dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP	54
Gambar 4.8. <i>Elongation at break</i> dari LLDPE murni, serat nanas, komposit PP-OCP-SR, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP	55

Gambar 4.9. Hasil HDT dari LLDPE murni dan komposit LLDPE-serat nanas- <i>organoclay</i> Pacitan dengan variasi <i>organoclay</i> Pacitan . .	56
Gambar 4.10. Hasil SEM sampel hasil pengujian tarik komposit LLDPE-SN-OCP tanpa kandungan <i>organoclay</i> Pacitan pada bagian: (a) ujung dan (b) samping	58
Gambar 4.11. Hasil SEM sampel hasil pengujian lentur komposit LLDPE-SN-OCP dengan kandungan <i>organoclay</i> Pacitan 1 wt% pada bagian: (a) lekukan dan (b) samping	59



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Mineral <i>clay</i> dan komposisi	7
Tabel 2.2. Data lebar <i>basal spacing</i> d(001) <i>montmorilonite</i> yang telah diaktivasi asam sulfat dengan variasi konsentrasi surfaktan benzalkoniumklorida	15
Tabel 2.3. Sifat fisik serat nanas	28
Tabel 2.4. Sifat mekanik komposit HDPE-serat kayu- <i>nanoclay</i> - MAPE	31
Tabel 2.5. Pengaruh panjang serat terhadap sifat mekanik dalam komposit <i>polyester</i> -serat nanas	34
Tabel 2.6. Sifat mekanik komposit LLDPE- <i>organoclay</i> Tapanuli-serat nanas dengan variasi kandungan <i>organoclay</i>	35
Tabel 3. Komposisi bahan LLDPE-OCP-MA	38
Tabel 4.1. Hasil EDAX untuk komposisi <i>organoclay</i> Pacitan	45
Tabel 4.2. Hasil EDAX untuk komposisi serat nanas	46

DAFTAR LAMPIRAN

1. Tabel karakteristik serat nanas	71
2. Hasil EDAX <i>organoclay</i> Pacitan setelah aktivasi asam	72
3. Hasil EDAX serat nanas	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prinsip ramah lingkungan berupa *recycle*, *reuse*, dan *reduce*, belakangan marak dilakukan di berbagai negara di dunia. Pemanfaatan bahan ramah lingkungan yang melimpah di alam mulai dilirik industri untuk menghasilkan produk bermutu dengan modal lebih terjangkau. Oleh karena itu, perkembangan ilmu material sekarang ini banyak melakukan studi mengenai pemanfaatan bahan yang berasal dari alam. Produk material dengan bahan alami mempunyai sifat mekanik tidak sebaik bahan konvensional, namun demikian penggunaan bahan alami yang murah, mudah didapat, melimpah di alam, dan ramah lingkungan dalam dunia industri lebih diminati karena mempunyai nilai ekonomis untuk jangka panjang.

Penggunaan bahan alami yang banyak digunakan berupa serat alam sebenarnya telah cukup lama dikenal dan berkembang, terutama dalam bidangomotif. Material serat alam ini diperkenalkan Henry Ford pada tahun 1930-an dengan memanfaatkan *hemp fiber* untuk memperkuat *soy resin* untuk *body panels* pada bagian eksterior mobil (Holbery & Houston, 2006). Sejak saat itu banyak penelitian material komposit yang dilakukan dengan memanfaatkan polimer sebagai matriks dan serat alam sebagai penguat. Berdasarkan laporan Jitendra *et al.*, penambahan jumlah serat yang sesuai dapat meningkatkan properti mekanik material. Kemudian, penambahan *filler* berukuran nano diharapkan juga dapat meningkatkan sifat-sifat mekaniknya (K.G. Budinski & M.K. Budinski).

Dalam penelitian ini matriks yang digunakan adalah *linear low density polyethylene* (LLDPE) Dengan percabangan rantai pendek dengan jumlah yang cukup signifikan, LLDPE memiliki kekuatan tarik dan ketahanan terhadap tekanan yang tinggi (Wapedia).

Bahan penguat yang digunakan pada penelitian ini adalah serat alam yang berasal dari daun nanas. Penggunaan serat nanas merupakan salah satu perwujudan gerakan *go green* berupa *reduce*. Hal tersebut mengingat Indonesia merupakan negara keempat terbesar dalam produksi nanas, yaitu sekitar 3,2 % dari total luas areal nanas dunia (Ludiantora, 2009). Melimpahnya serat daun nanas dikarenakan masih terbatasnya konsumsi nanas pada bagian buahnya sebagai bahan makanan. Selanjutnya, daun nanas yang tidak terpakai akan menjadi limbah karena belum dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Padahal, daun nanas yang dihasilkan dari setiap hektar adalah 100 -130 ton pada populasi 50- 60 ribu tanaman. Berdasarkan data yang didapatkan oleh Nur Asbani, daun nanas mempunyai kandungan serat sekitar 3% yang berarti jumlah serat yang dapat dihasilkan adalah sekitar 3 - 3,9 ton/ha. Penambahan serat nanas pada komposit polimer sesuai studi George *et al.* menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan serat *sisal* dan *jute*. Selain itu, kekuatan tarik dan modulus tarik tertinggi didapatkan pada penambahan serat nanas sebanyak 30 wt%.

Selanjutnya, *clay* alam yang mengandung *montmorillonite* dari daerah Pacitan digunakan sebagai *nanofiller*. Sifat dasar *clay* yang hidrofilik menyulitkan pencampuran dengan matriks polimer yang bersifat hidrofobik. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi *clay* menjadi *organoclay* dengan cara pertukaran kation. Salah satu cara menghasilkan reaksi pertukaran kation dengan mengganti kation anorganik seperti natrium, kalsium, dan magnesium pada permukaan *clay* dengan kation organik, seperti ion *alkylammonium* yang disebut surfaktan (Sekarini, 2005) . Jenis surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *cetyltrimethylammonium bromide* (CTMABr).

Pendispersian *filler* yang baik di dalam matriks dapat dilihat dari pelebaran *basal spacing*. Namun, hal tersebut kadang sulit dicapai karena sifat polimer yang nonpolar tidak *compatible* dengan *clay* yang bersifat polar. Oleh karena itu, perlu ditambahkan *compatibilizer* yang merupakan senyawa kimia yang mampu bereaksi dengan material penguat dan material matriks dari suatu komposit. *Compatibilizer*

digunakan agar ikatan antar material penguat dengan material matriksnya menjadi lebih kuat (About.com). Selain itu, *compatibilizer* juga digunakan untuk mengurangi penolakan yang terjadi di antara polimer dengan *filler* (Special Chem). Pada penelitian ini *compatibilizer* yang digunakan adalah *maleic anhydride* (MA).

1.2 Batasan Masalah Penelitian

Penulis membatasi penelitian untuk tugas akhir ini pada fabrikasi komposit dengan metoda *hand lay-up* dan *compression molding*, serta karakterisasi sampel menggunakan difraksi sinar-X dan *energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDAX). Pengujian mekanik berupa uji tarik dan uji kelenturan dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan, modulus, dan *elongation at break* dari sampel. Sedangkan, untuk mengetahui sifat termal dilakukan pengujian *heat deflection temperature* (HDT). Sementara itu, pengujian menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dilakukan untuk melihat morfologi dari sampel dengan kekuatan terbaik hasil pengujian tarik dan kelenturan.

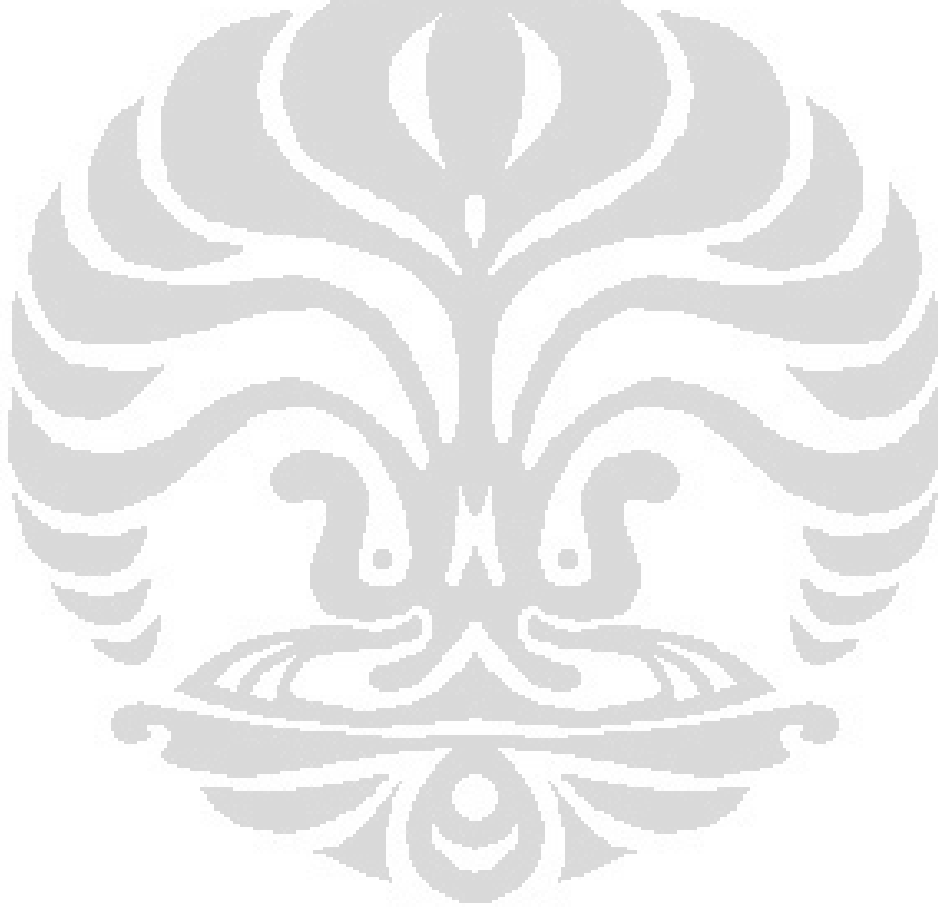
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Memanfaatkan bahan-bahan alam berupa *clay* dari daerah Pacitan dan serat nanas sebagai bahan penyusun material komposit.
- Melakukan teknik fabrikasi komposit LLDPE- serat nanas- *organoclay* Pacitan menggunakan metoda *melt intercalation* dan *hand lay-up*.
- Mendapatkan dan mempelajari karakteristik mekanik dan termal, serta morfologi komposit LLDPE- serat nanas- *organoclay* Pacitan.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi adalah sebagai berikut: Bab I berisi pendahuluan, penjelasan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II akan membahas tinjauan pustaka dan penjelasan mengenai teori dasar. Bab III akan memuat tahapan dan prosedur dalam eksperimen dan pengolahan data. Bab IV akan memuat data hasil eksperimen dan pembahasannya. Selanjutnya, Bab V akan berisi kesimpulan dan saran.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

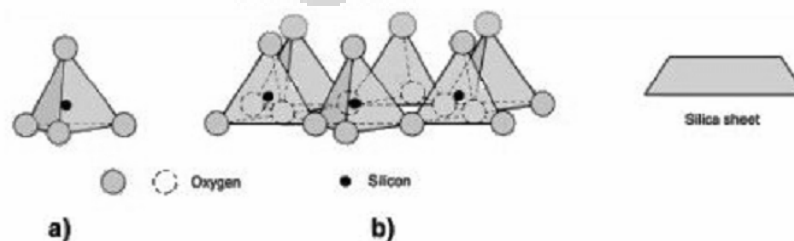
2.1 Mineral Clay

2.1.1 Jenis Mineral Clay

Mineral *clay* atau lempung terdiri dari jenis dan fraksi lapisan silikat *hydrous*, magnesium, atau aluminium. Setiap mineral *clay* mengandung dua jenis lembaran yaitu tetrahedral (T) dan oktahedral (O) yang menumpuk dengan ketebalan sekitar 1 nm atau 10 Å (Hussaim *et al.*, 2006)

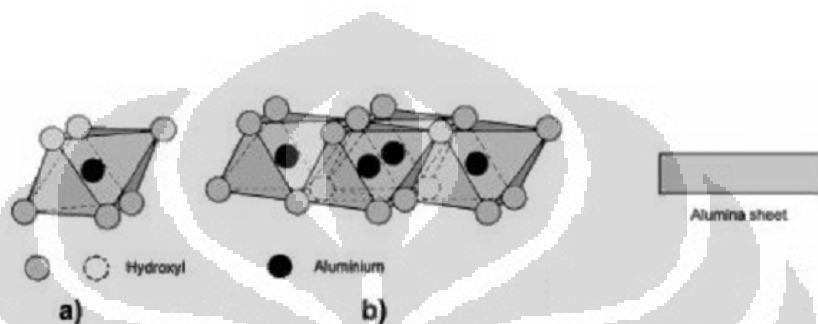
Struktur kristal *clay* dibangun dari berbagai jenis lembaran atau lapisan. Dasar blok bangunan dari lembaran ini adalah unit tetrahedron dan oktahedron. Unit tetrahedron terdiri dari silikon di pusat yang dikelilingi empat buah ion oksigen dalam koordinasi tetrahedral. Pada oktahedron disusun dari kation polivalen di pusatnya dan dikelilingi oleh enam ion oksigen atau ion hidroksil dalam koordinasi oktahedral.

Lapisan tetrahedral terdiri dari silikon tetrahedron bergabung dengan oksigen di pangkal tetrahedron seperti pada Gambar 2.1. Silikon tetrahedron terhubung dalam lapisan tetrahedral membentuk jaringan dengan heksagonal oksigen. Lapisan tetrahedral memiliki unit sel Si_2O_5 dengan tiga buah ion oksigen saling berbagi dengan unit tetrahedron terdekat (Blatt *et al.*, 1972)



Gambar 2.1. Diagram: (a) tetrahedron tunggal dan (b) struktur lapisan tetrahedral
[Sumber: Mitchell, J. K., 1993]

Lapisan oktahedral terdiri dari dua lembar oksigen atau ion hidroksil dengan aluminium, magnesium atau kation besi terdapat di dalamnya (Grim, 1968). Sel-sel unit oktahedral berbagi oksigen atau ion hidroksil dengan sel berdekatan pada jarak yang sama membentuk lembaran simetris seperti pada Gambar 2.2. Karena sifat lembar oktahedral yang mampu mengakomodasi kation yang berbeda, lapisan oktahedral dapat berupa di-oktahedral atau tri-oktahedral.



Gambar 2.2. Diagram: (a) oktahedron tunggal dan (b) struktur lapisan oktahedral

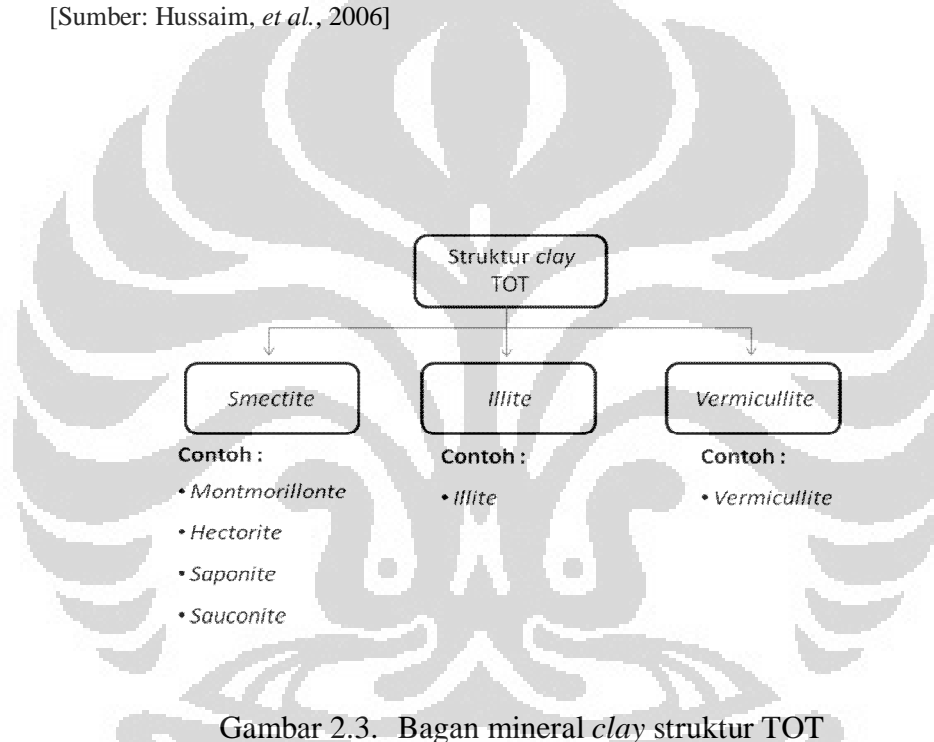
[Sumber: Mitchell, J. K., 1993]

Secara umum mineral *clay* dibedakan menjadi empat kelompok besar yang terdapat pada Tabel 2.1. dengan lapisan tetrahedral dan oktahedral terikat bersama dan saling berbagi anion oksigen antara aluminium dan silikon di ujung tetrahedral tetrahedral tersebut. Komposit lapisan tetrahedral dan oktahedral disebut *platelet* yang menumpuk seperti roti lapis terbuka. *Clay* dengan struktur TOT tersusun dari satu lapisan oktahedral yang diapit dua lapisan silika tetrahedral. Bagan mineral *clay* dengan struktur TOT dapat dilihat pada Gambar 2.3. *Clay* TOT ini dibagi menjadi tiga jenis yaitu, kelompok *smectite*, *illite*, dan *vermiculite*. Sedangkan, *clay* dengan struktur TO tersusun dari satu lapisan silika tetrahedral dan satu lapisan oktahedral yang saling menumpuk. Kelompok *kaolinite* merupakan contoh *clay* dengan tipe TO.

Tabel 2.1. Mineral *clay* dan komposisi

Structure type	Group	Mineral examples	Ideal composition	Basal spacing (Å)
2:1(TOT)	Smectite	Montmorillonite	$[(Al_{3.5-2.8}Mg_{0.5-0.2})(Si_8)O_{20}(OH)_4] Ex_{0.5-1.2}$	12.4–17
		Hectorite	$[(Mg_{5.5-4.8}Li_{0.5-1.2})(Si_8)O_{20}(OH)_4] Ex_{0.5-1.2}$	
		Saponite	$[(Mg_6)(Si_{7.5-6.8}Al_{0.5-1.2})O_{20}(OH)_4] Ex_{0.5-1.2}$	
2:1(TOT)	Illite	Illite	$[(Al_4)(Si_{7.5-6.5}Al_{0.5-1.5})O_{20}(OH)_4] K_{0.5-1.5}$	10
2:1(TOT)	Vermiculite	Vermiculite	$[(Al_4)(Si_{6.8-6.2}Al_{1.2-1.8})O_{20}(OH)_4] Ex_{1.2-1.8}$	9.3–14
1:1(TO)	Kaolin- serpentine	Kaolinite, dickite, nacrite	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	7.14

[Sumber: Hussaim, *et al.*, 2006]

Gambar 2.3. Bagan mineral *clay* struktur TOT

Kelompok *smectite* mempunyai sifat penyerapan air yang baik. Hal tersebut karena ikatan yang lemah antar lapisannya sehingga *smectite* biasa disebut *expanding clay*. *Montmorillonite*, *beidellite*, dan *nontronite* merupakan kelompok *smectite* dengan lapisan dioktahedral. Sedangkan *hectorite* (kaya atom Li), *saponite* (kaya atom Mg), dan *sauconite* (kaya atom Zn) merupakan kelompok *smectite* dengan lapisan trioktahedral (Grim, 1962).

Sedangkan pada kelompok *illite* mempunyai formula umum $K_yAl_4(Si_{8-y}, Al_y)O_{20}(OH)_4$ dengan y bernilai $1 < y < 1,5$ dan nilai $y < 2$. Kation interlayer

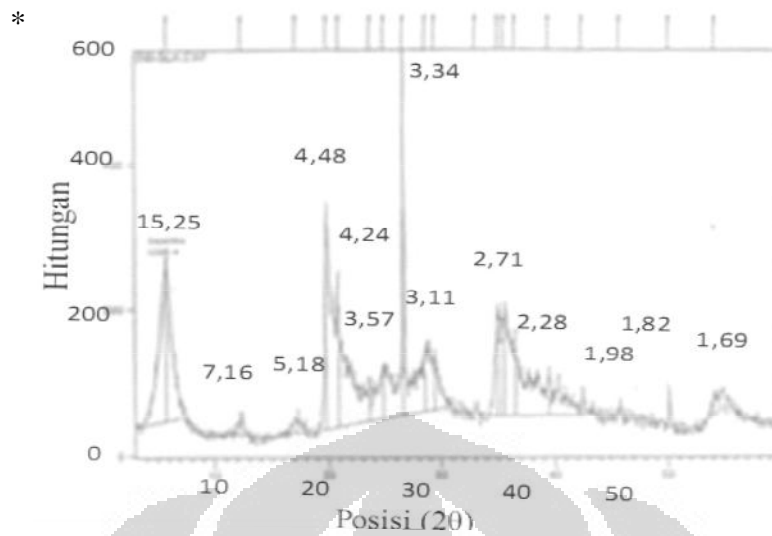
kalium, kalsium atau magnesium melindungi *clay* dari masuknya air ke dalam struktur. Oleh karena itu, *illite* dikenal sebagai *non-expanding clay*.

Untuk struktur kelompok *vermiculite* dengan ion magnesium sebagai pusat oktahedral berada di antara dua lembar tetrahedral. Kemampuan *vermiculite* mengembang kurang baik dibandingkan dengan mineral *clay* pada kelompok *smectite* (Mathieson, 1968).

Kaolinite mempunyai lapisan yang tak bermuatan dan antar lapisan tersebut terdapat ikatan *Van der Waals* yang lemah. *Kaolinite* merupakan jenis *kandite* yang paling umum digunakan dengan formula kimianya $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. *Kaolinite* terbentuk melalui proses pelapukan atau alterasi hidrotermal mineral aluminosilikat dan bersifat tidak dapat mengembang saat kontak dengan air.

2.1.2 Bentonite Clay

Bentonite merupakan mineral *clay* yang berasal dari batuan atau endapan *clay* terutama terdiri dari *montmorillonite* (Mason & Berry, 1968). Selain itu, *bentonite* juga mengandung mineral lain, seperti kuarsa, *illite*, kristobalit, *feldspar*, kalsit, *gypsum*, *kaolinite*, dan plagioklas. *Bentonite* mempunyai sifat mudah mengadsorpsi dikarenakan ukuran partikel koloidnya sangat kecil dan memiliki kapasitas permukaan yang tinggi. Selain itu, *bentonite* juga mudah mengembang di dalam air karena adanya penggantian isomer pada lapisan oktahedral dalam mengimbangi adanya kelebihan muatan diujung kisi-kisinya. Adanya gaya elektrolisis yang mengikat kristal pada jarak 4,5 Å dari permukaan unit-unitnya, akan tetap menjaga unit itu agar tidak saling merapat (Yusnimar *et al.*, 2009). Kemudian, jika diperhatikan pola difraksi sinar-X pada *bentonite* maka akan tampak pola puncak yang khas seperti pada Gambar 2.4. yang merupakan hasil difraksi *bentonite* dari daerah Pacitan. Puncak-puncak khas tersebut diantaranya terdapat pada sudut 2θ sekitar 21° dan 35° yang merupakan puncak



Gambar 2.4. Pola difraksi sinar-X *bentonite* Pacitan

[Sumber: Soparso, *et al.*, 2009]

milik kelompok *smectite*, yaitu *montmorillonite* (Wu Z., *et al.*, 2006 & ÖNAL M., *et al.*, 2003).

Pertama kali *bentonite* ditemukan di dekat Fort Benton di Wyoming, terbentuk secara *in situ* dengan perubahan abu vulkanik (Grim, 1968). Menurut Mason dan Berry iklim yang bersifat semi-kering, tanah alkali dan alkali tanah merupakan faktor pembentuk natrium *bentonite* (Na-*bentonite*) yang ditemukan di Wyoming. Sedangkan kalsium *bentonite* (Ca-*bentonite*) umumnya terbentuk di lingkungan dataran pantai.

Pada Na-*bentonite* terdapat banyak kandungan Na⁺ pada interlayernya. Na-*bentonite* mempunyai kemampuan mengembang hingga 15 - 20 kali dari volume awal. Oleh karena itu, Na-*bentonite* juga disebut *swelling bentonite*. Pada Ca-*bentonite* terdapat banyak kandungan Ca²⁺ pada interlayernya. Ca-*bentonite* disebut juga *non-swelling bentonite* karena kemampuan maksimum mengembangnya hanya sampai lima kali volume awal. Oleh karena itu, penggunaan Ca-*bentonite* sering dimodifikasi terlebih dahulu melalui pertukaran ion sehingga terjadi perubahan menjadi Na-*bentonite*. Selain daya mengembang

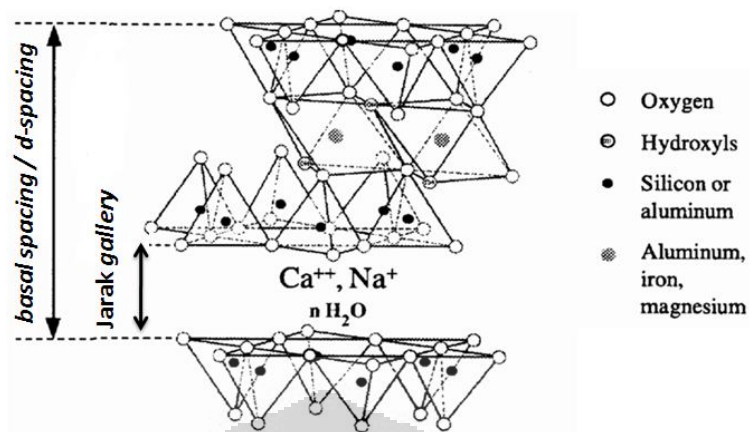
yang baik, *Na-bentonite* juga mempunyai kelebihan dalam ketahanan panas dan kekuatan tekan dibandingkan dengan *Ca-bentonite* (Sukandarrumidi, 1999).

Montmorilonite yang menyusun *bentonite* mengalami substitusi isomorfik magnesium oleh aluminium. Substitusi isomorfik merupakan proses pertukaran kation yang berukuran sama tapi dari jenis berbeda tanpa mengubah struktur kristal. Menurut Mason dan Berry substitusi isomorfik penting dalam diferensiasi mineral tanah liat dan perilakunya, khususnya dalam pembentukan muatan pada permukaan kristal tanah liat dan berdampak pada Kapasitas Tukar Kation (KTK). Pembentukan muatan ini perlu terjadi pada beberapa jenis *clay* untuk menyeimbangkan muatan (Blatt, *et al.*, 1972).

Kemampuan pertukaran ion pada mineral liat ditandai dengan besar nilai KTK yang dinyatakan dalam jumlah miliekuivalen ion (mek) per 100 gram mineral liat. Partikel tanah dan material organik memiliki muatan negatif pada permukaannya. Mineral kation mengabsorpsi muatan negatif permukaan atau partikel organik dan inorganik dari tanah tersebut. Tinggi rendahnya nilai KTK bergantung pada tekstur tanah dan kandungan material organik di dalamnya. Jenis *clay* yang berbeda memiliki nilai KTK yang beragam. Parameter ini biasa digunakan untuk mengetahui kesuburan tanah dan kemampuan untuk melindungi air bawah tanah dari kontaminasi kation anorganik lainnya. (Chitranigrum, 2008 & Wikipedia).

Penentuan kapasitas pertukaran kation suatu mineral liat dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang sering digunakan adalah menjenuhkan mineral liat dengan ion NH_4^+ . Jumlah ion yang teradsorpsi dapat ditentukan dengan metode Kjeldahl atau metode lainnya (Ammann, 2003)

Struktur *montmorilonite* yang menyusun *bentonite* membentuk lapisan TOT yang terikat ionik. Antar lapisan TOT terdapat gaya *Van der Waals* dan ruang antara dua lapisan TOT disebut *gallery* atau interlayer seperti tampak pada Gambar 2.5. *Montmorilonite* rentan terhadap *swelling* atau pembengkakan sehingga air atau cairan polar dapat masuk ke dalam *gallery clay* menyebabkan pemisahan antar lapisan. Pemisahan antar lapisan *clay* dapat dilihat dari



Gambar 2.5. Struktur *montmorilonite*

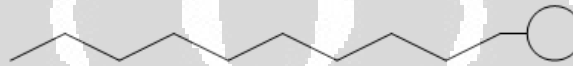
[Sumber: Utracki & Kamal, 2002 (telah diolah kembali)]

melebarnya *basal spacing* atau *d-spacing* yang didapat dari data difraksi sinar-X. Selain itu, *montmorilonite* sangat peka terhadap bahan kimia dan kation interlayer yang mempengaruhi perilaku *swelling* dan kemampuan penyerapan. Kemampuan penyerapan yang dimiliki *montmorilonite* tinggi dengan KTK 80-150 mek /100 g, *illite* berkisar antara 15 – 40 mek/100gr dan *kaolinite* memiliki nilai KTK diantara 3 – 15 mek/100 gr (Chitraningrum, 2008).

2.1.3 Modifikasi *Clay*

Mineral *clay* sejak dulu banyak dimanfaatkan dalam bidang industri keramik. Namun, pemakainnya kini mulai berkembang saat *clay* digunakan sebagai *filler* pada material komposit, terutama komposit polimer. Pada material komposit, *clay* sebagai *filler* harus dimodifikasi terlebih dahulu agar dapat berinteraksi dengan polimer. *Clay* dimodifikasi pada permukaannya agar terjadi pergantian antara kation anorganik seperti natrium, kalsium, dan magnesium dengan suatu kation organik yang disebut surfaktan maka *clay* ini disebut *organoclay* (Cross & Singer, 1994).

Surfaktan atau zat aktif permukaan adalah zat yang memiliki kecenderungan teradsorpsi pada permukaan atau antar muka sistem sehingga dapat mengubah energi bebas permukaan (Rosen, 1978). Struktur molekul surfaktan terdiri dari gugus liofilik (suka pelarut) dan gugus liofobik (takut pelarut) yang umumnya dilambangkan dengan model seperti pada Gambar 2.6. Bagian kepala merupakan gugus liofilik sedangkan ekor merupakan bagian yang liofobik. Gugus liofilik terutama terdiri dari ion logam atau senyawa logam sedangkan liofobik terdiri dari rantai hidrokarbon alkil.

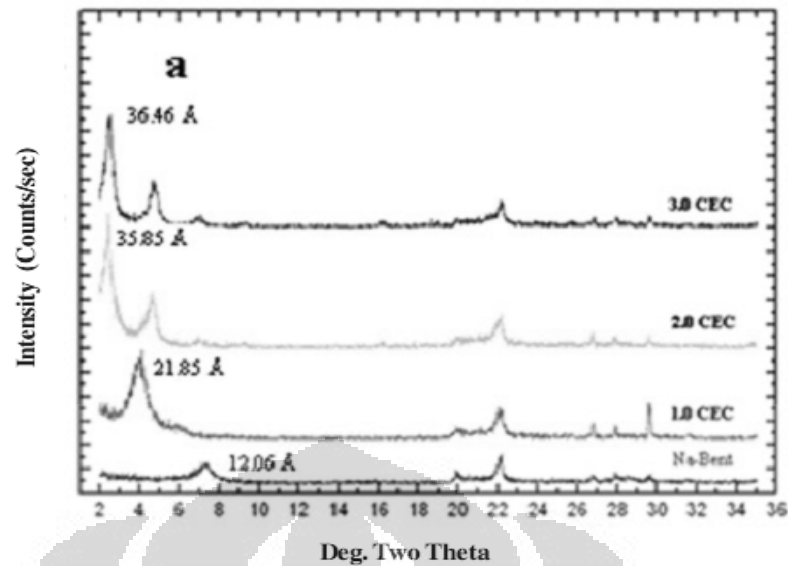


Gambar 2.6. Struktur surfaktan

[Sumber: Ernawati, 2007].

Penggunaan surfaktan bertujuan untuk merubah sifat *clay* yang hidrofilik agar dapat berinteraksi dengan matriks polimer yang hidrofobik sehingga memudahkan rantai polimer masuk ke *gallery*. Molekul surfaktan masuk ke *gallery* lalu terjadi pertukaran kation, seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} . Penyisipan tersebut mengakibatkan peningkatan luas permukaan, *basal spacing*, dan keasaman permukaan yang berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Sekarini, 2005).

Peningkatan *basal spacing* karena penambahan surfaktan dipengaruhi oleh konsentrasi surfaktan yang digunakan (Yunfei Xi, *et al.*, 2004). Hal tersebut dipelajari oleh Nuntiya *et al.*, yang menambahkan surfaktan *heksadesiltrimetilamonium* (HDTMA) ke dalam *Na-bentonite*. Penggunaan surfaktan dengan nilai 1,0 KTK menghasilkan lebar *basal spacing* 2,18 nm. Kemudian terjadi peningkatan *basal spacing* menjadi 3,65 nm saat surfaktan yang digunakan 3,0 KTK seperti tampak pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Pola Difraksi sinar-X pada Na-bentonite menggunakan surfaktan HDTMA

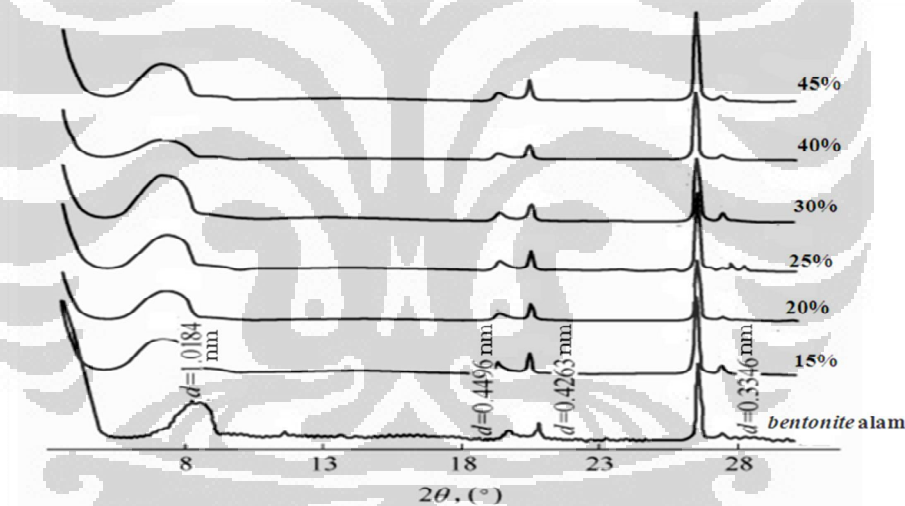
[Sumber: Nuntiya, A., *et al.*, 2008]

Pengaruh konsentrasi surfaktan juga didapati Ray Frost *et al.* pada Na-montmorillonite dengan surfaktan HDTMA+. Variasi konsentrasi HDTMA+ yang dilakukan adalah 0,5 KTK, 1,5 KTK, dan 5,0 KTK dengan lebar *basal spacing* 1,48 nm, 2,22 nm, dan 2,26 nm. Didapatkan pelebaran *basal spacing* seiring dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan. Selain itu, didapatkan pula perbedaan morfologi pada *clay* sebelum dan setelah modifikasi surfaktan. Struktur *clay* yang sebelumnya menggumpal dan *massive* menjadi lebih *flat* dan halus setelah penambahan surfaktan.

Metoda lain untuk modifikasi pada *clay* adalah aktivasi asam dengan memanfaatkan luas permukaan *clay*. Metoda aktivasi asam bertujuan untuk mendapatkan *clay* dengan keasaman permukaan tinggi dan memperluas permukaan *clay* sehingga kemampuan adsorpsi *clay* meningkat. Keasaman permukaan *clay* yang tinggi bermanfaat pada proses *pillaring* untuk meningkatkan lebar *basal spacing*. Proses aktivasi asam pada *clay* menyebabkan degradasi struktur *clay* karena kation Al^{3+} dan Mg^{2+} pada lapisan oktahedral terlarut oleh asam dan diameter pori-pori permukaan akan bertambah luas. Selain itu, tingkat

kristalinitas *clay*, ditandai dengan menurunnya intensitas puncak dan bertambah lebarnya *basal spacing* bidang (001) yang tampak dari pola difraksi sinar-X, akan menurun (Valenzuela, *et al.*, 2001).

Metoda aktivasi asam dilakukan oleh Wu Zhansheng *et al.* pada *bentonite* dari daerah Xinjiang dengan variasi jumlah asam sulfat 15, 20, 25, 30, 40, dan 45 % dari massa total bahan. Berdasarkan pola difraksi sinar-X pada Gambar 2.8. tampak bahwa *clay* yang digunakan mengandung *montmorillonite*, terlihat dari munculnya puncak pada 2θ sekitar 21° . Selain itu, lebar *basal spacing* (001) mendekati 1,02 nm menandakan *clay* tersebut jenis Na-*bentonite*. Setelah penambahan asam sulfat terlihat pergeseran puncak *bentonite* ke arah $2\theta < 8^\circ$. Hal tersebut menunjukkan *basal spacing* yang bertambah lebar.



Gambar 2.8. Pola difraksi sinar-X pada *bentonite* Xinjiang yang diaktivasi asam sulfat

[Sumber: Wu Z., *et al.*, 2006 (telah diolah kembali)]

Penggabungan kedua metoda, surfaktan dan aktivasi asam, untuk mendapatkan kemampuan adsorpsi *clay* dipelajari Suarya dan Simpen menggunakan *montmorillonite* yang diaktivasi asam sulfat dengan variasi

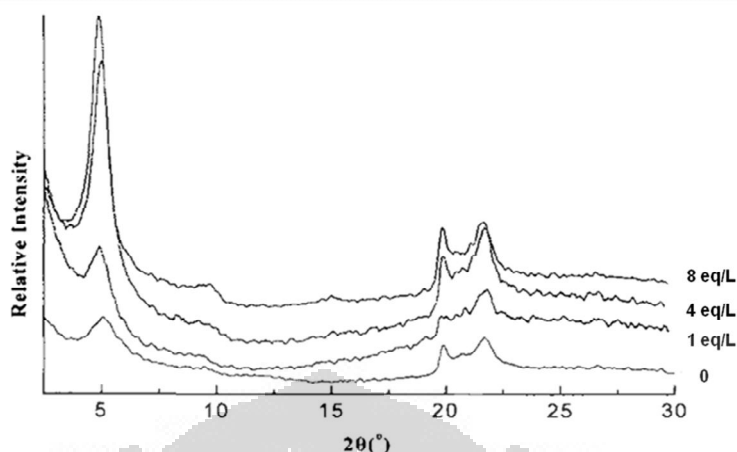
konsentrasi surfaktan benzalkoniumklorida. Didapatkan peningkatan luas permukaan dan *basal spacing* sebesar 1,18 m²/g dan 0,03 nm, seperti tertuang dalam Tabel 2.2. Namun, penambahan surfaktan sebanyak 0,1 % volume (S_{a-0,1}) pada *clay* aktivasi asam menunjukkan penurunan lebar *basal spacing* menjadi 1,52 nm meski nilainya lebih besar dari *basal spacing clay* alamnya (S₀₋₀) sebesar 1,51 nm. Penurunan luas permukaan *clay* juga didapatkan Suarya dan Simpen pada penambahan surfaktan 0,1 % volume, menjadi 26,04 m²/g. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan luas permukaan *clay* yang hanya diaktivasi asam. Lebar *basal spacing* tertinggi terdapat pada *clay* aktivasi asam tanpa penambahan surfaktan. Sedangkan luas permukaan optimum didapatkan pada *clay* aktivasi asam dengan penambahan surfaktan 1 % volume.

Tabel 2.2. Data lebar *basal spacing* d(001) *montmorilonite* yang telah diaktivasi asam sulfat dengan variasi konsentrasi surfaktan benzalkoniumklorida

Karakter Adsorben	<i>Basal spacing</i> d ₀₀₁ (Å)	Luas permukaan (m ² /g)
S ₀₋₀	15,15548	26,2239
S _{a-0}	15,40269	27,4035
S _{a-0,1}	15,20580	26,0482
S _{a-0,5}	14,62099	26,4557
S _{a-1}	14,77594	27,7885

[Sumber: Suarya dan Simpen, 2009 (telah diolah kembali)].

Penggunaan metoda aktivasi asam menggunakan asam sulfat pada *montmorilonite* juga dilakukan Falaras *et al.* Selain diaktivasi asam, *montmorillonite* mengalami proses *pillaring* menggunakan molekul [Al₁₃O₄(OH)₂₄(H₂O)₁₂]⁷⁺ yang berfungsi seperti surfaktan dengan variasi konsentrasi asam sebesar 0, 1, 4, dan 8 eq/L. Gambar 2.9. memperlihatkan pola difraksi sinar-X pada *montmorillonite* yang diaktivasi asam sulfat dan *pillaring*.

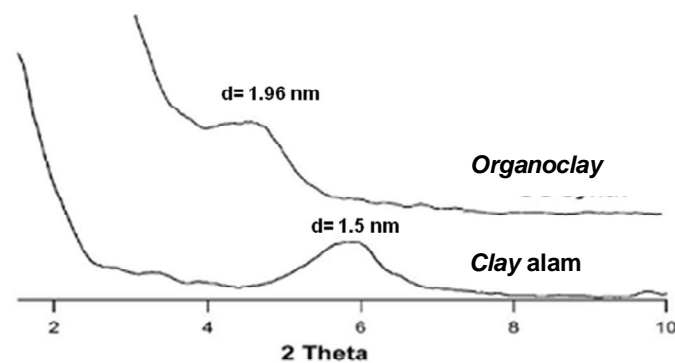


Gambar 2.9. Pola difraksi sinar-X pada *montmorillonite* yang diaktivasi asam sulfat dan *pillaring*

[Sumber: Falaras, *et al.*, 2000 (telah diolah kembali)]

Terlihat puncak bidang (001) *montmorillonite* yang diaktivasi asam pada $2\theta \cong 5^\circ$. Hal tersebut menunjukkan kenaikan *basal spacing* sebesar 0,51 nm dari lebar *basal spacing* pada *clay* alamnya sebesar 1,22 nm. Pada *montmorillonite* dengan konsentrasi asam 1 eq/L menghasilkan pelebaran *basal spacing* menjadi 1,80 nm. Sedangkan, *montmorillonite* dengan konsentrasi surfaktan 4 eq/L menyebabkan penurunan lebar *basal spacing* sebesar 0,05 nm. Selanjutnya, pada *montmorillonite* dengan konsentrasi surfaktan 8 eq/L didapatkan peningkatan *basal spacing* sebesar 0,04 nm bila dibandingkan *basal spacing* pada *montmorillonite* dengan konsentrasi surfaktan 4 eq/L.

Tim peneliti Pusat Teknologi Material Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM BPPT) memodifikasi *clay* Pacitan dengan menambahkan surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTMABr) yang mempunyai formula kimia $C_{16}H_{33}(CH_3)_3NBr$ (Roseno, 2007). Berdasarkan pola difraksi sinar-X pada Gambar 2.10. tampak bertambah lebarnya *basal spacing* bidang (001) lapisan silikat dari 1,50 nm menjadi 1,96 nm setelah penambahan surfaktan. Selanjutnya,



Gambar 2.10. Pola difraksi sinar-X *clay* Pacitan dan *organoclay* menggunakan surfaktan CTMABr

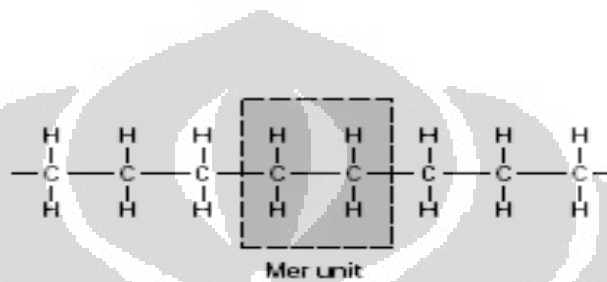
[Sumber: Roseno, 2007 (telah diolah kembali)]

tim PTM BPPT melakukan pengembangan terhadap *clay* Pacitan tersebut dengan metoda aktivasi asam menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) untuk digunakan sebagai *filler* dalam komposit *polypropylene* dengan penguat serat rami (Roseno, 2008). *Clay* Pacitan yang mengalami aktivasi asam inilah yang digunakan pada material komposit yang akan diteliti oleh penulis.

Proses aktivasi asam pada *clay* Pacitan diawali dengan pencampuran aquadest, H_2SO_4 , dan *clay*. Kemudian, larutan tersebut diendapkan dan larutan H_2SO_4 yang di bagian atas dibuang lalu ditambahkan aquadest dan NaOH sedikit demi sedikit sampai mencapai pH 7. Larutan tersebut dibiarkan mengendap lagi untuk mendapatkan tingkat keasaman yang diinginkan. Kemudian campuran disaring dan didiamkan semalaman. *Clay* hasil aktivasi asam di atas, dibuat *organoclay* dengan penambahan surfaktan CTMABr. Pembuatan *organoclay* diawali dengan pemanasan aquadest lalu dibagi dalam dua bagian untuk suspensi *clay* dan surfaktan. Kedua larutan tersebut diaduk hingga homogen lalu disatukan kembali sambil dipanaskan. Setelah itu, campuran mengalami proses pendinginan dan penyaringan sebelum didiamkan semalaman (Roseno, 2008).

2.2 Matriks Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari suatu molekul sederhana (mer) yang tersusun secara berulang. Salah satu jenis polimer termoplastik yang paling sederhana dan banyak dimanfaatkan dalam bidang industri adalah *polyethylene*. Struktur *polyethylene* merupakan polimer dengan gugus monomer *ethylene* yang berulang seperti pada Gambar 2.11.

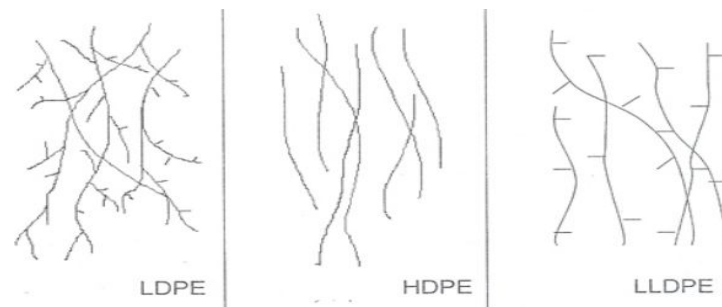


Gambar 2.11. Struktur monomer *ethylene* yang berulang membentuk *polyethylene*

[Sumber: Callister]

Secara umum, *polyethylene* terbagi tiga jenis berdasarkan densitas yang dimilikinya, yaitu *high density polyethylene* (HDPE), *low density polyethylene* (LDPE), dan *linear low density polyethylene* (LLDPE). Pengelompokan tersebut didasarkan pada densitas dan struktur rantai yang dihasilkan. Densitas yang berbeda berpengaruh pada tingkat kristalinitasnya. Semakin tinggi densitasnya maka makin tinggi pula kristalinitasnya. Kemampuan leleh pada polimer, *melt flow index* (MFI), juga sangat diperhatikan dalam dunia industri selain densitas. Hal tersebut karena nilai densitas dan MFI yang berbeda akan dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang berbeda.

Gambar 2.12. diperlihatkan struktur rantai LDPE yang bercabang dengan panjang cabang yang tidak seragam dan memiliki distribusi berat molekul yang lebar. Pada HDPE rantai karbonnya lurus tanpa cabang dengan distribusi berat molekul bergantung pada tipe katalis yang digunakan. Namun, umumnya distribusinya tidak terlalu lebar. Sedangkan, LLDPE memiliki rantai bercabang

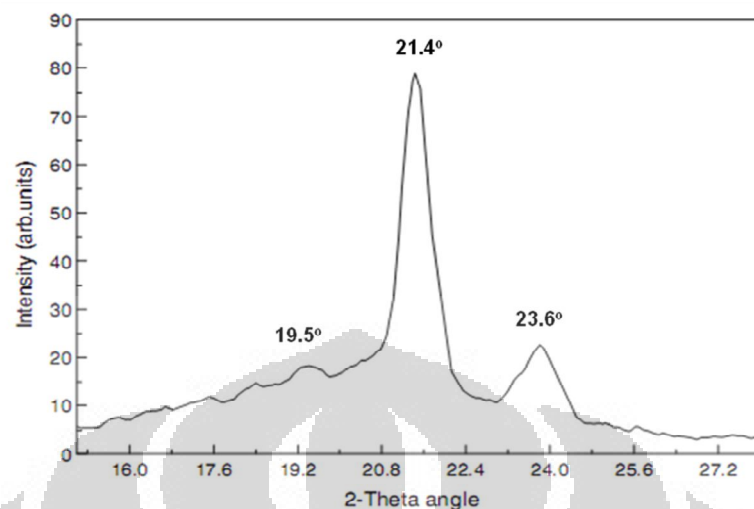


Gambar 2.12. Struktur rantai *polyethylene*

[Sumber: Polymer Technology]

dengan panjang seragam yang terbentuk dari hasil kopolimerisasi dari *ethylene* dengan rantai olefin-olefin. LLDPE diproduksi menggunakan suhu dan tekanan rendah pada *ethylene*. Sedangkan untuk alpha olefin seperti *butene*, *hexene*, atau *octene* digunakan suhu dan tekanan yang lebih tinggi pada waktu kopolimerisasi. Polimerisasi yang berlangsung pada polimer *polyethylene* biasanya menggunakan metoda *Ziegler-Natta catalysts*, namun untuk memproduksi LLDPE dibutuhkan metoda tersendiri karena solubilitasnya yang tinggi. Oleh karena itu, secara komersial LLDPE diproduksi dengan metoda *gas-phase reactor* atau *solution process* (Wikipedia & United States Patent).

Hasil kopolimerisasi pada LLDPE memiliki distribusi berat molekul yang lebih menyempit dibandingkan distribusi berat molekul pada LDPE. Hal tersebut berpengaruh pada perilaku *rheological* LLDPE yang cenderung kurang sensitif terhadap *shear stress*. Berat molekul yang menyempit ini mengakibatkan LLDPE akan tetap *viscous* meskipun dilakukan *shearing process*, seperti ekstrusi. Rendahnya sensitifitas terhadap *shear stress* ini akan mengakibatkan relaksasi dari stress yang lebih cepat dari rantai-rantai polimer selama proses ekstrusi. Selain itu, LLDPE mempunyai puncak-puncak khas pada pola difraksi sinar-X seperti terdapat pada Gambar 2.13. Pola tersebut didapatkan dari LLDPE yang telah dilelehkan dan ditekan maka akan tampak dua buah puncak yang dominan pada $21,4^\circ$ dan $23,6^\circ$ serta sebuah puncak yang melebar pada sudut sekitar $19,5^\circ$.

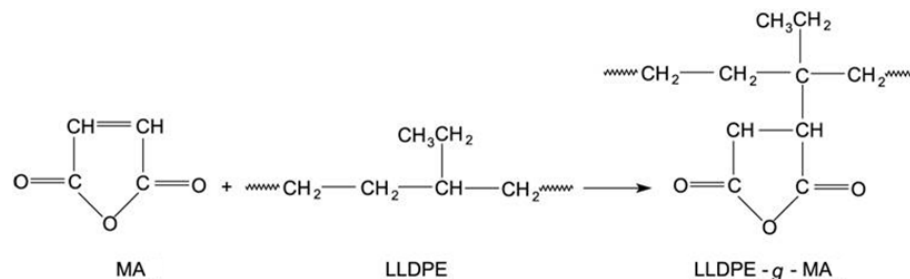


Gambar 2.13. Difraksi sinar-X LLDPE

[Sumber: Bhadrakumari & Predeep, 2006 (telah diolah kembali)]

Puncak dominan dan puncak melebar hasil difraksi sinar-X tersebut muncul dari daerah *crystalline* dan amorf dari LLDPE (Bhadrakumari & Predeep, 2006).

Belakangan banyak material polimer dimanfaatkan menjadi material komposit sebagai matriks. Namun, kebanyakan sifat polimer tidak *compatible* dengan *filler*. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi LLDPE dengan menggunakan suatu *compatibilizer*, seperti *maleic anhydride*, untuk mendapatkan hasil pencampuran yang baik antara matriks dan *filler*. Rantai LLDPE tersusun dari rantai linier olefin memudahkannya untuk di-*grafting* dengan molekul *maleic anhydride* untuk memperkuat gaya antar muka melalui ikatan antar atom karbon. Gambar 2.14. memperlihatkan struktur ikatan yang terjadi antara LLDPE dan *maleic anhydride* (MA) (John Z. L., *et al.*, 2005)



Gambar 2.14. Struktur ikatan antara LLDPE dan MA

[Sumber: Emerald: Research you can use]

Durmus *et. al.*(2007) membandingkan penggunaan *polyethylene grafting maleic anhydride* (PE-g-MA) dan *oxidized polyethylene* (OxPE) terhadap struktur dan properti mekanik yang dihasilkan pada LLDPE dengan Cloisite®20A. Penambahan PE-g-MA dan OxPE sebagai *compatibilizer* dibutuhkan agar dispersi yang baik terjadi antara matriks LLDPE yang non-polar dengan *clay* yang bersifat polar. Berdasarkan hasil difraksi didapatkan struktur eksfoliasi dengan penambahan PE-g-MA 15 wt% yang ditandai dengan tidak munculnya puncak bidang (001) pada kurva difraksi sinar-X. Sedangkan penggunaan OxPE dengan jumlah yang sama, yaitu 15 wt%, struktur eksfoliasi belum terbentuk, melainkan hanya terjadi pelebaran *basal spacing* sebesar 0,98 nm.

Selain itu, Sung Hun Ryu dan Young-Wook Chang memperlihatkan pengaruh jumlah *maleic anhydride* (MA) dalam *polyethylene grafting maleic anhydride* (PEMA) yang berperan sebagai *compatibilizer* pada matriks LLDPE dengan *filler* Cloisite TM 15A. Didapatkan dengan kandungan MA sebanyak 1 wt% dalam PEMA 10 wt% menunjukkan perilaku eksfoliasi. Sedangkan pada kandungan MA 0,5 wt% dalam PEMA 20 wt% masih menunjukkan struktur interkalasi. Kandungan MA juga mempengaruhi modulus tarik dari sampel tersebut. Pada PEMA 1 wt% didapatkan nilai modulus tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan PEMA 0,5 wt%.

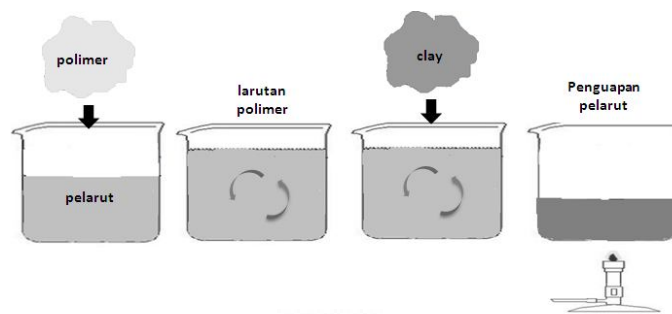
2.3 Material Komposit

Material komposit merupakan material multifasa dengan perbandingan tertentu dari material penyusunnya untuk menghasilkan sifat baru yang lebih baik. Umumnya komposit terdiri dari dua jenis fasa, yaitu fasa matriks dan fasa penguat. Matriks pada komposit berfungsi menjaga integritas komposit dan fasa penguat berfungsi sebagai pengisi atau *filler* untuk meningkatkan performa dari komposit (Callister).

Sifat komposit bergantung dari konsentrasi, ukuran, bentuk, distribusi, dan arah dari fasa penguat. Penambahan partikel dengan ukuran nano sebagai fasa penguat membentuk material nanokomposit dan mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan tersebut antara lain, meningkatkan sifat mekanik (Grasia, *et al.*, Chen *et al.*, & Zeng *et al*) menurunkan pelarut dengan cepat, menaikkan stabilitas termal, meningkatkan sifat listrik dan optik serta meningkatkan ketahanan terhadap api (Le Baron *et al.*, 1999), jika dibandingkan dengan komposit konvensional.

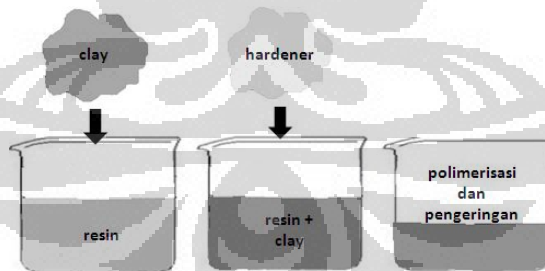
Salah satu jenis material nanokomposit yang sedang banyak dikembangkan adalah nanokomposit polimer-*clay*. Pada nanokomposit, polimer merupakan matriksnya dan *clay* dalam ukuran nano merupakan fasa penguat. Nanokomposit ini pertama kali dilakukan pada awal tahun 1961 ketika Blumstein mendemonstrasikan polimerisasi yang terjadi antara monomer vinyl dengan *montmorillonite* sebagai *nanofiller*. Ternyata diperoleh suatu polimer dengan sifat yang tidak biasa. Peningkatan sifat komposit diakibatkan oleh eksfoliasi *clay* atau penyebaran *nanofiller* secara merata dalam polimer.

Menurut Singh Bhupendra proses pembuatan nanokomposit polimer-*clay* terdapat beberapa cara, diantaranya, metoda interkalasi dalam larutan atau *solution induced intercalation*, metoda polimerisasi *in-situ*, dan metoda proses pada fasa leleh atau *melt processing*. Pada metoda interkalasi dalam larutan melibatkan polimer yang terlarut dalam pelarut organik dengan *organoclay* didispersikan dalam larutan tersebut. Selanjutnya pelarut diuapkan atau polimer diendapkan seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda *solution induced intercalation*

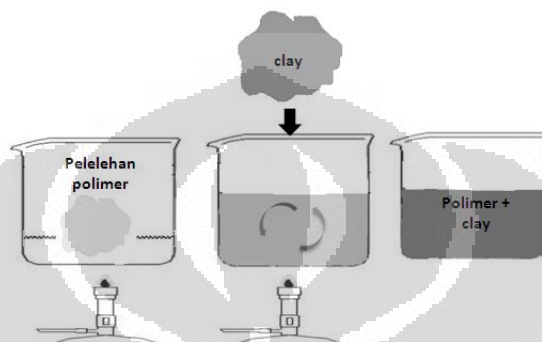
Metoda polimerisasi *in-situ* melibatkan lapisan *organoclay* didispersikan ke dalam prekursor polimer sebelum proses polimerisasi dilakukan. Polimerisasi dilakukan setelah *organoclay* terdispersi secara homogen sehingga hasil akhirnya adalah polimer yang telah mengandung *organoclay* di dalam matriksnya seperti pada Gambar 2.16. Nanokomposit yang pertama kali disintesis dalam matriks nylon 6 (polycaprolactam) menggunakan metoda ini (Pinnavia & Beall, 2002).



Gambar 2.16. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda polimerisasi *in-situ*

Untuk metoda *melt processing*, *nanoclay* didispersikan secara langsung ke dalam polimer selama proses pelelehan seperti pada Gambar 2.17. Pelelehan polimer menyebabkan proses pencampuran *clay* dan polimer dapat dilakukan

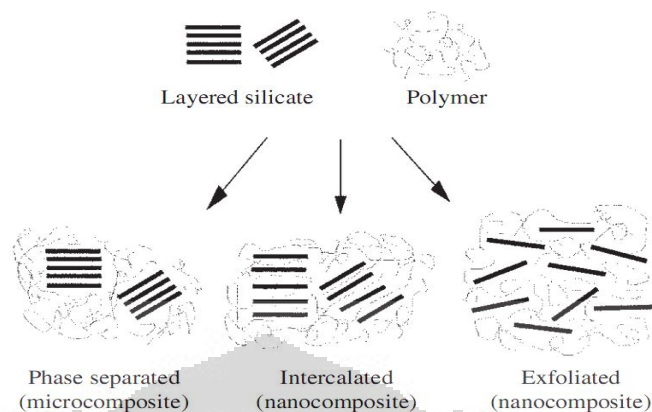
dengan mudah karena berada dalam fasa cair. Dalam metoda ini, silikat harus mengalami perlakuan permukaan sebelumnya melalui modifikasi organik seperti metoda pada polimerisasi *in situ*. Metoda ini tidak memerlukan pelarut, seperti pada metoda *solution induced intercalation*. Namun, walaupun diperlukan, jumlah pelarut yang diperlukan tidak terlalu banyak.



Gambar 2.17. Ilustrasi pembuatan nanokomposit dengan metoda *melt processing*

Pada pembuatan komposit, *clay* dicampur ke dalam polimer. Campuran yang terbentuk adalah komposit konvensional atau nanokomposit bergantung pada komponen-komponen campuran dan kondisi pemrosesan. Komposit konvensional diperoleh jika *clay* tidak berinterkalasi atau tidak terdispersi dengan baik dalam polimer. Sifat dari komposit ini mirip dengan komposit polimer yang diperkuat dengan partikel mikro.

Sedangkan nanokomposit yang dihasilkan dapat mempunyai struktur terinterkalasi dan eksfoliasi. Pada nanokomposit dengan struktur interkalasi rantai polimer yang memanjang dapat masuk ke dalam *gallery clay* dan menghasilkan morfologi multilayer seperti pada Gambar 2.18. Strukturnya terdiri dari lapisan rantai polimer dan mineral lempung yang tersusun bergantian dengan lebar *basal spacing* kurang dari 2 - 3 nm. Sedangkan nanokomposit dengan struktur tereksfoliasi/delaminasi, *clay* terdispersi secara uniform dalam matriks polimer.



Gambar 2.18. Struktur komposit konvensional atau *microcomposite*, terinterkalasi, dan tereksfoliasi

[Sumber: Alexandre & Dubois, 2000]

Menurut Ke & Stroove (2005) dan Fornes & Paul (2003), struktur eksfoliasi yang terbentuk dapat dilihat dari ketidakhadiran puncak bidang (001) *clay* pada difraktogram yang terdapat pada sudut $2\theta < 10^\circ$. Kebanyakan nanokomposit polimer yang terbentuk mempunyai struktur *cluster* (tereksfoliasi sebagian).

Ling Chen *et al.* mempelajari struktur, kekuatan tarik, dan modulus yang terjadi pada nanokomposit *polypropylene* (PP) dengan *nanoclay*. Matriks PP yang digunakan telah mengalami modifikasi menggunakan *maleic anhydride*. Data hasil difraksi didapatkan penambahan *nanoclay* 30 wt% meningkatkan *basal spacing* sebesar 0,5 nm. Pelebaran *basal spacing* menunjukkan rantai polimer yang mulai masuk ke *gallery clay* membentuk struktur interkalasi. Selanjutnya, pada penambahan *nanoclay* 40 wt% peningkatan *basal spacing* yang terjadi hanya sebesar 0,3 nm. Perilaku tersebut dikarenakan terbentuknya agglomerasi *clay* akibat jumlah *clay* yang meningkat. Namun, pada hasil pengujian tarik didapatkan kecenderungan meningkatnya kekuatan tarik dan modulus seiring dengan penambahan jumlah *clay*.

Kemudian, Sinha Ray *et al.* mempelajari sifat termal dan mekanik dari nanokomposit *polyactide-montmorillonite*. Berdasarkan data difraksi didapatkan peningkatan *basal spacing* sebesar 3 nm saat penambahan *nanoclay* 4 wt%. Namun, peningkatan *basal spacing* hanya sebesar 2,85 nm saat ditambahkan *nanoclay* 7 wt%. Selain itu, didapatkan peningkatan nilai modulus seiring dengan peningkatan jumlah *clay* meskipun kekuatan lentur yang didapatkan memiliki nilai yang kurang konsisten. Pada penambahan *nanoclay* 4 wt% dan 5 wt%, terjadi peningkatan kekuatan tarik sekitar 16 % dan 20 % dari properti *polyactide*. Namun, saat jumlah *nanoclay* 7 wt%, terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 8% dibandingkan kekuatan tarik pada kandungan *nanoclay* 5 wt%. Sifat termal sampel berdasarkan pengujian *heat deflection temperature* (HDT) didapatkan kecenderungan meningkatnya suhu defleksi saat jumlah *clay* terus ditambahkan. Sinha Ray mendapatkan peningkatan suhu defleksi sebesar 15 % saat ditambahkan *nanoclay* 7 wt% dibandingkan pada kandungan *nanoclay* 4 wt% dengan kenaikan suhu 15,7 °C.

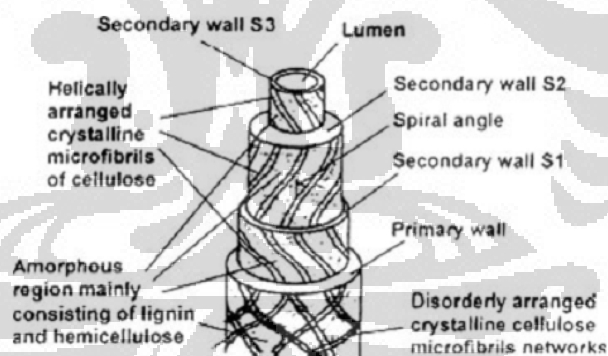
Pemanfaatan polimer dalam industri juga sering dimodifikasi dengan menambahkan serat. Serat gelas merupakan salah satu jenis serat yang dipakai sebagai penguat pada material plastik. Namun, saat ini serat alami sebagai penguat mulai banyak dipakai karena dinilai lebih ramah lingkungan dan mudah didapatkan secara lokal. Selain itu, massa jenis yang rendah memberikan banyak manfaat dalam peningkatan sifat mekanik pada material komposit dibandingkan komposit yang tidak menggunakan serat (Folkes, 1982). Polimer yang ditambahkan serat alam harus mempunyai kemampuan leleh dibawah 200 °C karena stabilitas termal serat alam yang terbatas (SABIC).

Secara umum serat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: serat hewan, serat tumbuhan, dan serat mineral. Serat hewan umumnya tersusun dari serat protein dan lignin. Serat tanaman umumnya tersusun oleh selulosa (α -cellulose), hemiselulosa, lignin, pektin, and *wax* (George *et al.*, 1995). Sedangkan, serat mineral tersusun dari serat mineral alami yang terbentuk langsung di alam.

Serat tumbuhan atau biasa disebut serat alam, dibagi menjadi 3 (tiga) jenis berdasarkan tempat serat tersebut diambil dari bagian tumbuhan, yaitu:

1. Serat buah (*fruit fibres*), serat ringan dan berbulu berasal dari buah-buahan yang disadap. Misalnya, kapas dan *coir*.
2. Serat kulit pohon (*stem fibres*), serat yang terdapat di dalam batang tumbuhan yang menyediakan kekuatan bagi batang tersebut. Misalnya, *kenaf, flax, jute*, dan *hemp*.
3. Serat daun (*leaf fibres*), serat kokoh, keras, dan kasar berasal dari daun-daunan yang disadap. Misalnya, *sisal, henequen*, dan nanas.

Gambar 2.19. memperlihatkan struktur serat alam yang terdiri dari selapis dinding primer dan tiga lapis dinding sekunder dengan membran dinding yang tidak homogen. Pada dinding primer terdapat jaringan mikrofibril yang tidak teratur sedangkan pada dinding sekunder mikrofibril tersusun secara helikal. Terdapat daerah amorf yang terdiri dari hemiselulosa yang terikat dengan selulosa melalui ikatan hidrogen dan lignin yang bersifat hidrofobik bermanfaat untuk meningkatkan kekakuan pada serat (Jacob John & Anandjiwala).

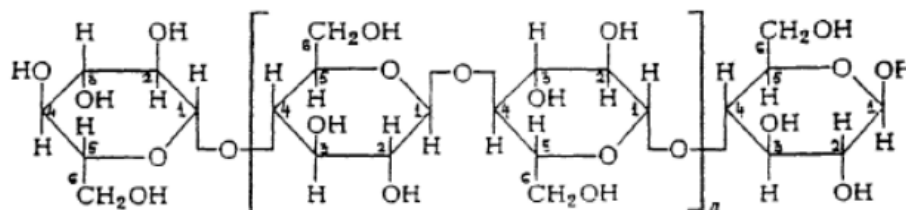


Gambar 2.19. Struktur serat alam

[Sumber: Jacob John & Anandjiwala]

Komponen utama serat berupa selulosa mempunyai unit dasar *anhydro-d-glucose* dengan ikatan hidrogen didalam molekul dan diluar molekul itu sendiri seperti tampak pada Gambar 2.20. Oleh karena itu, semua serat alam bersifat

hidrofilik dengan kemampuan menyerap air sekitar 8 - 12,6 % (Bledzki, *et al.*, 1996).



Gambar 2.20. Ikatan hidrogen pada *anhydro-d-glucose*

[Sumber: Bledzki, *et al.*, 1996)

George *et al.* (1995) mempelajari pengaruh penggunaan serat nanas, *sisal*, dan *jute* dalam meningkatkan properti mekanik material komposit. Pada penambahan 10 wt% serat nanas dalam matriks LDPE, didapatkan peningkatan kekuatan tarik sebesar 92 % dari kekuatan tarik serat nanas murni yang tersaji pada Tabel 2.3. Sedangkan, penambahan serat *sisal* 10 wt% menghasilkan kekuatan tarik sebesar 83 %. Komposit serat nanas juga memiliki *elongation at break* yang cukup tinggi dibandingkan serat *sisal* dan *jute*. Hal tersebut dikarenakan kandungan selulosa yang tinggi pada serat nanas.

Tabel 2.3. Sifat fisik serat nanas

Properties		Value
Density	(g/cm ³)	1.526
Softening Point	(°C)	104
Tensile Strength	(MPa)	170
Young's Modulus	(MPa)	6260
Specific Modulus	(MPa)	4070
Elongation at Break (%)		3
Moisture regain	(%)	12

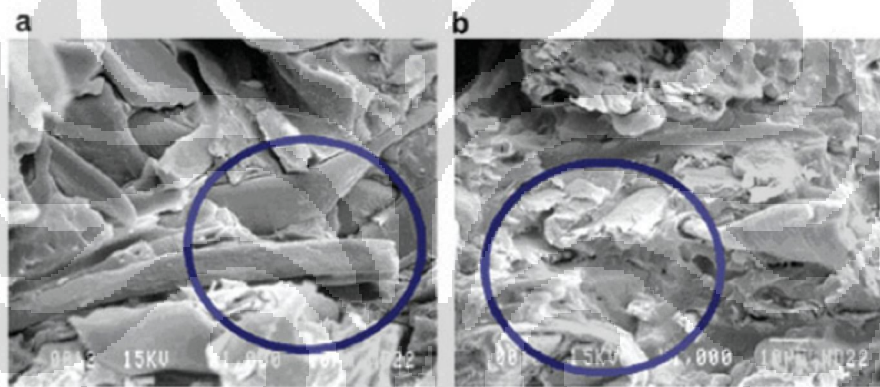
[Sumber: George, *et al.*, 1995]

Menurut Taj *et al.*, salah satu kendala penambahan serat alam dalam material komposit adalah penyebaran tidak merata yang mengakibatkan penurunan sifat mekanik. Penurunan sifat mekanik ini dikarenakan buruknya interaksi *interfacial* antara matriks dengan serat. George *et al.* (1996a) melakukan penelitian mengenai komposit serat nanas mengenai perilaku *melt rheology*. Penambahan serat dan perlakuan awal pada serat berpengaruh pada perilaku *rheology*. Secara umum, dengan penambahan jumlah serat maka akan meningkatkan kekentalan dari material komposit. Kemudian saat suhu dinaikkan maka kekentalan dari sampel akan menurun kecuali pada serat yang belum mengalami perlakuan awal. Selanjutnya saat mencapai suhu yang cukup tinggi maka komposit akan mengalami *crosslinking* sehingga sifatnya akan menjadi lebih *rigid*.

Perlakuan awal pada komposit serat untuk meningkatkan interaksi *interfacial* antara matriks dan serat dapat dilakukan dengan perlakuan kimia serat atau penambahan *compatibilizer*. Seperti yang dilakukan oleh Mokhtar *et al.* pada komposit serat nanas dengan matriks *polypropylene*. Serat nanas yang digunakan diberi perlakuan awal berupa perendaman menggunakan larutan NaOH 5 %. Didapatkan peningkatan nilai modulus pada penambahan serat 20 wt% dan nilai modulus mencapai nilai optimum pada serat nanas 30 wt% dengan kenaikan sekitar 53 %. Namun, penambahan serat nanas 40 wt% menghasilkan penurunan nilai modulus. Kekuatan tarik pada komposit ini cenderung menurun seiring penambahan jumlah serat karena komposit menjadi *brittle*. Sedangkan kekuatan lentur mencapai nilai optimum sebesar 38,9 MPa pada kandungan serat 40 wt%.

Untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit serat nanas, Samal dan Ray menambahkan *diazo coupling aniline* dan *crosslinking formaldehyde*. Perlakuan awal tersebut menghasilkan perubahan yang signifikan pada properti mekanik, resistansi bahan kimia, dan menurunkan kelembaban dari komposit. Selke *et al.* pun melakukan perlakuan awal dengan menambahkan beberapa *additives* yang memungkinkan adhesi dan dispersi yang baik antara serat kayu dengan matriks HDPE. Terjadi peningkatan pada kekuatan tarik dan *elongation at break* pada penambahan *maleic anhydride* 5 wt% modifikasi *polypropylene* dengan serat kayu 30 wt%.

Xue *et al.* Mencoba mempelajari pengaruh *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) sebagai *compatibilizer* terhadap properti mekanik dalam komposit *polypropylene* yang diperkuat serat aspen. Citra SEM komposit tanpa MAPP pada Gambar 2.21(a). memperlihatkan permukaan serat belum terlapiasi oleh matriks sepenuhnya. Hal tersebut menandakan adhesi yang kurang baik antara serat dan matriks. Penambahan MAPP pada komposit meningkatkan adhesi antara serat dan matriks seperti tampak pada Gambar 2.21(b) yang menunjukkan permukaan serat yang terlapiasi matriks secara menyeluruh. Selain meningkatkan adhesi, penambahan *compatibilizer* juga meningkatkan kekuatan tarik dan lentur komposit sebesar 15 % dan 40 % (Jacob John, *et al.*).



Gambar 2.21. Hasil SEM komposit polypropylene diperkuat serat aspen: (a) tanpa MAPP dan (b) dengan MAPP

[Sumber: Jacob John, *et al.*]

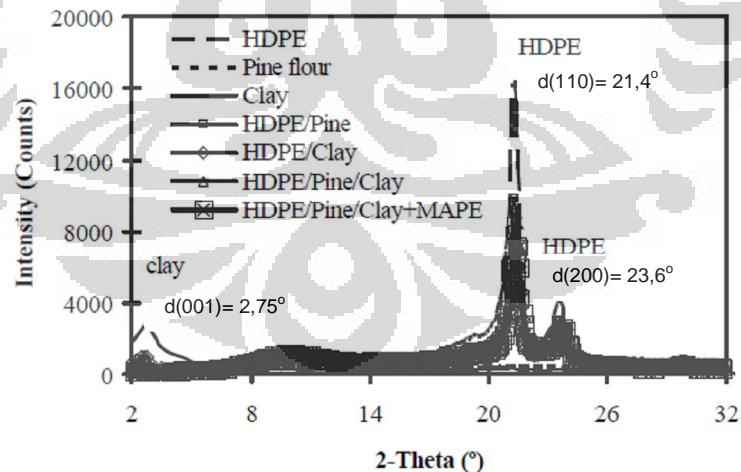
Penambahan serat alam meningkatkan kekuatan tarik dan modulus dari material juga dipelajari oleh Yong Lei *et al.* pada komposit HDPE yang ditambahkan *nanoclay*, serat kayu berbentuk *powder*, dan MAPE sebagai *compatibilizer*. Tabel 2.4. menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus tarik (*tensile modulus*) dari komposit tanpa kandungan *nanoclay* sebesar 18,09 MPa dan 1,95 GPa. Sedangkan komposit dengan kandungan *nanoclay* 1 wt% mempunyai kekuatan dan modulus tarik sebesar 22,46 MPa dan 2,18 GPa.

Tabel 2.4. Sifat mekanik komposit HDPE-serat kayu-nanoclay-MAPE

Clay content (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)
0	31,60	1,52	18,09	1,95
1	37,79	1,53	22,46	2,18
2	36,83	1,61	21,95	2,23
3	35.85	1,69	21,02	2,30

[Sumber: Yong Lei, *et al.*, 2007 (telah diolah kembali)]

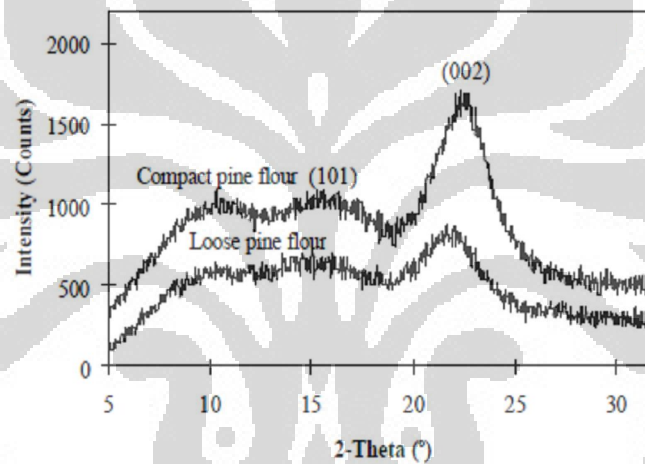
Yong Lei *et al.* juga mencoba melihat properti mekanik yang dihasilkan akibat penambahan MAPE, didapatkan kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan modulus lentur terbaik saat ditambah MAPE pada konsentrasi HDPE dan serat sebesar 70 : 30. Penggunaan MAPE juga mempengaruhi eksfoliasi sampel yang ditandai dengan melebarnya *basal spacing* bidang (001) dan menurunnya intensitas difraksi sinar-X pada puncak HDPE bidang (110) dan (200) seperti tampak pada Gambar 2.22.



Gambar 2.23. Pola difraksi sinar-X komposit HDPE-serat kayu-nanoclay-MAPE

[Sumber: Yong Lei, *et al.*, 2007 (telah diolah kembali)]

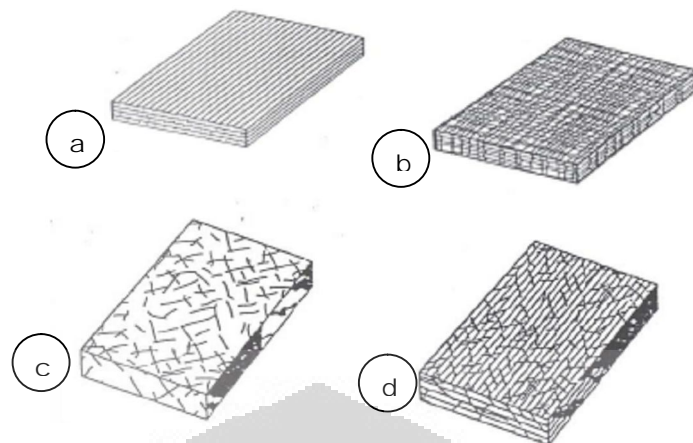
Difraksi sinar-X juga dilakukan Yong Lei *et al.* pada serat kayu yang ditekan dengan beban sebesar 30 ton (*compact pine flour*) dan serat kayu yang tidak diberi beban (*loose pine flour*) seperti tampak pada Gambar 2.23. Didapatkan intensitas pada *loose pine flour* lebih rendah dibandingkan intensitas pada *compact pine flour*. Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas difraksi sinar-X dipengaruhi oleh densitas sampel dan densitas yang tinggi menunjukkan kristalinitas yang tinggi pula. Pada kurva juga tampak dua buah puncak milik serat kayu yang merupakan tipikal puncak selulosa dengan bidang (101) dan (002) pada 2θ sekitar 16° dan 22° .



Gambar 2.23. Pola difraksi sinar-X serat kayu

[Sumber: Yong Lei, *et al.*, 2007]

Penyebaran serat dalam matriks merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan komposit berpenguat serat. Hal tersebut dikarenakan tata letak dan arah serat dalam matriks yang akan menentukan kekuatan mekanik dan mempengaruhi kinerja komposit tersebut. Penempatan serat dalam matriks dapat dibedakan menjadi *continuous fiber composite*, *woven fiber composite*, *chopped fiber composite*, dan *hybrid fiber composite* dengan susunan serat yang tersaji pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Susunan serat dalam matriks: (a) *continuous fiber composite*, (b) *woven fiber composite*, (c) *chopped fiber composite*, dan (d) *hybrid fiber composite*

[Sumber: Rusmiyatno, 2007]

Continuous fiber composite mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya. *Woven fiber composite* mempunyai susunan serat yang dianyam, sehingga tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Namun, susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah. *Chopped fiber composite* merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang lebih rendah jika dibandingkan sifat mekanik komposit dengan serat lurus dengan jenis serat yang sama. Sedangkan *hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada dua jenis serat yang digunakan dalam komposit yaitu

serat pendek dan serat panjang. Ukuran panjang serat yang termasuk serat pendek adalah serat yang memiliki perbandingan panjang dan diameternya < 100 (Hull, 1981). Komposit pada umumnya menggunakan serat panjang karena lebih kuat dan lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek. Namun, penggunaan serat pendek lebih mudah peletakannya dalam matriks dibanding serat panjang.

Devi, *et al.* melakukan penelitian untuk mengetahui panjang optimum dari serat nanas dalam matriks *polyester* untuk menghasilkan sifat mekanik yang baik. Panjang optimum serat nanas pada 30 mm menghasilkan nilai *modulus young*, kekuatan tarik (*tensile strength*), dan *elongation at break* tertinggi. Namun, pada panjang serat nanas 40 mm didapatkan penurunan sifat mekaniknya seperti terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel. 2.5. Pengaruh panjang serat terhadap sifat mekanik dalam komposit *polyester*-serat nanas

Fibre Length (mm)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
5	815	15.6	3.0
10	1870	35.0	3.0
20	1990	39.2	3.0
30	2290	52.9	3.6
40	1970	38.4	3.0

[Sumber: Devi, *et al.*, 1997]

Adawiyah telah berhasil membuat komposit serat nanas dan *organoclay* Tapanuli dalam matriks LLDPE. Adawiyah mendapatkan kekuatan tarik tertinggi pada komposit dengan kandungan *organoclay* 1 wt%, sebesar 17,54 MPa, seperti tertuang dalam Tabel 2.6. Untuk nilai modulus tarik tertinggi terdapat pada komposit dengan kandungan *organoclay* Tapanuli 3 wt%, yaitu sebesar 1,39 GPa. Nilai kekuatan lentur tertinggi didapatkan Adawiyah pada komposit tanpa

Tabel 2.6. Sifat mekanik komposit LLDPE-*organoclay* Tapanuli-serat nanas dengan variasi kandungan *organoclay*.

Kandungan Organoclay Tapanuli (wt%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Tarik (GPa)	Kekuatan Lentur (MPa)	Modulus Lentur (GPa)
0	11,98	0,55	30,33	0,68
1	17,54	0,89	12,42	0,79
3	15,32	1,39	13,76	0,97
5	14,26	1,04	11,32	0,51
7	8,75	0,39	9,54	0,43

[Sumber: Adawiyah, 2010 (telah diolah kembali)]

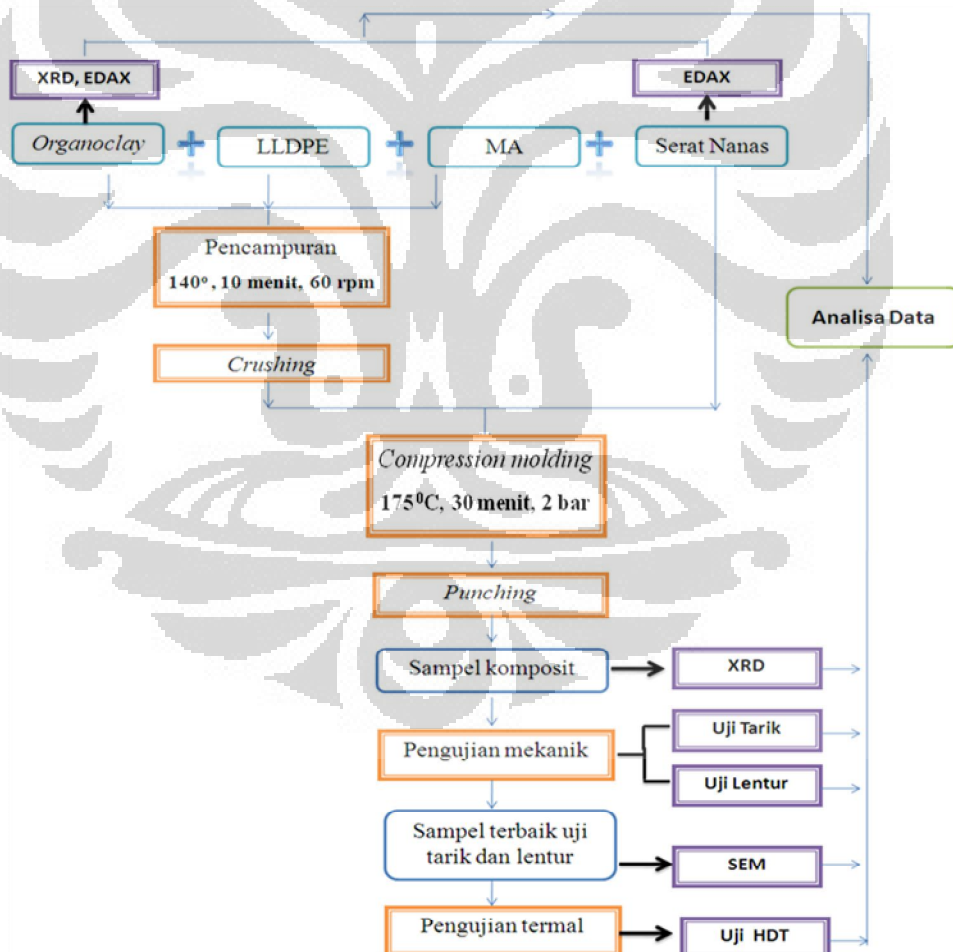
kandungan *organoclay* dengan nilai 30,33 MPa. Penambahan *organoclay* Tapanuli oleh Adawiyah cenderung menghasilkan penurunan nilai kekuatan lentur. Sedangkan, nilai modulus tarik dan modulus lentur komposit LLDPE-*organoclay* Tapanuli-serat nanas terdapat pada komposit dengan kandungan *organoclay* 3 wt%, yaitu 1,39 GPa dan 0,97 GPa.

Penambahan serat nanas sebagai penguat dan penggunaan *organoclay* sebagai *filler* dapat meningkatkan sifat mekanik komposit. Namun, studi mengenai komposit polimer berpenguat serat nanas yang diisi *organoclay* belum banyak divariasikan.

BAB III

METODA EKSPERIMEN

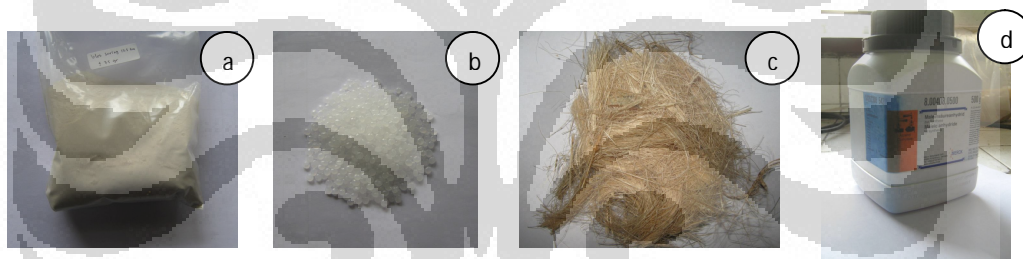
Pembuatan material komposit LLDPE- serat nanas- *organoclay* Pacitan pada penelitian ini menggunakan teknik *hand lay-up* dan *compression molding*. Mula-mula LLDPE, *maleic anhydride* (MA), dan *organoclay* dicampur dan ditambahkan serat nanas lalu dilakukan penekanan dan pemotongan hingga terbentuk sampel untuk dikarakteristisasi dengan difraksi sinar-X, SEM, dan EDAX serta uji mekanik dan termal. Adapun skema metoda eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema tahapan eksperimen

3.1 Bahan

Pada penelitian ini menggunakan LLDPE sebagai matriks dengan penguat serat nanas, *filler organoclay* pacitan (OCP), dan *maleic anhydride* (MA) sebagai *compatibilizer* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. *Clay* Pacitan yang mempunyai massa jenis $1,47 \text{ gram/cm}^3$ telah mengalami proses aktivasi asam dan selanjutnya dimodifikasi menggunakan surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTMABr) sehingga menjadi *organoclay* yang ditandai dengan peningkatan *basal spacing* bidang (001) sebesar $0,46 \text{ nm}$ berdasarkan pola difraksi sinar-X pada Gambar 2.10. Proses pembuatan *organoclay* yang teraktivasi asam tersebut dilakukan oleh tim peneliti Pusat Teknologi Material Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM BPPT).



Gambar 3.2. Bahan yang digunakan dalam komposit LLDPE- serat nanas- *organoclay* Pacitan: (a) *organoclay* Pacitan, (b) LLDPE, (c) serat nanas, dan (d) *maleic anhydride*

LLDPE berbentuk *pellet* berwarna putih berasal dari PT Chandra Asri mempunyai massa jenis $0,925 \text{ gram/cm}^3$ dengan kemampuan leleh $1,27 \text{ gram}$ tiap 10 menit . *Maleic anhydride* yang digunakan merupakan produksi Merck dengan no. seri S4262308 542 mempunyai berat molekul $98,06 \text{ g/mol}$ dan titik leleh $51-53^\circ\text{C}$. Sedangkan serat nanas yang digunakan mempunyai massa jenis $1,50 \text{ gram/cm}^3$ dan panjang 5 cm telah mengalami proses pengujian berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan karakteristiknya terdapat pada bagian lampiran.

3.2 Proses Fabrikasi Komposit

Pencampuran LLDPE, OCP, dan MA menggunakan Labo Plastomil model 30R150 merupakan tahap awal pembuatan sampel sesuai skema tahapan eksperimen yang terdapat pada Gambar 3.1. Pencampuran dilakukan dengan variasi komposisi OCP-MA sesuai fraksi berat 0, 1, 3, 5, dan 7 % dari berat total yang digunakan. Tabel 3. memperlihatkan komposisi LLDPE-OCP-MA yang digunakan.

Tabel 3. Komposisi bahan LLDPE-OCP-MA

Bahan	OCP0 (0 wt%)	OCP1 (1 wt%)	OCP3 (3 wt%)	OCP5 (5 wt%)	OCP7 (7 wt%)
LLDPE(g)	35	33,60	30,80	28,00	25,20
OCP (g)	-	0,70	2,10	3,50	4,90
MA (g)	-	0,70	2,10	3,50	4,90

Pencampuran diawali dengan pelelehan LLDPE diikuti dengan memasukkan MA dan OCP pada suhu 140 °C dengan kecepatan putar 60 rpm selama 10 menit. Hasil pencampuran lalu ditimbang sebanyak 70 % berat dari daya tampung maksimum cetakan, yaitu sebanyak 70 gram .

Selanjutnya hasil pencampuran dihancurkan menggunakan *crusher* Tatung type KF-808-P dengan kecepatan mesin hingga 1400 rpm. Hasil dari *crusher* berupa *pellet* ditimbang lalu ditambah serat nanas sebanyak 30 % berat dari daya tampung maksimum cetakan dan dipersiapkan untuk *compression molding*.

Sebelum dilakukan proses *compression molding* dengan mesin *hot press* Collin P 300 P, cetakan dibersihkan dan diolesi Max Mold Release Wax Megulars Mirror Glaze. Campuran LLDPE-OCP-MA yang sudah ditimbang lalu disebarakan secara merata dalam cetakan dengan serat nanas diatur agar penyebarannya

merata dan searah. Setelah itu material siap diproses dengan mesin *hot press* pada suhu 175 °C, tekanan 2 bar selama 30 menit.

Cetakan yang digunakan pada pengujian tarik menghasilkan sampel dengan ketebalan 2 mm, sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM D638 tipe 4. Bahan hasil cetakan lalu dicetak menggunakan *puncher* TOYOSEIKI, Mini Test Press 10. Sedangkan cetakan pada uji kelenturan dan HDT menghasilkan sampel dengan ketebalan 4 mm, masing-masing sesuai dengan ASTM D790 dan ISO-75. Bahan hasil cetakan lalu dipotong sesuai dengan standar di atas. Setelah itu, sampel dikondisikan pada suhu 22,7 °C dan kelembaban relatif (RH) 50 % selama minimal 48 jam sebelum dilakukan pengujian.

3.3 Pengujian Material Komposit

3.3.1 Pengujian dengan Difraksi Sinar-X

Untuk melihat pengaruh penambahan konsentrasi *organoclay* terhadap *basal spacing* bidang (001) pada sudut $2\theta < 10^\circ$ digunakan alat difraksi sinar-X berupa Bruker AXS D4 ENDEAVOR dengan perubahan sudut $0,02^\circ$ setiap 0,1 detik dan dioperasikan dengan tegangan 40 kV dan arus 40 mA. Sampel yang diuji berupa *organoclay* dan sampel komposit tanpa kanungan *organoclay* dan komposit dengan kandungan *organoclay* 1 wt%. Sedangkan, PHILIPS APD 3520 digunakan pada sampel komposit dan serat nanas untuk melihat pengaruh penambahan *organoclay*-MA pada kristalinitas komposit pada sudut $2\theta \cong 20^\circ$.

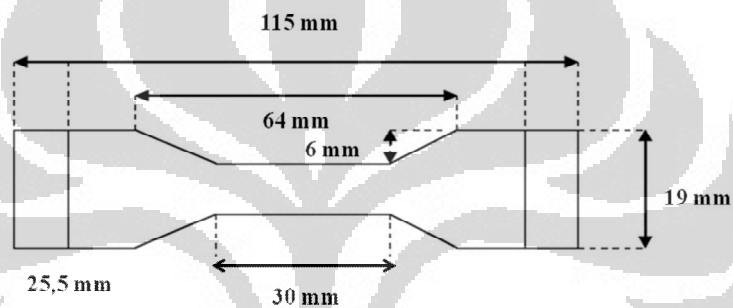
Munculnya puncak-puncak intensitas pada pola difraksi sinar-X mengindikasikan adanya keteraturan lapisan pada *clay*. Hubungan antara jarak kisi struktur material dapat digambarkan dengan menerapkan hukum difraksi Bragg pada persamaan (1)

$$2 d_{hkl} \sin\theta = n \lambda \quad (1)$$

dimana, d_{hkl} = jarak bidang kisi, θ = sudut bragg (sudut antara berkas sinar datang dengan bidang), n = orde refleksi, dan λ = panjang gelombang sumber radiasi (Ernawati, 2007).

3.3.2 Pengujian Tarik

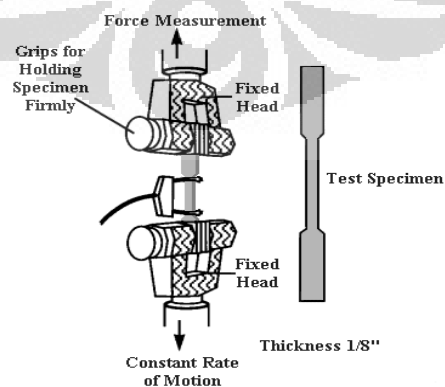
Pengujian tarik menggunakan mesin Shimadzu AGS-10kNG dengan kecepatan *crosshead* 5 mm/min. Dimensi sampel diukur menggunakan jangka sorong sesuai standar ASTM D638 tipe 4 seperti pada Gambar 3.3. Kemudian



Gambar 3.3. Dimensi sampel pengujian tarik berdasarkan ASTM D 638 tipe IV

[Sumber : Spektrima, 2009]

sampel diletakkan vertikal dan kedua ujung sampel ditarik sampai putus seperti pada Gambar 3.4. Penarikan sampel dilakukan searah dengan arah serat.



Gambar 3.4. Pengujian tarik

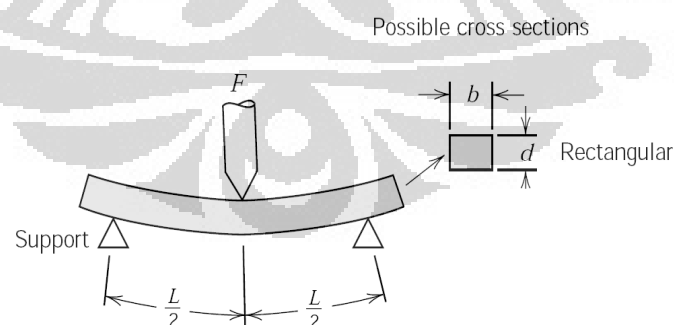
[Sumber : MatWeb: Tensile Property Testing of Plastics]

Data dari uji tarik berupa grafik tegangan (σ) vs. regangan (ϵ) menentukan besarnya kekuatan tarik dan modulus tarik dari sampel. Untuk menghitung modulus tarik (E) sampel digunakan persamaan (2), dimana F = gaya yang diberikan ke sampel, A_0 = luas daerah sampel sebelum diberi beban, ΔL = pertambahan panjang sampel, dan L_0 = panjang awal sampel.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \quad (2)$$

3.3.3 Pengujian Kelenturan Tiga-Titik

Pengujian kelenturan ini berdasarkan ASTM 790 dengan dimensi sampel 80 mm x 12 mm x 4 mm. Alat pengujian lentur yang digunakan adalah Shimadzu AGS-10kNG. Ketika pengujian berlangsung kondisi ruang dan kelembaban relatif saat pengujian berlangsung adalah 23,3 °C dan (RH) 59 %. Beban konstan diberikan pada sampel seperti pada Gambar 3.5. sehingga bagian atas sampel mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, sampel tersebut akan patah. Pengujian kelenturan tiga-titik ini berlangsung sampai sampel patah



Gambar 3.5. Pengujian kelenturan tiga-titik

[Sumber : Callister]

atau mengalami mencapai regangan maksimum sebesar 5 % pada permukaan luar sampel.

Besarnya tegangan lentur pada saat patah merupakan nilai kekuatan lentur (σ) sampel. Besar kekuatan lentur dapat dihitung menggunakan persamaan (3)

$$\sigma = 3FL/2bd^2 \quad (3)$$

dimana, F = berat beban, L = panjang *support span*, b = lebar sampel, dan d = tebal sampel.

Untuk mengetahui besar regangan lentur dan modulus lentur dapat menggunakan persamaan (4) dan (5)

$$\epsilon_f = 6Dd/L^2 \quad (4)$$

$$E_f = L^3m/4bd^2 \quad (5)$$

dimana, D = defleksi maksimum pada tengah sampel dan m = gradient garis lurus dari kurva defleksi beban.

3.3.4 Pengujian *Heat Deflection Temperature*

Pengujian *Heat Deflection Temperature* (HDT) dilakukan untuk mengetahui suhu defleksi akibat pemberian beban dengan menggunakan Lauda FRANK Prüfgeräte GmbH 40071 seperti terlihat pada Gambar 3.6. Sampel yang digunakan memiliki panjang 80 mm, lebar 10 mm, dan tebal 4 mm diletakkan pada penyangga dengan posisi *flatwise* lalu diberi tekanan permukaan dari beban sebesar 1,8 Mpa. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *silicon bath* dengan kecepatan pemanasan 120 °/jam. Diamati perubahan suhu tiap 6 menit, untuk mendapatkan suhu saat sampel mengalami defleksi 0,32 mm.



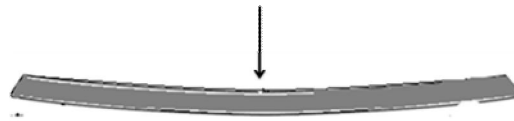
Gambar 3.6. Alat uji HDT Lauda FRANK Prüfgeräte GmbH 40071

3.3.5 Pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*

Pengujian menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dilakukan pada sampel terbaik pada kekuatan tarik dan kekuatan lentur. Untuk melakukan pengujian SEM sampel dipotong sesuai ukuran *sample holder* lalu dilapisi dengan emas menggunakan Balzers SCD 004 Sputter Coater dengan ketebalan $\pm 200 \text{ \AA}$. Morfologi sampel pengujian tarik yang diamati menggunakan SEM OXFORD model 6599 pada bagian ujung dan samping patahannya seperti pada Gambar 3.7a. dan 3.7b. Sedangkan pada sampel uji kelenturan ingin diamati lekukan yang terjadi akibat beban seperti pada Gambar 3.8.

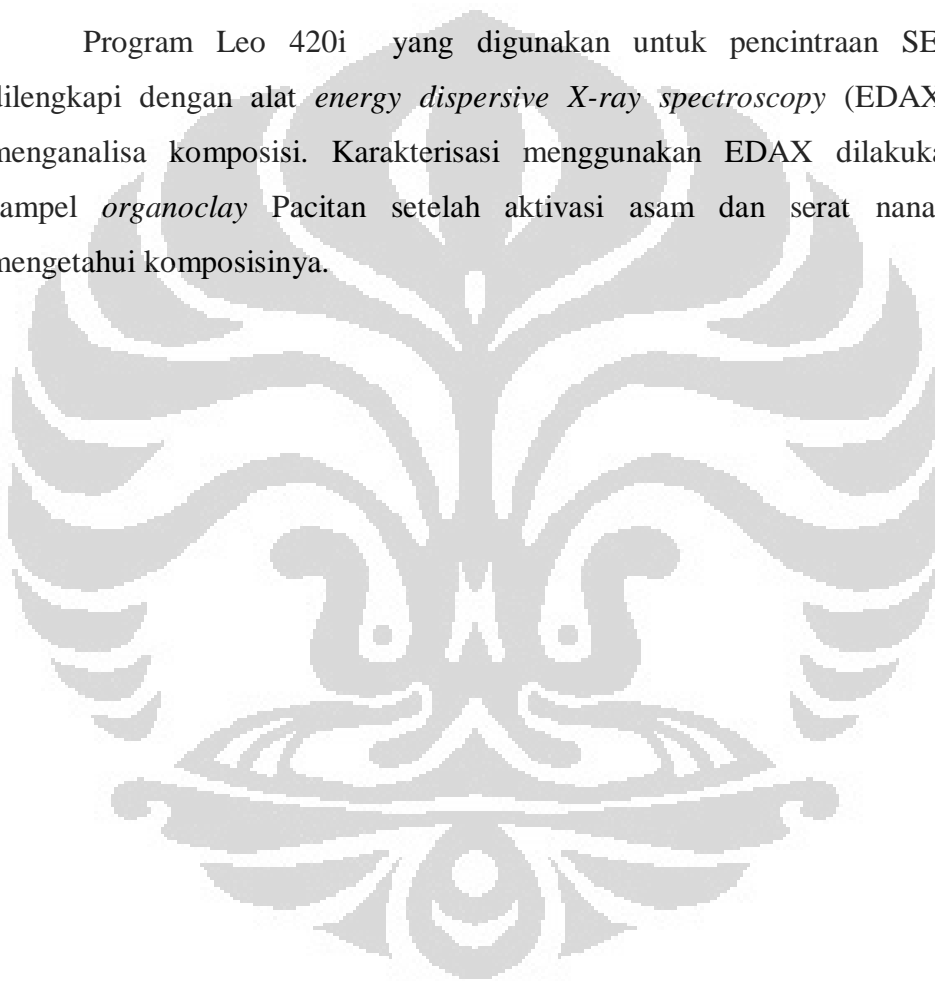


Gambar 3.7. Sampel hasil pengujian tarik untuk pengujian SEM pada bagian: (a) ujung dan (b) samping



Gambar 3.8. Sampel hasil pengujian lentur untuk pengujian SEM

Program Leo 420i yang digunakan untuk pencitraan SEM juga dilengkapi dengan alat *energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDAX) untuk menganalisa komposisi. Karakterisasi menggunakan EDAX dilakukan pada sampel *organoclay* Pacitan setelah aktivasi asam dan serat nanas untuk mengetahui komposisinya.



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian *Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy*

Hasil pengujian *energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDAX) dari *organoclay* Pacitan pada Tabel 4.1. menunjukkan kandungan terbanyak dari *organoclay* adalah oksigen dengan 58,16 %. Selain itu, terdapat unsur lain, seperti silikon, aluminium, karbon, besi, dan kalsium. Kandungan kalsium berdasarkan hasil EDAX tersebut menunjukkan bahwa *organoclay* Pacitan yang digunakan termasuk jenis *Ca-bentonite*.

Tabel 4.1. Hasil EDAX untuk komposisi *organoclay* Pacitan

Komposisi Unsur	Jumlah (%)
Oksigen (O)	58,16
Silikon (Si)	24,52
Aluminium (Al)	9,82
Karbon (C)	4,71
Besi (Fe)	1,64
Kalsium (Ca)	1,15

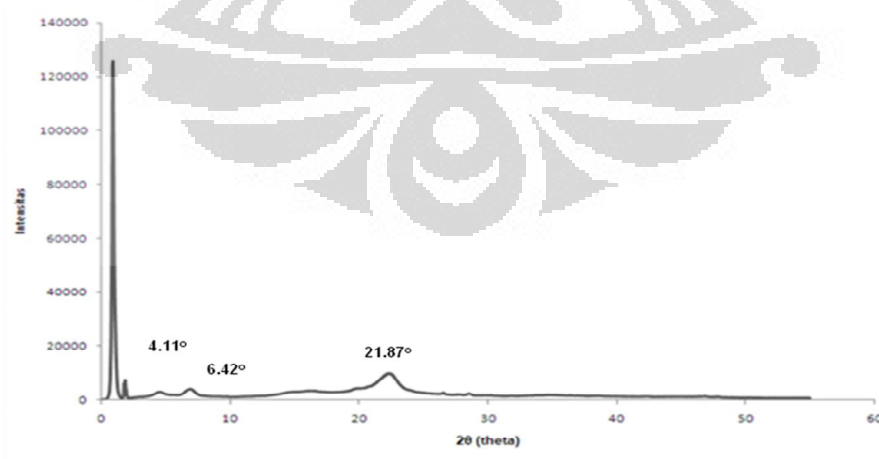
Sedangkan, hasil EDAX untuk komposisi serat nanas terdapat pada Tabel 4.2. didominasi oleh oksigen dan karbon sebanyak 61,68 % dan 37 % yang merupakan kontribusi dari selulosa.

Tabel 4.2. Hasil EDAX untuk komposisi serat nanas

Komposisi Unsur	Jumlah (%)
Oksigen (O)	61,68
Karbon (C)	37,00
Kalium (K)	0,90
Aluminium (Al)	0,42

4.2 Hasil Pengujian Difraksi Sinar-X

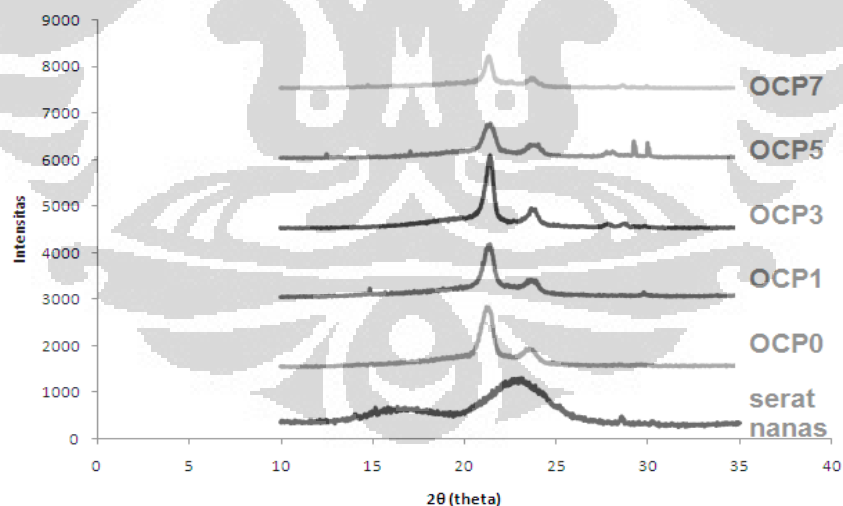
Gambar 4.1. merupakan hasil difraksi sinar-X pada *organoclay* Pacitan (OCP) yang mengalami aktivasi asam dan penambahan surfaktan CTMABr. Kehadiran puncak pada $21,87^\circ$ menunjukkan tipikal puncak *montmorillonite* seperti terlihat pada Gambar 2.4. Sedangkan puncak pada sudut $4,11^\circ$ merupakan bidang (001) *clay*. Lebar *basal spacing* bidang (001) didapatkan sebesar 2,15 nm,



Gambar 4.1. Hasil difraksi sinar-X *clay* Pacitan yang mengalami aktivasi asam dan penambahan surfaktan CTMABr

meningkat sebesar 0,65 nm dari *clay* alam Pacitan dan 0,19 nm dari *clay* Pacitan yang hanya dimodifikasi menggunakan surfaktan CTMABr. Pada difraktogram juga terlihat puncak pada $2\theta = 6,42^\circ$ yang mungkin muncul akibat adanya kandungan mineral lain dalam *clay* yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut tentang kemunculan puncak tersebut.

Hasil difraksi sampel komposit dengan variasi *organoclay* terdapat pada Gambar 4.2. Terlihat pola yang sama pada dua buah puncak pada sudut sekitar 21° dan 23° yang merupakan tipikal puncak dari matriks LLDPE seperti pada Gambar 2.13. Namun, intensitas puncak pada kurva difraksi sinar-X tersebut cenderung menurun seiring dengan penambahan kandungan *organoclay* dan MA. Pada sampel komposit dengan kandungan *organoclay* 5 wt% (OCP5) muncul puncak yang tidak mengikuti pola dari kurva difraksi sinar-X pada komposisi lainnya. Hal tersebut mungkin dikarenakan voltase pada alat difraksi yang kurang stabil saat melakukan karakterisasi.



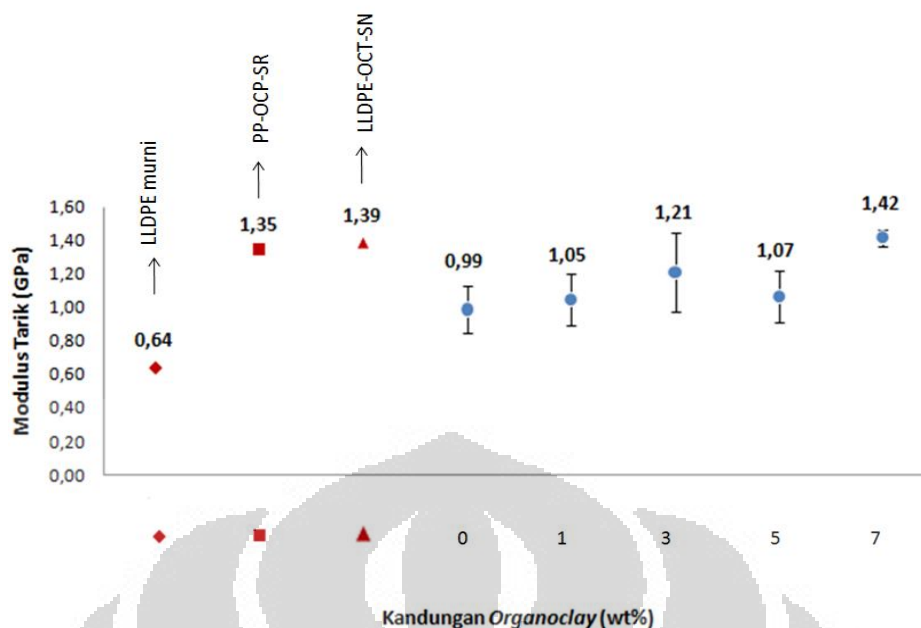
Gambar 4.2. Hasil difraksi sinar-X serat nanas dan komposit LLDPE-serat nanas-*organoclay* Pacitan dengan variasi *organoclay* Pacitan

Hasil difraksi sinar-X pada serat nanas terdapat dua buah puncak pada sekitar 16° dan 22° yang merupakan tipikal puncak selulosa dengan bidang (101) dan (002) (Yong Lei *et al.*, 2007). Namun, setelah pencampuran serat dalam komposit pada difraktogram tidak memperlihatkan tipikal puncak serat nanas yang digunakan. Hal tersebut mungkin dikarenakan jumlah serat yang digunakan sedikit dibandingkan jumlah matriks polimer yang digunakan.

Penurunan intensitas puncak kurva difraksi sinar-X juga didapatkan Yong Lei *et al.* pada komposit HDPE-serat kayu-*clay*-MAPE pada sudut $2\theta = 20^\circ - 25^\circ$ yang merupakan bidang (110) dan (200) dari polimer dan ketidakhadiran puncak bidang (001) menunjukkan struktur eksfoliasi *clay* telah terbentuk dan tingkat kristalinitas dari sampel menurun. Molekul MAPE yang masuk ke *gallery clay* penetrasi *gallery clay* melalui *driving force* ikatan hidrogen antara grup MAPE dan grup oksigen dari silikat. Kemudian, jarak *gallery clay* akan meningkat sampai puncak bidang (001) hilang dan menurunnya intensitas puncak selulosa dari matriks polimer karena interaksi antar permukaan melemah sehingga saat polimer masuk ke dalam *gallery clay* terbentuk struktur eksfoliasi.

4.3 Hasil Pengujian Tarik

Gambar 4.3. menunjukkan nilai modulus tarik pada LLDPE murni, komposit *polypropylene-organoclay* Pacitan-serat rami (LLDPE-OCP-SR) (Roseno, 2008), komposit LLDPE-*organoclay* Tapanuli-serat nanas (LLDPE-OCT-SN) (Adawiyah, 2010), dan komposit LLDPE-serat nanas-*organoclay* Pacitan (LLDPE-SN-OCP) hasil penelitian ini. Pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan didapatkan modulus tarik sebesar 0,99 GPa dan nilainya meningkat sekitar 18 % pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 3 wt%. Namun, pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 5 wt% terjadi penurunan nilai modulus tarik sekitar 13 % dibandingkan modulus tarik yang dimiliki komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 3 wt%. Nilai modulus tarik tertinggi terdapat pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 7



Gambar 4.3. Modulus tarik dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP

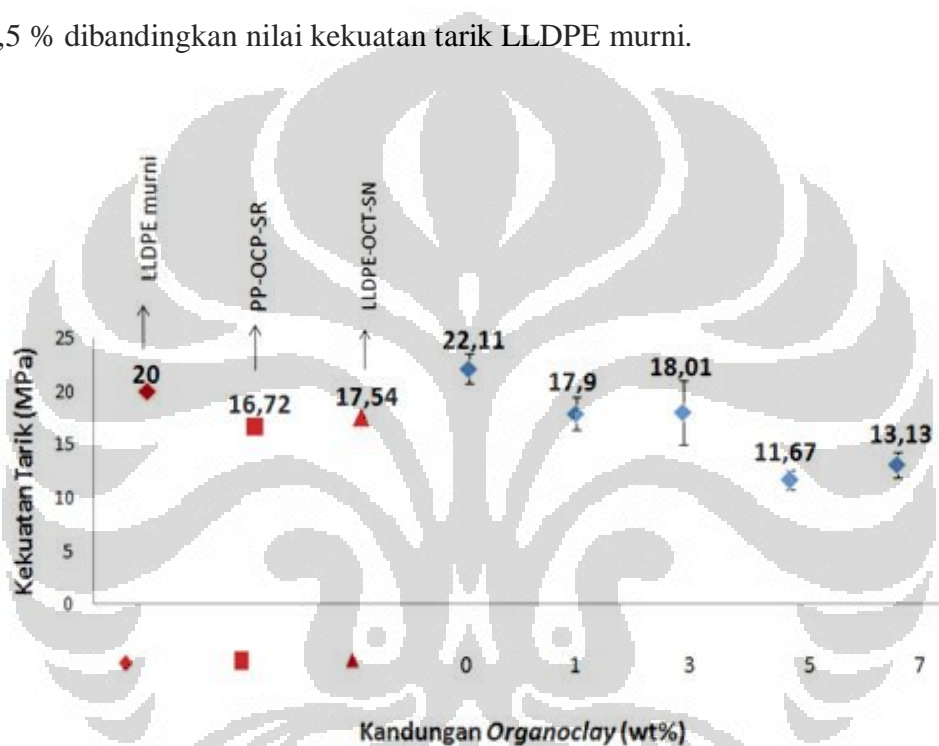
[Sumber: (◆): Durmus, *et al.*, 2008; (■) Roseno, 2008; (▲): Adawiyah, 2010]

wt% dengan 1,42 GPa. Nilai modulus tarik tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan modulus pada LLDPE murni. Nilai modulus tarik tersebut juga lebih tinggi jika dibandingkan modulus tarik tertinggi pada komposit LLDPE-OCT-SN dengan kandungan *organoclay* Tapanuli 3 wt% dan PP-OCP-SR dengan kandungan *organoclay* Pacitan 5 wt%.

Kecenderungan peningkatan modulus tarik saat jumlah *nanoclay* bertambah juga sesuai dengan yang didapatkan Yong lei *et al.* Meningkatnya modulus tarik tersebut dikarenakan penambahan *compatibilizer* yang meningkatkan *interfacial area* sehingga nilai modulus tarik tetap meningkat jika kandungan *nanoclay* terus ditambahkan. Peningkatan modulus dapat dihubungkan dengan terjadinya eksfoliasi dan dispersi partikel *nanoclay* yang baik sehingga mobilitas rantai polimer pada kandungan *nanoclay* tertentu menurun. Selain itu, penggunaan MA dalam penelitian ini juga dinilai mempengaruhi peningkatan

modulus tarik komposit. Hal tersebut karena penambahan MA membuat transfer tegangan dari matriks ke *filler* lebih efektif.

Untuk perbandingan kekuatan tarik dari komposit LLDPE-SN –OCP terhadap kekuatan tarik dari LLDPE murni, serat nanas, komposit PP-OCP-SR, dan komposit LLDPE-OCT-SN tertuang pada Gambar 4.4. Pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan didapatkan kekuatan tarik sebesar 22,11 MPa. Hal tersebut menunjukkan penambahan serat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 9,5 % dibandingkan nilai kekuatan tarik LLDPE murni.



Gambar 4.4. Kekuatan tarik dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP

[Sumber: (♦): Wikipedia; (■) Roseno, 2008; (▲): Adawiyah, 2010]

Pada pengujian tarik, tegangan dari matriks akan dialirkan ke serat. Sementara tegangan terus diberikan, maka matriks akan memasuki daerah plastis deformasi dan serat akan terus bertambah panjang karena masih berada dalam kawasan elastis deformasi. Saat pemberian tegangan dilanjutkan, maka sampel

komposit akan mengalami mulai *failure* saat serat patah (Callister). Sedangkan peningkatan kekuatan tarik oleh serat menurut Schwartz dikarenakan serat mampu mengalirkan tegangan dari matriks ke serat, sehingga seluruh tegangan akan ditanggung oleh serat.

Gambar 4.5. memperlihatkan sampel hasil pengujian tarik dengan kandungan *organoclay* Pacitan 3 wt%. Terlihat sampel memiliki adhesi kurang baik antara serat dan matriks yang ditandai dengan tidak terlapisnya permukaan serat oleh matriks secara menyeluruh. Adhesi yang buruk tersebut mungkin dikarenakan serat nanas yang digunakan belum mengalami perlakuan awal.



Gambar 4.5. Hasil pengujian tarik sampel komposit LLDPE-SN-OCP dengan kandungan *organoclay* 3 wt %

Pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan sebanyak 1 wt% nilai kekuatan tariknya menurun 23,5 % dibandingkan kekuatan tarik pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan dan nilainya lebih kecil 11,7 % dibandingkan kekuatan tarik pada LLDPE murni. Meskipun penambahan *organoclay* menyebabkan penurunan kekuatan tarik, tetapi besar kekuatan tarik pada komposit LLDPE-SN-OCP ini lebih tinggi bila dibandingkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada komposit LLDPE-OCT-SN dengan kandungan *organoclay* Tapanuli 1 wt% dan kekuatan tarik pada komposit PP-OCP-SR dengan kandungan *organoclay* Pacitan 5 wt% seperti tampak pada Gambar 4.4.

Sedangkan, pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 3 wt% terjadi peningkatan kekuatan tarik 0,6 % dibandingkan kekuatan tarik komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 1 wt%, meskipun nilainya lebih kecil dibandingkan kekuatan tarik pada komposit tanpa penambahan *organoclay* Pacitan.

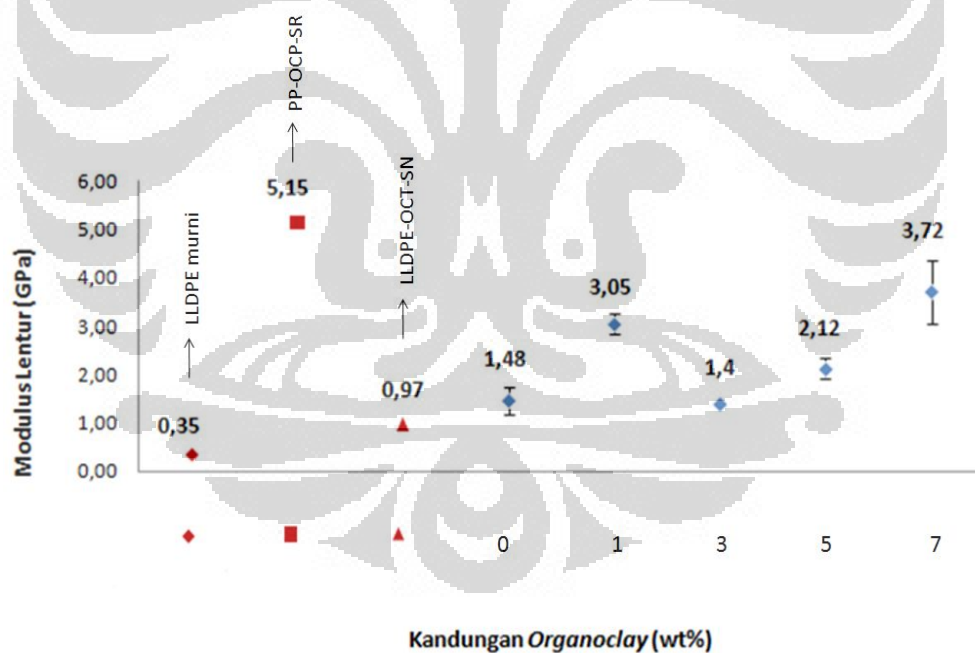
Kekuatan tarik yang cenderung menurun juga didapatkan oleh Yong Lei *et. al.* Pada komposit dengan kandungan *nanoclay* 1 wt% didapatkan peningkatan sekitar 19,5 % dibandingkan komposit tanpa *nanoclay*. Namun, penambahan jumlah *nanoclay* sebanyak 2 wt% menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik sebesar 2,3 %. Penurunan kekuatan tarik terjadi seiring dengan penambahan kandungan *nanoclay* dikarenakan terus bertambahnya kandungan *nanoclay* mengakibatkan distribusi *nanoclay* tidak merata. Jumlah *nanoclay* yang bertambah menyebabkan agglomerasi dari partikel-partikel *nanoclay* sehingga sifat matriks menjadi lebih *brittle*. Adanya aglomerat akan memperkecil luas permukaan dan seterusnya akan melemahkan interaksi diantara pengisi dan matriks dan mengakibatkan penurunan sifat fisik bahan polimer.

Menurut Sudirman *et al.* gaya tarik yang diberikan akan menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan. Matriks mengalami regangan dan sampel bertambah panjang sehingga distribusi *filler* semakin jarang. Penambahan jumlah *filler* yang besar, menyebabkan sumber patahan semakin banyak, sehingga penambahan regangan yang kecil sudah mengakibatkan terjadinya patahan.

Menurut S. Y. Lee terjadinya penurunan kekuatan tarik pada komposit polimer dengan serat pada penambahan kandungan *clay* yang cukup tinggi mengakibatkan viskositas meningkat yang mengakibatkan interkalasi lapisan *clay* sulit terjadi. Menurut Satapathy *et al.* penurunan kekuatan tarik dikarenakan reaksi antara *filler* dengan matriks terlalu lemah untuk menanggung tegangan yang diberikan. Selain itu, penyebaran *clay* dalam matriks yang tidak homogen menyebabkan tegangan yang diberikan menjadi terkonsentrasi pada titik tertentu.

4.4 Hasil Pengujian Kelenturan Tiga-Titik

Pada Gambar 4.6. terlihat nilai modulus lentur pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan menunjukkan peningkatan menjadi 1,48 GPa, lebih besar bila dibandingkan dengan modulus lentur LLDPE murni dari literatur sebesar 0,35 GPa (Wikipedia). Peningkatan nilai modulus lentur tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serat meningkatkan kekakuan dari material. Selanjutnya, penambahan *organoclay* Pacitan 1 wt% juga menunjukkan peningkatan nilai modulus lentur hingga dua kali lipat menjadi 3,05 GPa. Namun, komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 3 wt% besarnya modulus lentur menurun menjadi 1,4 GPa, dibandingkan modulus lentur komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 1 wt% dan nilainya pun lebih kecil dibandingkan modulus lentur komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan.

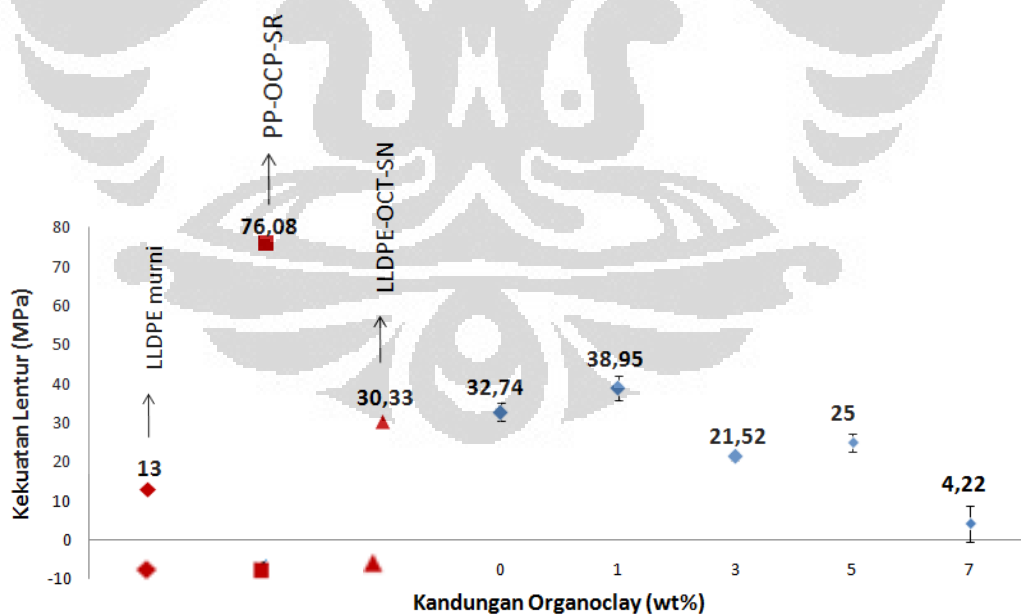


Gambar 4.6. Modulus lentur dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP

[Sumber: (♦): Wikipedia; (■) Roseno, 2008; (▲): Adawiyah, 2010]

Nilai modulus lentur tertinggi didapati pada komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 7 wt% dan nilai modulus lentur tersebut lebih besar tiga kali lipat bila dibandingkan nilai modulus lentur pada komposit LLDPE-OCT-SN dengan kandungan *organoclay* Tapanuli 3 wt%, tetapi nilai modulus lentur tersebut lebih rendah 38% bila dibandingkan modulus lentur pada komposit PP-OCP-SR dengan kandungan *oganoclay* Pacitan 1 wt%. Meningkatnya modulus lentur tersebut sesuai dengan Rozman *et al.*, yang menyatakan bahwa penambahan *filler* pada komposit dapat menyebabkan kekakuan sehingga dapat meningkatkan modulus lentur yang dihasilkan.

Gambar 4.7. menunjukkan nilai kekuatan lentur pada LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP. Penambahan serat pada komposit menyebabkan kenaikan kekuatan lentur sebesar 19,74 MPa dibandingkan nilai kekuatan lentur LLDPE murni. Penambahan *organoclay* Pacitan 1 wt% menyebabkan kenaikan kekuatan lentur dari sampel sekitar 16 % yang merupakan nilai tertinggi dari sampel uji. Selanjutnya, pada Gambar 4.7. terlihat kekuatan lentur tertinggi pada komposit



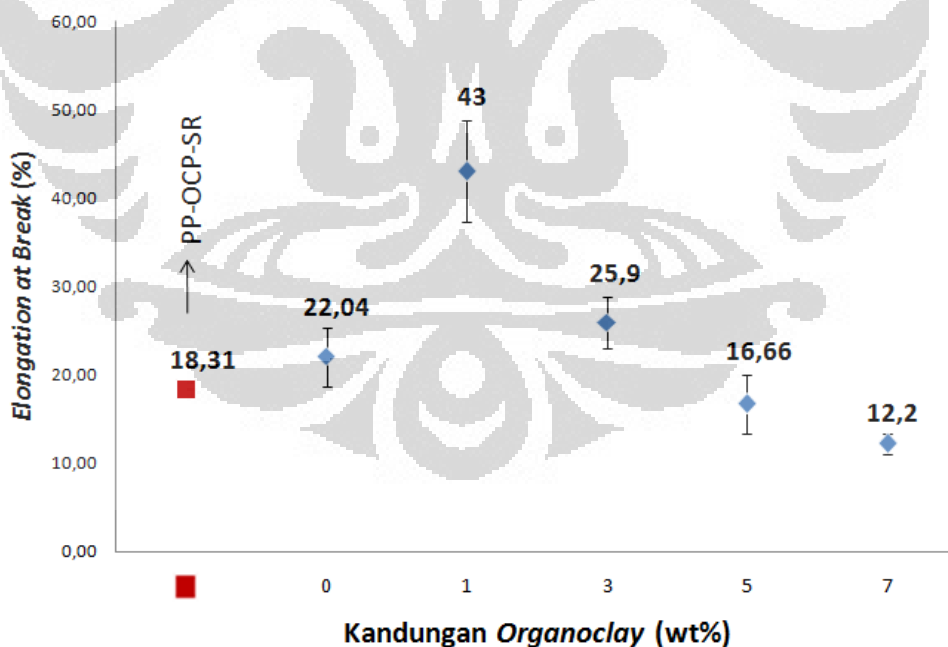
Gambar 4.7. Kekuatan lentur dari LLDPE murni, komposit PP-OCP-SR, komposit LLDPE-OCT-SN, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP

[Sumber: (♦): SABIC; (■): Roseno, 2008 (▲): Adawiyah, 2010]

yang menggunakan *organoclay* Pacitan mempunyai kekuatan lentur lebih tinggi 22,13 % bila dibandingkan kekuatan lentur tertinggi komposit yang menggunakan *organoclay* Tapanuli, tetapi nilai kuat lentur tersebut lebih rendah dua kali lipat bila dibandingkan kuat tarik yang dimiliki komposit PP-OCP-SR tanpa kandungan *organoclay* Pacitan .

Penurunan kekuatan lentur tersebut juga didapatkan Yong Lei *et al.* dengan kekuatan lentur tertinggi pada komposit dengan kandungan *nanoclay* 1 wt%. Sifat sampel yang semakin *brittle* dengan penambahan *nanoclay* mengakibatkan nilai kekuatan lentur menurun. Menurut Satapathy, *et al.*, kekuatan lentur yang semakin menurun juga disebabkan oleh interaksi permukaan *filler* dan matriks kurang baik untuk menanggung tegangan yang diberikan. Oleh karena itu, konsentrasi tegangan hanya terdapat pada titik tertentu.

Gambar 4.8. memperlihatkan nilai *elongation at break* yang mengalami peningkatan hingga dua kali lipat saat kandungan *organoclay* Pacitan 1 wt%



Gambar 4.8. *Elongation at break* dari komposit PP-OCP-SR, dan komposit LLDPE-SN-OCP dengan variasi OCP

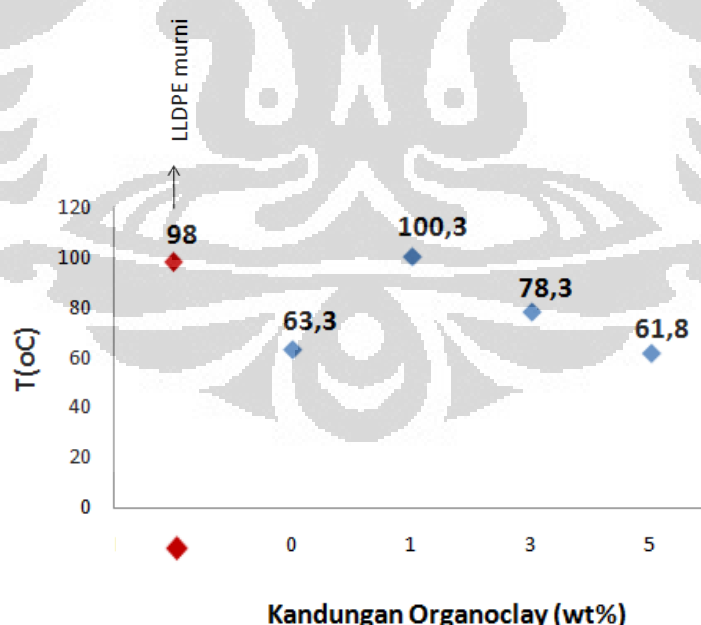
[Sumber: (■): Roseno, 2008]

menjadi 42,99 %. Namun, penambahan kandungan *organoclay* menyebabkan terjadinya penurunan nilai *elongation at break*. Nilai *elongation at break* komposit ini lebih rendah dibandingkan dengan kemampuan LLDPE murni untuk bertambah panjang hingga 500 % berdasarkan literatur (John Z. L., *et al.*, 2005).

Terjadinya penurunan nilai *elongation at break*, menurut Fornes *et al.* (2001) disebabkan adanya tumpukan lapisan silikat yang mengakibatkan sampel menjadi lebih *brittle*. Sedangkan menurut Seyed *et al.* penambahan kandungan *clay* menyebabkan kekakuan sampel meningkat sehingga menurunkan nilai *elongation at break*.

4.5 Hasil Pengujian *Heat Deflection Temperature*

Sampel yang mengalami pengujian *Heat Deflection Temperature* (HDT) terdiri dari komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 0 wt%, 1 wt%, 3 wt%, 5 wt%, dan nilai HDT pada LLDPE murni berdasarkan literatur (Sangmin Kwon, *et al.*, 2002). Pada Gambar 4.9. menunjukkan suhu defleksi 63,3 °C



Gambar 4.9. Hasil HDT dari LLDPE murni dan komposit LLDPE-serat nanas-*organoclay* Pacitan dengan variasi *organoclay* Pacitan

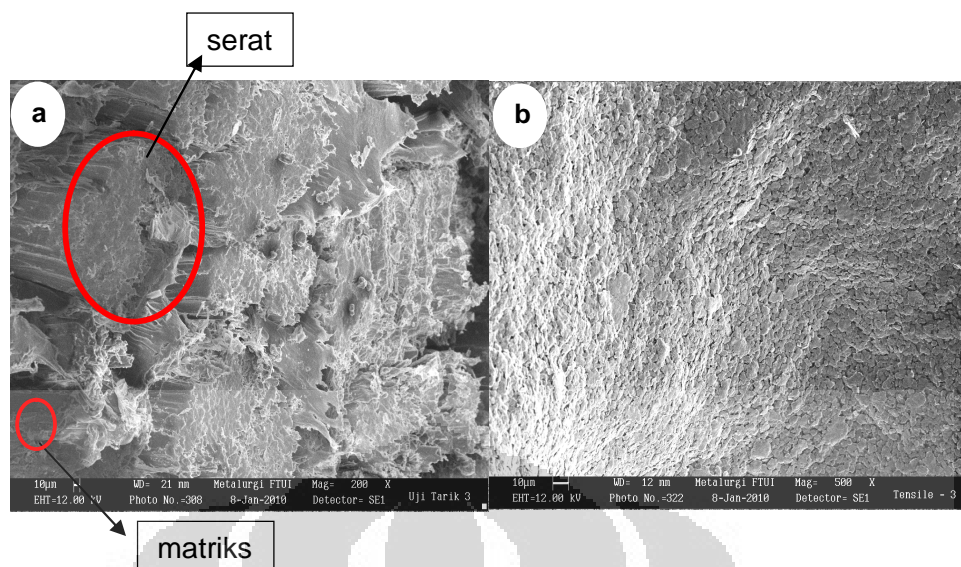
[Sumber: (♦) : Sangmin Kwon, *et al.*, 2002]

terdapat pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan. Hal tersebut menunjukkan penurunan suhu defleksi pada sampel dibandingkan suhu defleksi yang dimiliki LLDPE murni. Kemudian, penambahan *organoclay* Pacitan sebanyak 1 wt% menunjukkan peningkatan suhu defleksi sampel menjadi 100,3 °C. Namun, terjadi penurunan suhu defleksi saat kandungan *organoclay* Pacitan dinaikkan pada 3 wt% dan 5 wt% menjadi 78,3 °C dan 61,8 °C. Hal tersebut tidak sesuai dengan yang didapatkan oleh Sinha Ray *et al.* pada literatur yang menunjukkan peningkatan jumlah *clay* pada matriks *polyactide* dapat meningkatkan suhu defleksi.

Menurut Weiss peningkatan suhu defleksi berhubungan dengan meningkatnya nilai modulus yang menunjukkan kestabilan mekanik. Modulus komposit LLDPE-SN-OCP yang cenderung meningkat menunjukkan penurunan suhu defleksi bukan dikarenakan stabilitas mekanik yang kurang baik. Namun, penurunan suhu defleksi kemungkinan dikarenakan adanya tumpukan *organoclay* di dalam matriks. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut menggunakan TEM.

4.6 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy*

Pengujian *scanning electron microscopy* (SEM) dilakukan pada komposit dengan nilai kekuatan tarik dan kekuatan lentur tertinggi. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada komposit tanpa kandungan *organoclay* Pacitan dan kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposit dengan penambahan *organoclay* Pacitan 1 wt%. Gambar 4.10a. merupakan hasil citra SEM untuk morfologi sampel hasil pengujian tarik pada bagian ujung. Gambar tersebut menunjukkan struktur serat nanas yang berpori. Sedangkan, Gambar 4.10b. adalah citra SEM untuk morfologi sampel hasil pengujian tarik pada bagian samping. Berdasarkan citra SEM tersebut tampak penyebaran serat yang dilakukan cukup baik. Hal tersebut ditandai dengan tidak adanya *void* dari permukaan sampel.

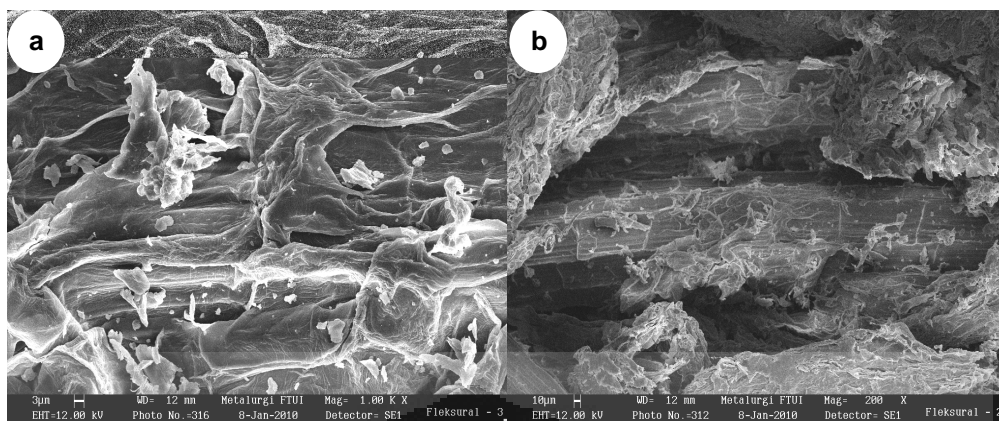


Gambar 4.10. Hasil SEM sampel hasil pengujian tarik komposit LLDPE-OCP-SN tanpa kandungan *organoclay* Pacitan pada bagian: (a) ujung, dan (b) samping

Menurut Schwartz, adanya *void* pada komposit turut mempengaruhi ikatan antara serat dan matriks. *Void* tersebut terjadi karena adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna. Apabila komposit dengan *void* tersebut menerima tegangan, maka tegangan akan berpindah ke daerah *void* sehingga mengurangi kekuatan komposit. Pada pengujian tarik hal tersebut akan berakibat lolosnya serat dari matriks karena kekuatan atau ikatan *interfacial* antara matriks dan serat yang kurang besar.

Gambar 4.11a. merupakan morfologi pada bagian lekukan hasil uji kelenturan. Tampak struktur melentur pada bagian tengahnya akibat tekanan yang diberikan. Namun, serat nanas yang digunakan belum mengalami putus. Hal tersebut penambahan serat nanas dapat meningkatkan kekuatan dari sampel.

Mekanisme terjadinya patahan pada pengujian lentur menurut Fandhy Rusmiyatno, diawali dari retaknya bagian bawah sampel yang belum merata pemampatannya antara serat dan matriks. Bagian bawah sampel yang mempunyai kekuatan tarik maksimum akan mengalami retak paling awal karena ketidakmampuan menahan tegangan tarik. Kekuatan menahan tegangan



Gambar 4.11. Hasil SEM sampel hasil pengujian lentur komposit LLDPE-OCP-SN dengan kandungan *organoclay* Pacitan 1 wt% pada bagian: (a) lekukan dan (b) samping

maksimum terdapat pada bagian dalam komposit dimana banyak terjadi pencampuran antara serat dan matriks secara merata. Setelah bagian dalam sampel tidak mampu menahan tekanan maka akan terjadi retakan pada bagian bawah sampel lalu terjadi patahan. Pada sampel hasil pengujian lentur belum mengalami patah seperti terlihat pada Gambar 4.11a. Hal tersebut mungkin dikarenakan penambahan MA dalam campuran antara matriks dan serat meningkatkan interaksi *interfacial*. Oleh karena itu, bagian bawah sampel dapat menanggung tekanan dan hanya terbentuk struktur melentur.

Pada Gambar 4.11b terlihat morfologi komposit dengan kandungan *organoclay* Pacitan 1 wt% mempunyai struktur yang lebih halus dibandingkan morfologi komposit tanpa *organoclay* Pacitan pada Gambar 4.10a. Hal tersebut menunjukkan adhesi antarmuka yang meningkat mungkin dikarenakan penambahan MA (Jacob John & Anandjiwala). Menurut Matthew salah satu penyebab perbedaan adhesi antarmuka dikarenakan perbedaan campuran unsur matriks dan serat sehingga tidak jarang serat akan putus sebelum terlepas dari matriksnya. Oleh karena itu, kemampuan transfer tegangan dari matriks ke fasa penguat tergantung pada daya ikat yang muncul pada antar muka komposit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

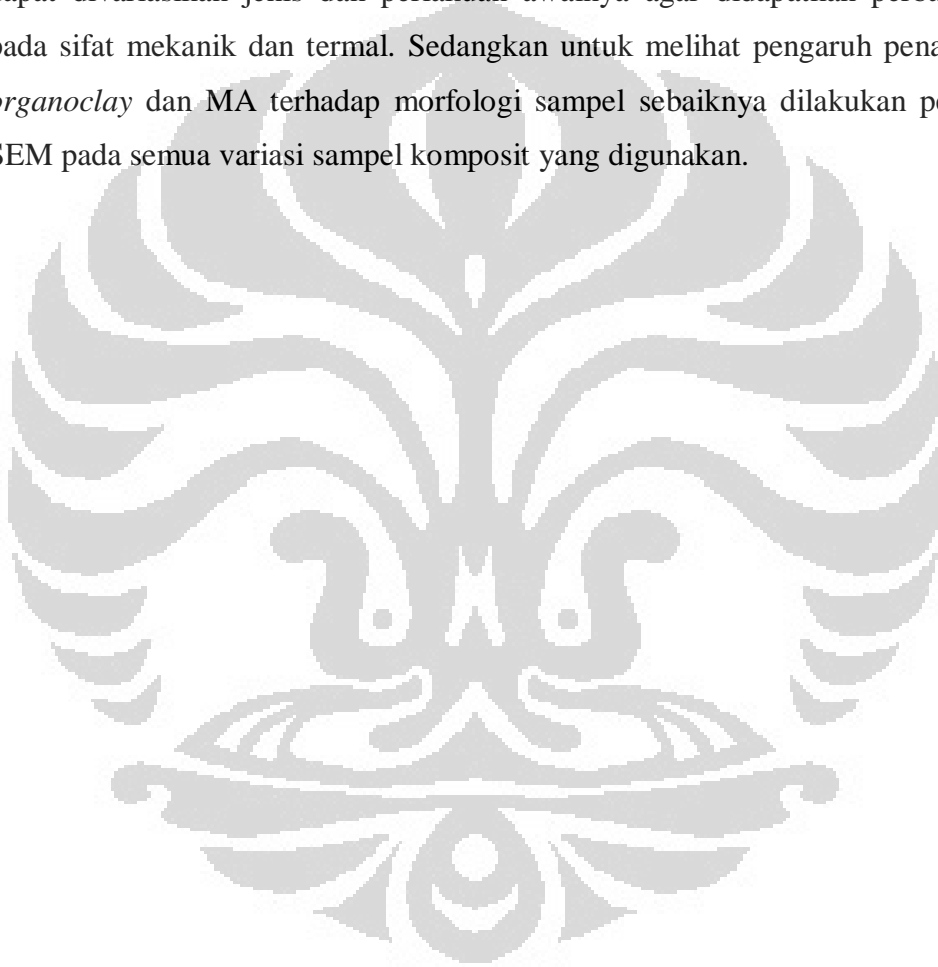
Sampel komposit LLDPE-serat nanas- *organoclay* Pacitan dengan variasi *organoclay* Pacitan telah berhasil disintesa dengan metoda *hand lay-up* dan *compression molding*. Data hasil difraksi sinar-X menunjukkan *organoclay* Pacitan yang mengalami aktivasi asam memiliki *basal spacing* 2,15 nm. Lebar *basal spacing* tersebut meningkat 0,19 nm dibandingkan *organoclay* Pacitan tanpa aktivasi asam. Selain itu, terlihat puncak LLDPE pada 2θ sekitar 21° dan 23° menunjukkan penurunan intensitas pada difraktogram komposit LLDPE-serat nanas- *organoclay* Pacitan.

Penambahan *organoclay* Pacitan meningkatkan modulus tarik dan modulus lentur, tetapi kekuatan tarik dan kekuatan lentur mengalami penurunan. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada komposit dengan tanpa kandungan *organoclay*. Sedangkan, nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposit dengan kandungan *organoclay* 1 wt%. Selain itu, *elongation at break* cenderung menurun seiring dengan penambahan jumlah *organoclay*.

Berdasarkan pengujian HDT didapatkan kecenderungan penurunan suhu defleksi seiring dengan penambahan jumlah *organoclay*. Morfologi patahan dan lekukan dari sampel dengan kekuatan tarik dan kekuatan lentur terbaik hasil pengujian SEM menunjukkan penyebaran serat nanas yang dilakukan cukup baik. Selain itu, penambahan MA sebagai *compatibilizer* meningkatkan interaksi LLDPE, *organoclay* Pacitan, dan serat nanas yang ditunjukkan dari morfologi sampel yang lebih halus.

5.2 Saran

Perlu dilakukan karakterisasi untuk bahan LLDPE, LLDPE-*organoclay*, dan LLDPE-serat nanas, sehingga mekanisme penguatan dapat dipelajari dengan lebih mendalam. Selain itu, pada penelitian selanjutnya serat alam yang digunakan dapat divariasikan jenis dan perlakuan awalnya agar didapatkan perbandingan pada sifat mekanik dan termal. Sedangkan untuk melihat pengaruh penambahan *organoclay* dan MA terhadap morfologi sampel sebaiknya dilakukan pengujian SEM pada semua variasi sampel komposit yang digunakan.



DAFTAR ACUAN

About.com: Composites / plastics.

http://composite.about.com/od/glossaries/l/bldef_c1324.html, diunduh pada tanggal 4 Januari 2010, pukul 14:41.

Adawiyah, Robiatul. (2010). *Penambahan organoclay tapanuli pada komposit linear low density polyethylene-serat nanas*. Skripsi Sarjana Fisika. Universitas Indonesia.

Alexandre, M., & Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposites: Preparation, properties and uses of a new class of materials. *Mater. Sci. Eng. Rep.*, 28: 1– 63.

Ammann, Lars. (2003). *Cation exchange and adsorption on clays and clay minerals*. Disertasi FMIPA Christian-Albrecht-Universität Kiel.

Asbani, Nur. *Prospek serat daun nanas sebagai bahan baku tekstil*.

Bhadrakumari, S., & Predeep, P. (2006). High-Tc superconductor/linear low density polyethylene (LLDPE) composite materials for diamagnetic applications. *Supercond.Sci.Technol*, 19, pp. 808–812.

Blatt H, Middleton G, & Murray R. (1972). *Origin of sedimentary rocks*. Prentice-Hall, Chapter 7, pp 241-251.

Bledzki, A. K., Reihmane, S., & Gassan, J., (1996). Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 59, pp. 1329-1336.

Blumstein, A. (1961). *Bull. Chim. Soc.*, pp. 899.

Budinski, Kenneth G., & Budinski, Michael K. (1999). *Engineering materials properties and selection*. Prentice Hall, pp. 126-130.

Callister, William D. *Materials science and engineering 7th edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Chen K H, & Yang S M. (2002). Synthesis of epoxy-montmorillonite nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*, 86, pp. 414-421.

Chitraningrum, Nidya. (2008). *Sifat mekanik dan termal pada bahan nanokomposit epoxy – clay tapanul*. Skripsi Sarjana Fisika. Universitas Indonesia.

Cross, John., & Singer, Edward J. (1994). *Cationic surfactants analytical and biological evolution*. Marcel Dekker.

Devi, Uma, Bhagawan, S.S., & Thomas, S. (1997). Mechanical properties of pineapple leaf fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 64, pp. 1739-1748

Durmus, Ali., Kasgoz, Ahmet., & W Macosko, Christopher. (2007). Linear low density polyethylene (LLDPE)/clay nanocomposites. Part I: Structural characterization and quantifying clay dispersion by melt rheology. *Polymer*, 48, pp. 4492-4502.

Durmus, Ali., Kasgoz, Ahmet., & W. Macosko, Christopher. (2008). Mechanical properties of linear low-density polyethylene (LLDPE)/clay nanocomposites: estimation of aspect ratio and interfacial strength by composite models. *Journal of Macromolecular Science[®], Part B: Physics*, 47, pp. 608–619.

Emerald: Research you can use.

<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1537946&show=html>,

diunduh pada tanggal 18 Agustus 2010, pukul 18.11.

Ernawati. (2007). *Fabrikasi dan karakterisasi nanokomposit polipropilen-lempung pacitan*. Skripsi Sarjana Fisika. Universitas Indonesia.

- Falaras, Polycarpou., et al. (2000). Bleaching properties of alumina-pillared acid-activated montmorillonite. *Clays and Clay Minerals*, 48 (5), pp. 549-556.
- Folkes, M. J. (1982). *Short fibre reinforced thermoplastics*. Great Britain: John Wiley & Sons Ltd.
- Fornes, T. D., et al. (2001). Nylon 6 nanocomposites: The effect of matrix molecular weight. *Polymer*, 42, pp. 9929 – 9940.
- Fornes, T D., and Paul, D R. (2003). Formation and properties of nylon 6 nanocomposites. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, no 4, pp. 212-217.
- Frost, Ray. et al. (2006). Changes in the morphology of organoclays with HDTMA+ surfactant loading. *Applied Clay Science*, 31(3-4), pp. 262-271.
- George, J., Bhagawan, S.S., Prabhakaran, N., & Thomas, S. (1995). Short pineapple leaf fiber reinforced low-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 57, pp. 843-854.
- George, J., et al., ed. (1996a). Melt rheological behaviour of short pineapple fibre reinforced low density polyethylene composites. *Polymer*, 37, pp. 5421- 5431.
- Grasia, M., et al. (2004). Polypropylene/SiO₂ nanocomposites with improved mechanical properties. *Rev. Adv. Mater Sci.*, 6, pp. 169-175.
- Grim, R. E. (1962). *Applied clay mineralogy*. New York: McGraw Hill, pp. 422 .
- Grim R.E. (1968). *Clay mineralogy*. Second Edition, USA: McGraw-Hill.
- Holbery, James., & Houston. (2006). Natural fiber reinforced polymer composites in automotive applications. *Proquest Science Journals*, 58, 11, pg. 80.

- Hull, Derek. (1981). *An introduction to composite material*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hussaim, Farzana., Okomoto, Masami., & Riussel, E.G. (2006). Polimer matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: An overview. *Journal of Composite Materials*, Vol. 40, No. 17.
- Jacob John, Maya., & D. Anandjiwala, Rajesh. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber - reinforced composites.
- John Z. Lu, Qinglin Wu, & Ioan I. Negulescu. (2005). Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling agent performance. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 96, pp. 93–102.
- Ke, Y.C., & Stroove, P. (2005). Polymer layered silicate and silica nanocomposites. *Elsevier*, pp. 211-271.
- Le Baron, Peter C., Zhen Wang, & Pinnavaia, T J. (1999) Polymer layered silicate nanocomposite: An overview. *Applied Clay Science*, 15, pp. 11-29.
- Ling Chen, Shing-Chung Wong, & Pisharath, Sreekumar. (2003). Fracture properties of nanoclay-filled polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 88, pp. 3298–3305.
- Ludiantora, Sandha. (2009). *Uji karakteristik serat agave cantula roxb anyaman 3D pada fraksi berat (30%, 40%, 50%, 60%)*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Mason B, & Berry L.G. (1968). *Elements of mineralogy*. USA: W. H. Freeman and Company, pp. 168.
- Mathieson, A. M. (1958). Mg-vermiculite: A refinement and re-examination of crystal structure of the 14.36-angstrom phase. *American Mineralogist*,

43, pp. 216-227.

Matthew. (1999). *Composite material : Engineering and science*.

MatWeb: Tensile Property Testing of Plastics.

<http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>,

diunduh pada tanggal 2 Juli 2010, pukul 11.09

Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of soil behavior*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Mokhtar, Munirah., Rahmat, Abdul Razak., & Hassan, Azman. (2007). Characterization and treatments of pineapple leaf fibre thermoplastic composite for construction application. *Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli. Universiti Teknologi Malaysia*.

Nuntiya, Apinon., et al. (2008). The effect of surfactant concentration on the interlayer structure of organoclay. *Chiang Mai J. Sci*, 35(1), pp. 199-205.

ÖNAL, Müşerref, et al. (2003). Isolation and characterization of a smectite as micro-mesoporous material from a bentonite. *Turk. J. Chem.*, 27, pp. 683-693.

Pandey, Jitendra K., et al. *Preparation characterization and performance evaluation of nanocomposites from natural fiber reinforced biodegradable polymer matrix for automotif applications*.

Pinnavaia, T. J., & Beall, G. W. (2002). *Polymer-clay nanocomposites*. John Wiley & Sons Ltd.

Polymer Technology. <http://polymer.w99of.com/tag/lldpe/>, 18 Juni 2010, pukul 24.12.

Q. H. Zeng, et al. (2005). Clay-based polymer nanocomposites: Research and

commercial development. *J. Nanosci Nanotech*, 5:10.

- Rosen, Milton J. (1978). *Surfactants and interfacial phenomena*. Canada: John Wiley&Sons, Inc.
- Roseno, Seto. (2007). *Laporan akhir program insentif riset dasar: Studi karakterisasi, morfologi, mekanik, dan termal termoplastik lignoselulosa hibrid nanokomposit berbasis lempung lokal*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Roseno, Seto. (2008). *Laporan akhir program insentif riset dasar: Studi karakterisasi, morfologi, mekanik, dan termal termoplastik lignoselulosa hibrid nanokomposit berbasis lempung lokal*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Rozman, H.D., Saad, M.J., & Ishak, Z A M. (2003). Flexural and impact properties of oil palm empty fruit bunch (EFB)-polypropylene composites-the effect of maleic anhydride chemical modification of EFB. *Polymer Testing*, 22, pp. 335-341.
- Rusmiyatno, Fandhy. (2007). *Pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending komposit nylon/epoxy resin serat pendek random*. Skripsi Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- SABIC® LLDPE R50035E. (2010, July 11). *Linear low density polyethylene for rotational moulding*. www.SABIC-europe.com
- Samal, R. K., & Ray, M.C. (1997). Effect of chemical modification on FTIR-spectra and physico-chemical behavior of pineapple bead fibre. *J. Poly.*
- Sangmin Kwon, et al. (2002). Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites. *Polymer*, 43, pp. 6901–6909.

- Satapathy, A., et al. (2009). Processing and characterization of jute-epoxy composites reinforced with SiC derives from rice husk. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*.
- Schwartz, M. M. (1984). *Composite materials handbook*, McGraw-Hill, New York.
- Sekarini, N W. (2005). *Studi interkalasi lempung bentonit dengan garam ammonium kuarternar dan pemanfaatannya sebagai pengikat ion Pb²⁺*. Skripsi Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- Selke, S., Yam, K., & Nieman, K. ANTEC'89. *Society of plastics engineers*, pp. 1813-1815.
- Singh, Bhupendra. *Polymer clay nanocomposite*. Department of Chemical Technology, University of Mumbai.
- Sinha Ray, Suprakas., et al. (2003). Biodegradable polylactide/montmorillonite nanocomposites. *J. Nanosci. Nanotech*, Vol. 3, No. 6.
- Soparso, et al. (2009). Karakterisasi berbagai jenis bahan lapisan kedap, ketebalan dan nisbah bentonit dengan pasir: konsep dasar pengelolaan lahan pasir pantai. *Jurnal Tanah Trop.*, Vol. 14, No. 2, pp. 167-176.
- Special Chem, <http://www.specialchem4polymers.com/tc/adhesion-promoters/index.aspx?id=3307.html>, diunduh pada tanggal 4 Januari 2010, pukul 14:43.
- Spektrima, Tarra. (2009). *Pemanfaatan limbah plastik polietilena tereftalat (PET) sebagai matrik komposit dengan bahan penguat kaca serat*. Skripsi Sarjana Sains. Departemen Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Suarya, P., & Simpen, I.N. (2009, Januari). Interkalasi benzalkonium klorida ke dalam montmorillonit teraktivasi asam dan pemanfaatannya untuk

- meningkatkan kualitas minyak daun cengkeh. *Jurnal Kimia*, 3(1), 41-46.
- Sudirman, et al. (2000). Pengaruh komposisi filler terhadap struktur mikro dan densitas komposit polipropilena-pasir. *J. Mikroskopi dan Mikroanalisis*, vol. 3, No. 2.
- Sukandarrumidi. (1999). *Bahan galian industri*. Yogyakarta: UGM Press, hal. 72-78.
- Sung Hun Ryu & Young-Wook Chang. (2005). Factors affecting the dispersion of montmorillonite in LLDPE nanocomposite. *Polymer Bulletin*, 55, pp. 385–392.
- S. Y. Lee, et. al. (2008). Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites. *eXPRESS Polymer Letters*, vol. 2, No.2, pp. 78–87.
- Taj, Saira., Ali Munawar, Munawar., & Khan, Shafiullah. (2007). Review natural fiber-reinforced polymer composites. *Taj et al. Proc. Pakistan Acad. S.*, 44(2), pp. 129-144.
- United States Patent. Patent number 5,986,021. (1999, Nov. 16).
- Utracki, L. A., & Kamal, M. R. (2002). Clay-containing polymeric nanocomposites. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 27, Number 1C.
- Valenzuela Diaz, Francisco R., & Persio de Souza Santos. (2001). Studies on the acid activation of brazilian smectitic clays. *Quim. Nova*, vol. 24 (3), pp. 345-353.
- Wapedia. Wiki: Polietilena, <http://wapedia.mobi/id/Polietilena>, diunduh pada tanggal 6 April 2010, pukul 13:12.

Weiss, R. A. (1981). Mechanical properties of polypropylene reinforced with short graphite fibers. *Polymer Composites*, Vol. 2, No. 3, pp. 95-101.

Wikipedia. Cation exchange capacity,
http://en.wikipedia.org/wiki/Cation_exchange_capacity, diunduh pada tanggal 21 Juni 2010, pukul 22.42.

Wikipedia. *Linear low-density polyethylene*,
http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_low-density_polyethylene, 18 Juni 2010, pukul 24. 28.

Wu Zhansheng, et al. (2006). Characterization, acid activation and bleaching performance of bentonite from xinjiang. *Chinese J. Chem. Eng.*, 14 (2), pp. 253-258.

Yong Lei, et al. (2007). Influence of nanoclay on properties of HDPE /wood composites. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 106, pp. 3958-3966.

Yunfei Xi, Zhe Ding, & Frost, Ray L. (2004). Structure of organoclays an x-ray diffraction and thermogravimetric analysis study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, pp. 116-120.

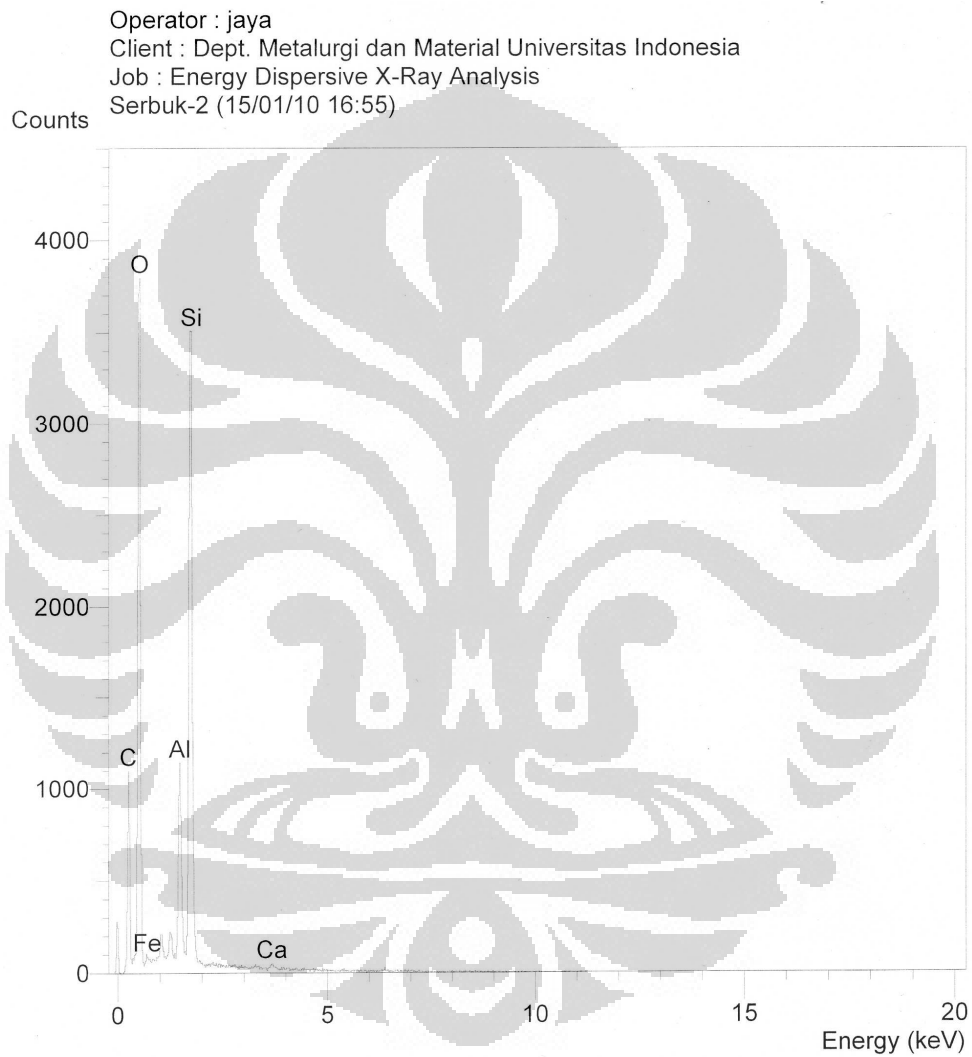
Yusnimar, Purwaningsih., Is Sulistyati., & Rochmadi. (2009, 19-20 Oktober). *Proses bleaching CPO: Pengaruh ukuran partikel bentonit dan suhu aktivasi terhadap daya jerap bentonit*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI 2009 Bandung.

LAMPIRAN

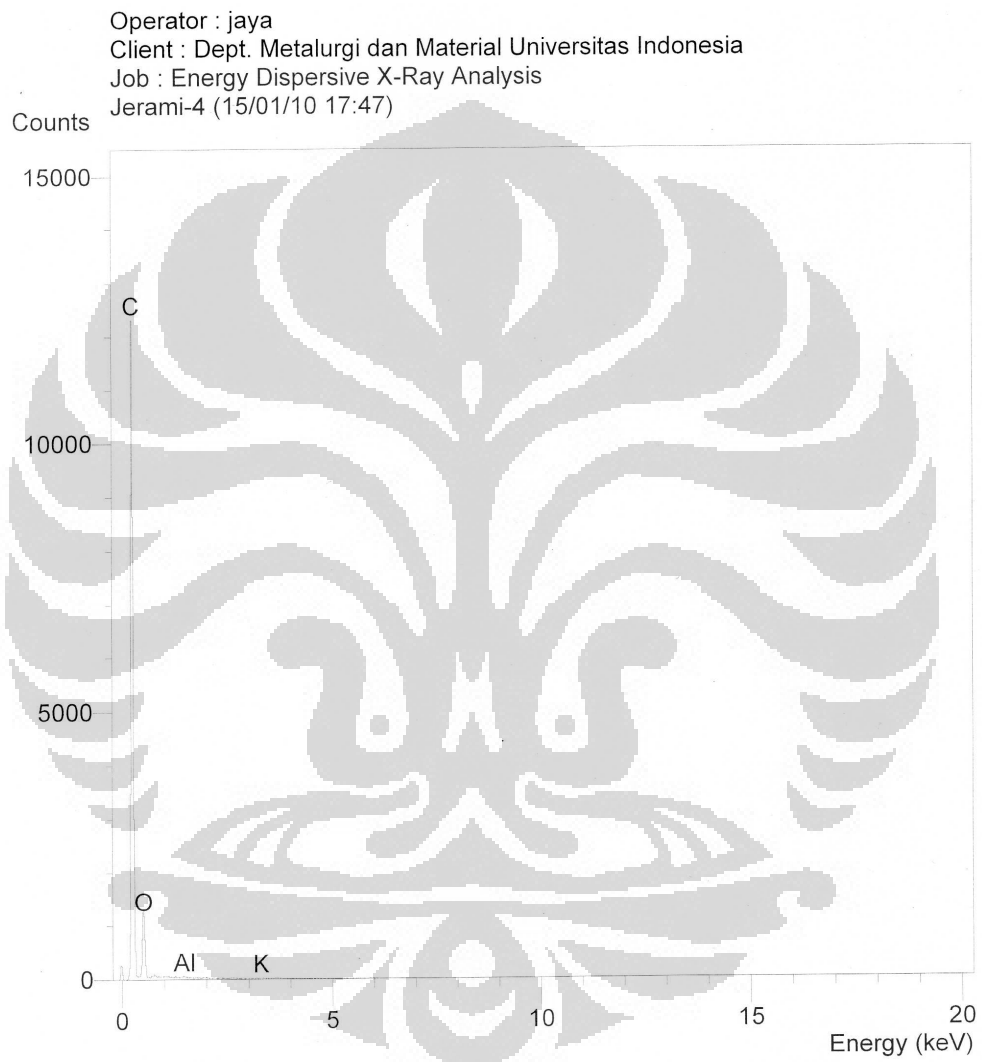
Lampiran 1: Tabel karakteristik serat nanas

Morfologi Serat		Standar Pengujian
Panjang Serat (mm)		SNI 1883-86
a. Minimal	2.13	
b. maksimal	7.38	
c. Rata-rata	4.43	
Diameter Serat (μm)	5.94	SNI 14-4350-1996
Diameter Lumen (μm)	1.57	
Tebal Dinding (μm)	2.19	
Sifat Fisika		
Massa Jenis (g/cm^3)	0.373	
Berat Serat per 50 cm	0.00215	
Kekuatan Tarik ($\text{Kg}/\text{g.m}$)	165.76	SNI 0768-1989-A
Elongation (%)	1.4	
Sifat Kimia		
Lignin (%)	6.57	SNI 14-0492-1989
α -Selulosa (%)	42.84	
Pentosan (%)	14.79	
Hemiselulosa (%)	80.67	
Pektin (%)	1.29	

Sumber : [Roseno, 2008]

Lampiran 2: Hasil EDAX *organoclay* Pacitan setelah aktivasi asam

Lampiran 3: Hasil EDAX serat nanas



LEMBAR PENGESAHAN**DRAFT SKRIPSI**

Nama : Siti Hardiyanti Nizmah

NPM : 0606068713

Program Studi : S-1 Reguler

Judul : Karakterisasi Komposit *Linear Low Density*
Polyethylene-Serat Nanas-Organoclay Pacitan

Pembimbing I : Ariadne L. Juwono, M.Eng., PhD.

Pembimbing II : Ir. H. Seto Roseno, BEng. (Hons), M.Sc.

Draft Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ariadne L. Juwono, M.Eng., PhD.

Ir. H. Seto Roseno, BEng. (Hons), M.Sc.