



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN ORGANOCLAY TERHADAP  
SIFAT MEKANIS DAN *THERMAL* PADA *HIGH DENSITY*  
*POLYETHYLENE* – ORGANOCLAY NANOKOMPOSIT**

**SKRIPSI**

**AGUNG RETNO**

**0706268221**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN ORGANOCLAY TERHADAP  
SIFAT MEKANIS DAN *THERMAL* PADA *HIGH DENSITY  
POLYETHYLENE* – ORGANOCLAY NANOKOMPOSIT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**AGUNG RETNO  
0706268221**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

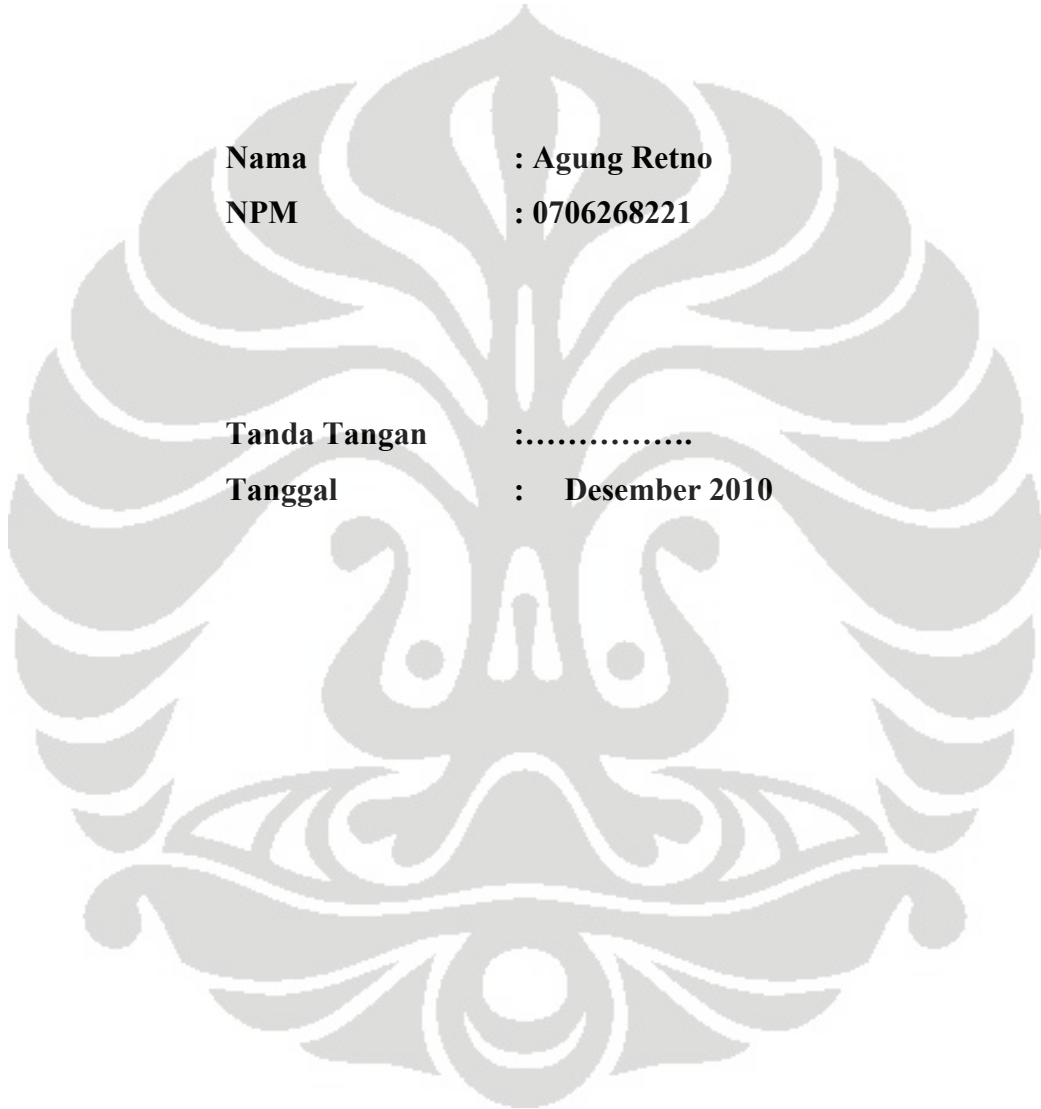
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Agung Retno**

**NPM : 0706268221**

**Tanda Tangan :.....**

**Tanggal : Desember 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Agung Retno  
NPM : 0706268221  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh penambahan organoclay terhadap sifat mekanis dan *thermal* pada *high density polyethylene-organoclay* nanokomposit

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc ( )

Penguji 1 : Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Eng ( )

Penguji 2 : Drs. Saeful Rohman, MT ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah.SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Drs. Saeful Rohman, MT dan segenap karyawan STP yang telah membimbing dan memberi dana untuk penelitian skripsi ini;
- (3) Kedua orang tua saya, Ninie Retno Djatawatie, SH dan Agung Santoso, yang senantiasa mendoakan saya;
- (4) Pakde Amri dan Budhe Nani serta Sasa dan Nana yang telah banyak menolong saya;
- (5) Ir. Haris Budi yang telah banyak memberi semangat dan nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini;
- (6) Alireza Asvadi yang telah membantu sumbangan jurnal-jurnal dari sciencedirect dan Adimas Dwi Anggoro sebagai rekan skripsi; dan
- (7) Teman-teman metalurgi '07 dan seluruh pihak yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah.SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Agung Retno  
NPM : 0706268221  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh penambahan organoclay terhadap sifat mekanis dan *thermal* pada  
*high density polyethylene-organoclay* nanokomposit**

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

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : Desember 2010

Yang menyatakan

(Agung Retno)

## ABSTRAK

Nama : Agung Retno  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Penambahan Organoclay terhadap Sifat Mekanis dan *Thermal* pada *High Density Polyethylene* - Organoclay Nanokomposit

Berbagai penelitian mengenai polimer-*clay* nanokomposit telah memberikan indikasi adanya peningkatan pada sifat mekanis dan kestabilan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek penambahan organoclay pada sifat mekanis dan sifat *thermal* pada polimer *high density polyethylene* (HDPE). Pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit menggunakan metoda *melt compounding* dan menggunakan variasi konsentrasi organoclay 2,5 % hingga 7,5 % dari massa nanokomposit. *Compatibilizer* yang digunakan dalam pembuatan nanokomposit ini adalah HDPE-g-MA. Pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dianalisa menggunakan XRD. Sifat mekanis dianalisa berdasarkan pada hasil pengujian tarik. Sifat *thermal* dianalisa berdasarkan hasil pengujian *heat deflection temperature* (HDT).

Kata kunci : Nanokomposit, HDPE, organoclay, sifat mekanis, *heat deflection temperature*.

## ABSTRACT

Name : Agung Retno  
Major : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Effect of Organoclay on the Mechanical and Thermal Properties of HDPE-organoclay Nanocomposite

The result presented by number of researchers indicate that the introduction of montmorillonite into polymer matrix results in an increase of thermal stability and mechanical properties of polymer-clay nanocomposite. The main purpose of this study was to elevate the effect of the organoclay on the thermal stability and mechanical properties of high density polyethylene (HDPE). HDPE-organoclay nanocomposites were prepared by melt compounding with 2.5%wt to 7.5%wt of organoclay. HDPE-organoclay nanocomposites used HDPE-g-MA as compatibilizer. Changes in the surface of montmorillonite and the dispersion of organoclay in the polymer matrix were evaluated using X-ray diffraction (XRD). The mechanical properties were analysed by using tensile test. The thermal stability of nanocomposites were analysed by heat deflection temperature (HDT).

Keywords : nanocomposite, HDPE, organoclay, mechanical properties, heat deflection temperature (HDT)



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1. Latar belakang.....	1
I.2. Perumusan masalah.....	2
I.3. Tujuan penelitian.....	3
I.4. Metodologi penelitian.....	3
I.5. Ruang lingkup penelitian.....	3
I.6. Sistematika penulisan.....	4
<b>II. LANDASAN TEORI.....</b>	<b>6</b>
II.1. Clay.....	6
II.1.1. Umum.....	6
II.1.2. Struktur Montmorillonite.....	7
II.1.3. Organoclay ( <i>Organo Layer Silicate</i> ).....	8
II.2. Polietilen.....	10
II.2.1. Umum.....	10
II.2.2. <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE).....	10
II.3. HDPE-g-MA.....	12

II.3.1. Umum .....	12
II.3.2. Kopolimer Cangkok ( <i>Graft Copolymer</i> ) .....	13
II.3.3. Malaet Anhidrida (MA).....	14
II.3.4. Kopolimerisasi HDPE-g-MA .....	14
II.3.5. HDPE-g-MA sebagai <i>Compatibilizer</i> .....	15
II.4. Polimer – <i>Clay</i> Nanokomposit.....	16
II.4.1. Umum .....	16
II.4.2. Metoda Pencampuran Polimer dengan Organoclay .....	18
II.4.2.1. In Situ Polimerisasi .....	18
II.4.2.2. <i>Melt Compounding</i> .....	18
II.4.2.3. Metoda Pelarut .....	29
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
III.1. Diagram Alir Penelitian .....	20
III.2. Alat dan Bahan .....	21
III.2.1 Alat .....	21
III.2.2 Bahan .....	22
III.3. Prosedur Penelitian.....	25
III.3.1. Pembuatan HDPE-g-MA.....	25
III.3.2. Pembuatan HDPE – Organoclay Nanokomposit.....	26
III.3.3. Pengujian <i>Tensile</i> .....	26
III.3.4. Pengujian <i>Heat Deflection Temperature</i> (HDT) .....	27
III.3.5. Pengujian <i>Wide Angle X-ray Diffraction</i> (WAXD) .....	28
III.3.6. Karakterisasi AFM .....	28
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
IV.1. Analisa HDPE-g-MA.....	30
IV.2. Analisa HDPE – Organoclay Nanokomposit.....	31
IV.3. Analisa Pendispersian Lapisan Silikat pada Matriks HDPE.....	33
IV.4. Pengaruh Konsentrasi Organoclay terhadap Sifat Mekanik pada HDPE-Organoclay Nanokomposit .....	39

IV.5. Pengaruh Konsentrasi Organoclay terhadap Nilai HDT pada HDPE-Organoclay Nanokomposit .....	41
<b>V. PENUTUP .....</b>	<b>44</b>
V.1. Kesimpulan.....	44
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>45</b>



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b> Sifat fisik beberapa <i>clay</i> .....	6
<b>Tabel 2.2.</b> Sifat fisik, termal, mekanik dan elekterik dari HDPE.....	12
<b>Tabel 2.3.</b> Perbandingan sifat mekanik dan thermal antara <i>nylon 6-clay</i> nanokomposit dengan polimer <i>nylon</i> .....	17
<b>Tabel 3.1.</b> Spesifikasi alat.....	21
<b>Tabel 3.2.</b> Spesifikasi alat untuk karakterisasi sampel.....	22
<b>Tabel 3.3.</b> Bahan pembuatan <i>compatibilizer</i> HDPE-g-MA.....	23
<b>Tabel 3.4.</b> Bahan pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit .....	24
<b>Tabel 3.5.</b> Komposisi HDPE-g-MA .....	25
<b>Tabel 3.6.</b> Kondisi operasional rheomix HDPE-g-MA .....	25
<b>Tabel 3.7.</b> Komposisi HDPE-organoclay nanokomposit dengan <i>compatibilizer</i> HDPE-g-MA .....	26
<b>Tabel 3.8.</b> Kondisi proses <i>hot blending</i> .....	26
<b>Tabel 4.1.</b> Nilai <i>d-spacing</i> pada sampel organoclay dan HDPE-organoclay nanokomposit.....	35

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Struktur kristal Montmorillonite.....	7
<b>Gambar 2.2.</b> Ilustrasi pertukaran ion pada bentonit .....	9
<b>Gambar 2.3.</b> Ilustrasi <i>surface treatment</i> .....	9
<b>Gambar 2.4.</b> Polimerisasi etilen.....	10
<b>Gambar 2.5.a.</b> Metan .....	11
<b>Gambar 2.5.b.</b> Etilen .....	11
<b>Gambar 2.5.c.</b> Gambar rantai polietilen .....	11
<b>Gambar 2.6.</b> Kopolimer acak ( <i>random copolymer</i> ).....	12
<b>Gambar 2.7.</b> Kopolimer bergantian ( <i>alternating copolymer</i> ).....	12
<b>Gambar 2.8.</b> Kopolimer blok ( <i>block copolymer</i> ).....	13
<b>Gambar 2.9.</b> Kopolimer cangkok ( <i>graft copolymer</i> ) .....	13
<b>Gambar 2.10.</b> Struktur kopolimer cangkok .....	13
<b>Gambar 2.11.</b> Struktur Malaet Anhidrida.....	14
<b>Gambar 2.12.</b> Struktur dikumul peroksida .....	14
<b>Gambar 2.13.</b> Dispersi organoclay dalam polimer- <i>clay</i> nanokomposit .....	17
<b>Gambar 2.14.</b> Skema ilustrasi proses in situ polimerisasi .....	18
<b>Gambar 2.15.</b> Skema ilustrasi <i>melt compounding</i> .....	19
<b>Gambar 2.16.</b> Skema ilustrasi metoda pelarut.....	19
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram alir penelitian .....	20
<b>Gambar 3.2.</b> Pengujian HDT .....	27
<b>Gambar 3.3.</b> Prinsip kerja SPM .....	29
<b>Gambar 4.1.</b> <i>Compatibilizer</i> HDPE-g-MA hasil <i>hot blending</i> dengan <i>single twin screw extruder</i> : (a) sebelum <i>crushing</i> dan (b) setelah <i>crushing</i> .....	30
<b>Gambar 4.2.</b> HDPE-organoclay nanokomposit, sebelum <i>crushing</i> : (a) HDPE-2.5%; (b) HDPE-5%;(c)HDPE-7.5%, setelah <i>crushing</i> : (d) HDPE-2.5%; (e) HDPE-5%; (f)HDPE-7.5%...32	32
<b>Gambar 4.3.</b> Grafik pengujian XRD pada organoclay .....	33

<b>Gambar 4.4.</b> Grafik perbandingan hasil pengujian XRD pada sampel nanokomposit .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Ilustrasi pendispersian organoclay pada matriks polimer serta hubungannya dengan hasil pengujian XRD dan TEM .....	36
<b>Gambar 4.6.</b> Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-2.5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay .....	37
<b>Gambar 4.7.</b> Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay .....	38
<b>Gambar 4.8.</b> Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-7.5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay .....	39
<b>Gambar 4.9.</b> Grafik pengujian tarik. Peningkatan nilai <i>tensile strength</i> seiring dengan peningkatan konsentrasi organoclay .....	40
<b>Gambar 4.10.</b> Grafik pengujian tarik. Peningkatan nilai <i>modulus elasticity</i> seiring dengan peningkatan konsentrasi organoclay ....	40
<b>Gambar 4.11.</b> Grafik pengujian HDT. Penambahan konsentrasi organoclay meningkatkan nilai HDT .....	42

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Data Pengujian XRD Sampel HDPE-2.5% .....	48
<b>Lampiran 2</b> Data pengujian XRD sampel HDPE-5% .....	49
<b>Lampiran 3</b> Data pengujian XRD sampel HDPE-7.5% .....	50
<b>Lampiran 4</b> Data pengujian <i>tensile</i> sampel HDPE .....	51
<b>Lampiran 5</b> Data pengujian <i>tensile</i> sampel HDPE-2.5% .....	52
<b>Lampiran 6</b> Data pengujian <i>tensile</i> sampel HDPE-5% .....	53
<b>Lampiran 7</b> Data pengujian <i>tensile</i> sampel HDPE-7.5% .....	54
<b>Lampiran 8</b> Data pengujian HDT sampel HDPE .....	55
<b>Lampiran 9</b> Data pengujian HDT sampel HDPE-2.5% .....	56
<b>Lampiran 10</b> Data pengujian HDT sampel HDPE-5% .....	57
<b>Lampiran 11</b> Data pengujian HDT sampel HDPE-7.5% .....	58

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

*High density polyethylene* (HDPE) merupakan polimer yang banyak digunakan dalam aplikasi sebagai kemasan makanan, *agricultural films*, kantong sampah, kemasan *merchandise* dan botol kemasan<sup>[1]</sup>. Banyaknya penggunaan HDPE tidak hanya disebabkan oleh harganya yang murah tetapi juga karena sifat fisis dan kimia yang cukup baik, densitas yang rendah, pemrosesan yang mudah dan dapat didaur ulang. Akan tetapi HDPE juga mempunyai beberapa kekurangan seperti sifat mekanik dan kestabilan *thermal* yang rendah, sehingga aplikasi penggunaan HDPE sebagai kemasan sangat terbatas pada aplikasi temperatur tertentu dan beban penggunaan tertentu. Peningkatan sifat mekanik dan *thermal* HDPE dapat memperluas aplikasi penggunaan HDPE untuk *range* temperatur yang lebih tinggi.

Upaya peningkatan sifat mekanik dan *thermal* pada polimer dapat dilakukan dengan menggunakan metoda nanoteknologi. Salah satu metoda nanoteknologi yang telah banyak dikembangkan yakni polimer/*clay* nanokomposit<sup>[3]</sup>. Material polimer/*clay* nanokomposit memperlihatkan peningkatan sifat seperti sifat modulus<sup>[4]</sup>, *tensile*<sup>[4,5]</sup>, *heat capacity*<sup>[6-8]</sup>, *heat deflection temperature*<sup>[4]</sup>, kestabilan *thermal*<sup>[5,9,10]</sup>, *flame resistance*<sup>[9,10]</sup>, sifat *barrier*<sup>[4,11,12,13]</sup> dan sifat *degradable*<sup>[14]</sup>. Pengembangan polimer nanokomposit ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan pengembangan komposit konvensional. Dalam hal komposisi, polimer nanokomposit hanya membutuhkan *filler* dalam jumlah sedikit yakni sekitar 1% hingga 5% dari massa nanokomposit karena ukuran partikel *filler* yang berukuran nano, sedangkan untuk komposit konvensional membutuhkan penambahan *filler* hingga 30% massa<sup>[15]</sup>.

Dalam pembuatan nanokomposit berbasis polimer- *clay* ini, faktor utama yang menentukan keberhasilan dalam peningkatan sifat material adalah pendispersian *organoclay* dalam matrik polimer yaitu masuknya molekul polimer



diantara lapisan silikat sehingga *organoclay* ini akan terinterkelasi atau tereksfoliasi dan terdistribusi secara acak dalam matrik polimer.

*Polyethylene* mempunyai sifat non polar sehingga dibutuhkan *compatibilizer* yang digunakan untuk pembuatan HDPE-*organoclay* nanokomposit<sup>[1]</sup>. Pada umumnya, *compatibilizer* yang digunakan adalah HDPE-g-MA. Penambahan *compatibilizer* akan meningkatkan perndispersian lapisan silikat pada matrik polimer. Selain itu, peningkatan sifat pada nanokomposit juga dipengaruhi oleh konsentrasi *organoclay*. Berdasarkan literatur<sup>[3,16]</sup> diketahui bahwa penambahan konsentrasi *organoclay* dalam jumlah sedikit dalam polimer dapat meningkatkan sifat mekanis dan *thermal*. Peneliti dari Toyota telah mampu membuat *nylon 6- clay* nanokomposit dengan peningkatan sifat mekanik dan *thermal*<sup>[4]</sup>.

Oleh sebab itu, studi pengaruh penambahan *organoclay* dalam konsentrasi yang berbeda-beda perlu sangat diperlukan guna memperoleh sifat mekanik dan *thermal* maksimum dari material polimer/*clay* nanokomposit.

## **1.2. Perumusan Masalah**

*High density polyethylene* (HDPE)- *organoclay* nanokomposit yang akan diteliti akan dibuat melalui metoda *melt compounding*, dimana pencampuran *organoclay* dilakukan saat polimer dan *compatibilizer* dalam konsisi leleh<sup>[3]</sup>. *Organoclay* merupakan *clay* yang telah mengalami *surface treatment*. *Compatibilizer* yang digunakan adalah HDPE-g-MA. Proses ini diharapkan dapat menghasilkan HDPE- *organoclay* nanokomposit dengan peningkatan sifat mekanis dan *thermal*. Variabel yang digunakan dalam pembuatan HDPE-*organoclay* nanokomposit ini adalah penambahan %massa (konsentrasi) dari *organoclay* yakni 2,5%; 5% dan 7,5%. Penelitian ini menitikberatkan pada pengaruh penambahan %massa (konsentrasi) *organoclay* terhadap perubahan sifat mekanik dan *thermal* daripada HDPE- *organoclay* nanokomposit, serta pengaruh pendispersian *organoclay* pada matrik HDPE terhadap hubungannya dengan sifat mekanik dan *thermal* HDPE-*organoclay* nanokomposit.

HDPE- *organoclay* nanokomposit yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian *tensile* lalu dilanjutkan dengan pengujian *heat deflection temperature* (HDT) untuk mengetahui seberapa besar peningkatan sifat mekanis dan *thermal*

dari nanokomposit ini. Karakterisasi selanjutnya adalah pengujian XRD dengan *small angle* untuk mengetahui pendispersian dari lapisan silikat *organoclay* dan kemudian dilakukan pengamatan morfologi permukaan nanokomposit dengan AFM. Pada tahap akhir dilakukan perbandingan antara sifat nanokomposit yang diperoleh dengan pendispersian dan morfologi dari lapisan silikat pada matrik HDPE.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Pada praktiknya peneliti nantinya akan melakukan pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit dengan batasan pembahasan tertentu dengan tujuan sebagai berikut:

- a) mengetahui pengaruh penambahan %massa (konsentrasi) *organoclay* terhadap sifat mekanis dan *thermal* pada HDPE-organoclay nanokomposit;
- b) mengetahui morfologi pendispersian lapisan silikat dalam matrik HDPE.

### **I.4. Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian ini adalah tentang studi awal mengenai pembuatan polimer/*clay* nanokomposit. Dimulai dari studi literatur dari beberapa jurnal dan penelitian sebelumnya kemudian menetapkan parameter proses yaitu variabel persen massa *clay*, temperatur *hot blending* dan waktu *hot blending*. Kemudian melakukan proses *hot blending* sesuai parameter dan melakukan pengamatan selama proses serta membuat catatan dalam bentuk *log book*. Setelah didapat hasil kemudian dilakukan pengujian dan karakterisasi daripada HDPE-organoclay nanokomposit.

### **I.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup dari penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada beberapa hal. Proses pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit dilakukan dengan metoda *melt compounding*. *Compatibilizer* yang digunakan adalah HDPE-g-MA. Nanokomposit yang dibuat terdiri dari tiga sampel dengan perbedaan terletak pada penambahan persen massa *organoclay* yakni masing-masing sampel terdiri atas 2,5wt%; 5wt% dan 7,5wt%.

Proses pembuatan nanokomposit dengan perbedaan penambahan *organoclay* bertujuan untuk membandingkan sifat mekanis dan *thermal* dari nanokomposit dan selanjutnya dianalisa untuk mengetahui apakah penambahan *organoclay* akan berpengaruh terhadap sifat mekanis dan *thermal* nanokomposit. Setelah proses pencampuran *organoclay* dan HDPE selesai dilakukan, maka nanokomposit kemudian dilakukan pengujian *tensile* untuk mengetahui sifat mekanis dari masing-masing sampel nanokomposit. Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah *heat deflection temperature* untuk mengetahui sifat *thermal*. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui permdispersian lapisan silikat pada matrik HDPE dan pengujian AFM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari nanokomposit. Tahap akhir dari penelitian ini adalah analisa hasil pengujian XRD dan AFM terhadap sifat mekanis dan *thermal* yang diperoleh dari nanokomposit ini.

#### **I.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika ini dibuat agar konsep penulisan tersusun secara berurutan sehingga didapat kerangka alur pemikiran yang tepat. Sistematika tersebut dituliskan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain. Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### *Bab I : Pendahuluan*

Membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

##### *Bab II : Dasar Teori*

Membahas mengenai dasar teori terkait dan studi literatur pada jurnal dan penelitian terdahulu berkaitan dengan pengembangan dan penelitian polimer-*clay* nanokomposit yang akan dilakukan.

### Bab III : *Metodologi Penelitian*

Membahas mengenai hal terkait selama dilakukan penelitian, menyangkut proses yang dilakukan, pengumpulan data dan informasi, preparasi sampel, hingga pengujian yang dilakukan baik berupa gambar maupun grafik.

### Bab IV : *Pembahasan*

Membahas mengenai pengolahan data keseluruhan hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian dan pengujian. Setelah data diperoleh dan diolah kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisa yang dapat menggambarkan tentang sifat dan karakter dari HDPE-organoclay nanokomposit yang dikembangkan.

### Bab V : *Penutup*

Membahas kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan sesuai dengan tujuan awal penelitian serta memberikan solusi dan saran sebagai acuan untuk menyempurnakan penelitian yang akan dilakukan lebih lanjut ke depan.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1. Clay

##### II.1.1. Umum

Dalam dunia industry, lempung atau tanah liat biasa dikenal sebagai *clay*. Salah satu jenis lempung yang sudah banyak dikenal manfaatnya adalah bentonit. Bentonit juga dikenal sebagai jenis *clay* yang mengandung mineral montmorillonite. Penggunaan nama bentonit pertama kali dipernalkan oleh Knight pada tahun 1898 untuk suatu jenis lempung yang sangat plastis yang terdapat pada Bentone, Rock, Creek, Wyoming, Amerika Serikat. Pada tahun 1960 Billson menemukan fakta bahwa mineral bentonit terdiri atas 85% monmorillonit dan sisanya merupakan pengotor <sup>[17-19]</sup>.

Sifat dari *clay* terutama montmorillonit yang sangat penting sehingga banyak digunakan dalam komposit adalah Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang besar, *surface area* yang besar dan ukuran partikel yang kecil. Sifat dari beberapa *clay* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat fisik beberapa *clay*<sup>[17]</sup>

<i>Clay</i>	Ukuran Partikel (mm)	<i>Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g)	KTK (meq/100 gram)
montmorillonite	0,01 – 1,0	700 – 800	80 – 100
Ilit	0,1 – 2,0	100 – 200	15 – 40
Kaolinit	0,1 – 5,0	5 – 20	3 - 15

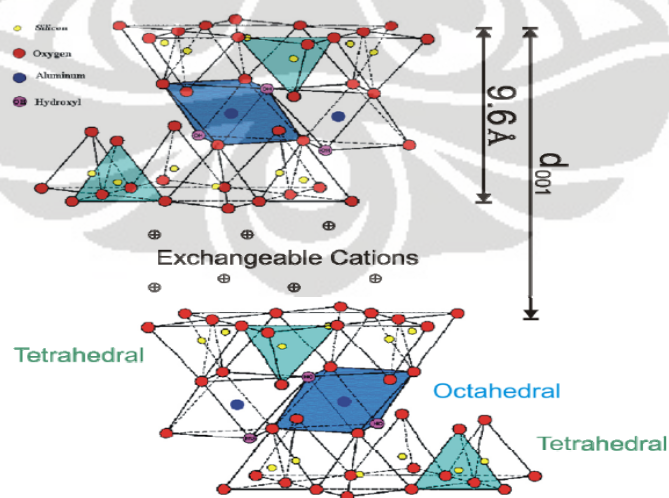
Untuk dapat digunakan sebagai *filler* pada nanokomposit maka terlebih dahulu bentonit harus dipurifikasi yaitu proses penghilangan pengotor-pengotor pada bentonit untuk mendapatkan monmorilonit. Pengotor yang biasa terdapat pada bentonit adalah mineral *feldspar* (AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), *kalsit* (CaCO<sub>3</sub>), *gypsum*

(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), kaolinit Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>, ilit (K,H<sub>3</sub>O)(Al,Mg,Fe)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>[(OH)<sub>2</sub>,(H<sub>2</sub>O)], kwarsa, plagioklas, serta senyawa pengotor lain seperti besi oksida dan material organik. Kalsit, besi oksida dan material organik dapat dihilangkan dengan perlakuan kimia sedangkan kwarsa, feldspar dapat dihilangkan dengan pengendapan atau fraksinasi<sup>[17]</sup>.

Disamping itu proses purifikasi dapat merubah montmorillonite yang multikation (memiliki kation lebih dari satu) menjadi unikation (memiliki satu kation) dengan jenis Na-Montmorillonite. Hal ini bertujuan agar kation anorganik tersebut lebih mudah dipertukarkan dengan kation organik dari surfaktan pada proses pembuatan organoclay.

### II.1.2. Struktur Montmorillonite<sup>[18]</sup>

Unsur yang menyusun montmorillonite adalah (Na,Ca)(Al,Mg)<sub>6</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>-nH<sub>2</sub>O atau *Hydrated Sodium Calcium Aluminum Magnesium Silicate Hydroxide*. Montmorillonite merupakan clay jenis *phyllosilicates* (silika dengan struktur lembaran) dan mempunyai lapisan mineral 2:1 (*sandwich*). Struktur kristal montmorillonite tersusun atas lapisan alumina (AlO<sub>6</sub>) berbentuk oktahedral yang diapit oleh dua buah lapisan silika (SiO<sub>4</sub>) berbentuk tetrahedral. Ketebalan tiap lapisan montmorillonite adalah sekitar 0,96 nm. Berikut merupakan gambar struktur montmorillonite:



**Gambar 2.1.** Struktur kristal Montmorillonite<sup>[18]</sup>

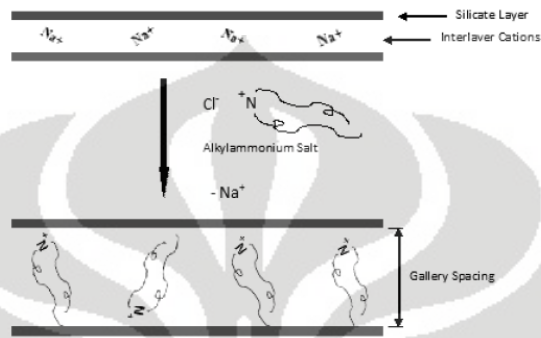
Pada lapisan tetrahedral ada kemungkinan pertukaran,  $\text{Si}^{4+}$  dapat digantikan dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Pada lapisan oktahedral kemungkinan terjadi pertukaran antara *trivalent* dengan *bivalent* Fe atau Mg. pertukaran ini terjadi karena *substitusi isomorfik* (pertukaran atom dengan atom yang memiliki *ionic radius* yang relatif sama) sehingga lapisan TOT (*Tetrahedral-Octahedral-Tetrahedral*) ini akan kekurangan muatan positif atau kelebihan muatan negatif yang kemudian akan diimbangi dengan penyerapan kation alkali (contoh  $\text{Na}^+$ ) atau alkali tanah (contoh  $\text{Ca}^{2+}$ ) yang cukup banyak dimuat dalam kristal atau diantara *sandwich* TOT. peristiwa masuknya kation diantara lapisan TOT ini sangat dimungkinkan karena ikatan antar lapisan TOT hanya merupakan ikatan sekunder, maka energy tarik menarik antar lapisan relatif rendah sehingga masuknya molekul kecil diantara lapisan sangat mudah.

Celah antara lapisan TOT biasa disebut sebagai galeri. Galeri ini berisikan *exchangeable cation* berupa  $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{Na}^{2+}$  yang ada akibat peristiwa penyerapan kation yang telah dijelaskan sebelumnya. Galeri ini diukur dengan XRD melalui selisih jarak 2 lapisan tetrahedral yang berbeda lapisan ( $d_{001}$ ), nilainya berkisar 1,2-1,5 nm.

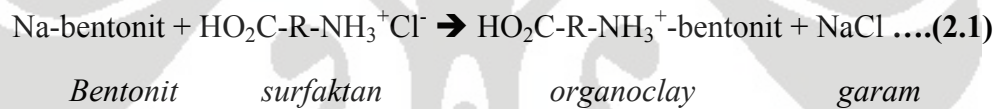
### II.1.3. Organoclay (*Organo Layer Silicate*)<sup>[17]</sup>

OLS merupakan hasil dari penggantian kation anorganik, seperti natrium, kalsium dan magnesium pada permukaan partikel montmorillonite dengan suatu kation organik. Surfaktan kationik yang digunakan biasanya adalah garam *ammonium kwartener*  $(\text{R}_4\text{N})^+\text{Cl}^-$  yang memiliki (minimal) suatu rantai alkil yang panjang. Ammonium kwartener ini merupakan jenis kationik ammonium klorida, yang mempunyai muatan positif pada salah satu ujung rantainya. Pertukaran ion terjadi dengan ion Na, Ca dan Mg pada permukaan montmorillonite. Surfaktan kationik baik yang berupa kwartener maupun non kwartener mempunyai aplikasi yang luas karena dapat terabsorpsi pada permukaan padatan mineral. Penambahan surfaktan bertujuan untuk mengubah montmorillonit yang bersifat hidrofilik menjadi organofilik. Hal ini diperlukan agar montmorillonite dapat digunakan sebagai *filler* pada bahan-bahan tertentu yang sifatnya hidrofobik, misalnya polimer<sup>[17]</sup>.

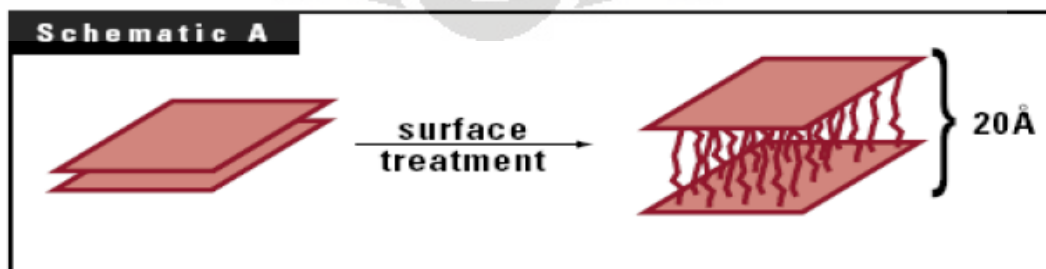
Pada saat pemasukan surfaktan ke dalam bentonit sebaiknya bentonit dalam keadaan mengembang (*swelling*). Berbeda dengan zeolit, bentonit memiliki sifat mengembang yang baik, pengembangan bisa mencapai 15 kali. Dalam keadaan mengembang lapisan bentonit akan terbuka atau *d-spacing* sedikit membesar sehingga memudahkan surfaktan untuk masuk ke dalamnya<sup>[17]</sup>.



Gambar 2.2. Ilustrasi pertukaran ion pada bentonit<sup>[23]</sup>



Penambahan surfaktan atau yang dikenal dengan sebutan *surface treatment* bertujuan untuk mengurangi gaya tarik antar lapisan montmorilonit sehingga jarak antar lapisan dapat bertambah besar yaitu 1,5 nm. Pada proses pembuatan polimer- *clay* nanokomposit, peningkatan nilai ruang basal ini akan memudahkan polimer masuk ke dalam organoclay (interkalasi) sehingga lapisan organoclay akan mudah terlepas satu sama lain atau tereksfoliasi.



Gambar 2.3. Ilustrasi *surface treatment*<sup>[23]</sup>

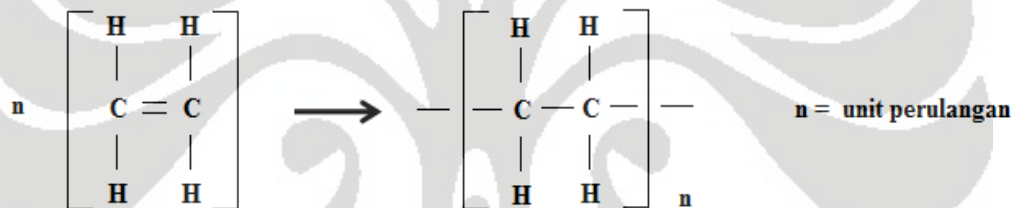


## II.2. Polietilen

### II.2.1. Umum

Polietilen adalah salah satu dari poliolefin yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan berbagai jenis peralatan rumah tangga dan kemasan makanan maupun minuman. Pemanfaatannya yang sangat luas dimungkinkan karena polimer ini memiliki banyak sifat-sifat yang bermanfaat antara lain daya tahan terhadap zat kimia dan benturan yang baik, mudah dibentuk dan dicetak, ringan dan harganya yang murah<sup>[1]</sup>.

Polietilen dibuat dengan jalan polimerisasi gas etilen, yang diperoleh dengan memberi hydrogen gas petroleum pada pemecahan minyak (nafta), gas alam atau asetilen. Polimerisasi etilen ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



Gambar 2.4. Polimerisasi etilen<sup>[19]</sup>

Polietilen ini kemudian digolongkan menjadi polietilen massa jenis rendah (LDPE) dengan massa jenis 0,910-0,926, polietilen massa jenis medium (MDPE) dengan massa jenis 0,926-0,940, polietilen massa jenis tinggi (HDPE) dengan massa jenis 0,941-0,965<sup>[19]</sup>.

### II.2.2. High Density Polyethylene (HDPE)

HDPE pertama ditemukan pada tahun 1880 dari reaksi *diazomethane*, kemudian berkembang secara komersial sejak 1950. Katalis yang digunakan sejak saat itu hingga sekarang berbasis khromium dan titanium. Produksi secara komersial dimulai pada tahun 1956 di Amerika oleh Phillips petroleum dan Hoechst di Jerman. HDPE merupakan komoditas terbesar yang diproduksi di dunia hingga saat ini.



Tabel 2.2. Sifat fisik, termal, mekanik dan elekterik dari HDPE<sup>[19]</sup>

Property	Highly linear
<i>Physical</i>	
density, g/cm <sup>3</sup>	0.962–0.968
refractive index, n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1.54
<i>Thermal</i>	
melting point, °C	128–135
brittleness temp, °C	–140 to –70
heat resistance temp, °C	ca 122
specific heat capacity, kJ/(kg·K) <sup>b</sup>	1.67–1.88
thermal conductivity, W/(m·K)	0.46–0.52
temp coefficient	
of linear expansion	(1–1.5) × 10 <sup>-4</sup>
of volume expansion	(2–3) × 10 <sup>-4</sup>
heat of combustion, kJ/g <sup>b</sup>	46.0
<i>Electrical</i>	
dielectric constant at 1 MHz	2.3–2.4
dielectric loss angle, 1 kHz–1 MHz	(2–4) × 10 <sup>-4</sup>
volume resistivity, Ω·m	10 <sup>17</sup> –10 <sup>18</sup>
surface resistivity, Ω	10 <sup>16</sup>
dielectric strength, kV/mm	45–55
<i>Mechanical</i>	
yield point, MPa <sup>c</sup>	28–40
tensile modulus, MPa <sup>c</sup>	900–1200
tensile strength, MPa <sup>c</sup>	25–45
notch impact strength, kJ/m <sup>2d</sup>	ca 120
flexural strength, MPa <sup>c</sup>	25–40
shear strength, MPa <sup>c</sup>	20–38
elongation, %	
at yield point	5–8
at breakpoint <sup>e</sup>	50–900
hardness	
Brinell, MPa <sup>c</sup>	60–70
Rockwell	R55, D60–D70

<sup>a</sup> 2–3 CH<sub>3</sub> per 1000 carbons.

<sup>b</sup> To convert J to cal, divide by 4.184.

<sup>c</sup> To convert MPa to psi, multiply by 145.

<sup>d</sup> To convert kJ/m<sup>2</sup> to ft·lb/in.<sup>2</sup>, divide by 2.10.

<sup>e</sup> Strongly dependent on molecular weight.

## II.3. HDPE-g-MA

### II.3.1. Umum

Suatu polimer merupakan hasil proses polimerisasi suatu monomer yang sejenis sedangkan polimerisasi dua atau lebih satuan monomer yang berbeda sifat secara kimia menghasilkan kopolimer. Kopolimer dengan dua atau lebih satuan monomer yang berbeda sifat kimianya dan terdistribusi secara acak dinamakan kopolimer acak, yang strukturnya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.6. Kopolimer acak (*random copolymer*)<sup>[20]</sup>

Jika dua satuan monomer atau lebih tersebut terdistribusi secara teratur akan didapatkan suatu kopolimer bergantian yang digambarkan sebagai berikut:



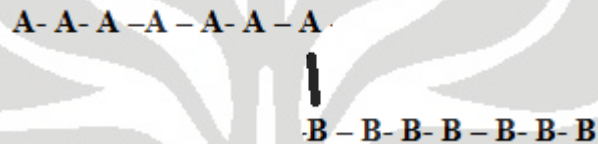
Gambar 2.7. Kopolimer bergantian (*alternating copolymer*)<sup>[20]</sup>

Suatu kopolimer yang terdiri dari dua atau lebih polimer yang terbentuk dari masing-masing monomer dan berikatan atau bergabung pada akhir rantai, dinamakan kopolimer blok dengan struktur sebagai berikut:



**Gambar 2.8.** Kopolimer blok (*block copolymer*)<sup>[20]</sup>

Jenis kopolimer yang lain adalah kopolimer cangkok yang terbentuk bila suatu monomer tumbuh dan menjadi cabang baru pada polimer substratnya. Strukturnya adalah sebagai berikut:

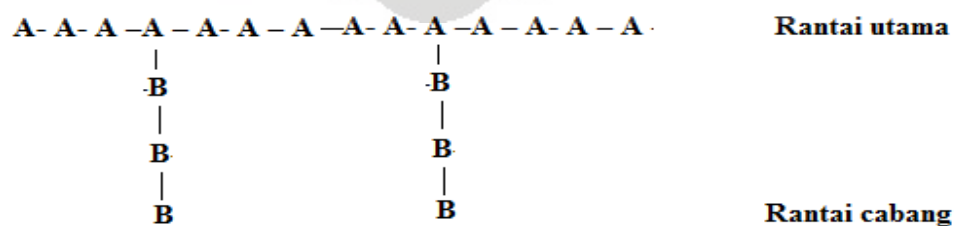


**Gambar 2.9.** Kopolimer cangkok (*graft copolymer*)<sup>[20]</sup>

### II.3.2. Kopolimer Cangkok (*Graft Copolymer*)

Metoda kopolimerisasi cangkok merupakan salah satu alternatif untuk melakukan modifikasi polimer. Dengan menggunakan metoda ini modifikasi dapat diatur hanya terjadi pada permukaan saja atau sampai keseluruhan bagian polimer. Polimer yang dihasilkan dengan proses ini dinamakan kopolimer cangkok.

Kopolimer terdiri dari rantai utama dan rantai cabang yang merupakan rantai baru yang dicangkokkan pada polimer utama. Struktur kopolimer cangkok dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.10.** Struktur kopolimer cangkok<sup>[20]</sup>

Rantai A adalah polimer utama yang merupakan kerangka (“*back-bone*”) dan rantai B adalah cabang yang dapat merupakan satu set pengulangan monomer. Panjang serta banyaknya cabang polimer berbanding langsung dengan konsentrasi monomer. Namun demikian selama proses reaksi dapat pula terbentuk homopolimer. Kenaikan konsentrasi monomer akan mengakibatkan terjadinya kompetisi antara reaksi homopolimerisasi dan sreaksi kopolimer cangkok.

### II.3.3. Malaet Anhidrida (MA)

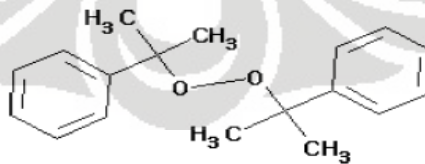
Malaet anhidrida memiliki berat molekul 98,06 gr/mol dan secara fisik berwarna putih, bersifat higroskopis dan dalam bentuk padat memiliki berat jenis 1,480 kg/dm<sup>3</sup>, titik leleh 52,8°C dan titik didih 202°C<sup>[20]</sup>. Malaet anhidrida larut dalam aseton, toluene, xilen dan sangat larut dalam dioksan. Berikut merupakan gambar dari struktur kimia malaet anhidrida:



Gambar 2.11. Struktur Malaet Anhidrida<sup>[20]</sup>

### II.3.4. Kopolimerisasi HDPE-g-MA<sup>[20]</sup>

Pada umumnya malaet anhidrida dapat dicangkok pada polietilen, poliisobuten, polivinilklorida dan polistiren dengan menggunakan suatu inisiator sebagai pemicu pembentukan radikal bebas, inisiator yang digunakan dalam penelitian ini adalah dikumil peroksida.



Gambar 2.12. Struktur dikumil peroksida<sup>[20]</sup>

Tahap-tahap mekanisme reaksi proses pencangkokan malaet anhidrida pada polietilen dengan inisiator dikumil peroksida adalah sebagai berikut<sup>[21]</sup>:



saling melarutkan. *Compatibilizer* yang banyak digunakan adalah kopolimer baik tipe blok maupun tipe cangkok. Hal ini dikarenakan pada kedua jenis kopolimer ini terdapat bagian rantai yang tersusun oleh kelompok monomer sejenis. Akibatnya interaksi kelompok monomer ini dengan sekitarnya menjadi lebih konkret.

Dalam pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit ini akan dilakukan pencampuran HDPE dengan organoclay tetapi sifat non-polar dari HDPE akan membuat HDPE memiliki sifat kompatibilitas yang kurang baik dengan organoclay yang bersifat polar. Karena itu dibutuhkan *compatibilizer* berupa HDPE-g-MA. HDPE akan berikatan secara non-polar bersama HDPE dari HDPE-g-MA sedangkan gugus MA (kepolarannya tergantung dengan jumlah *Maleic Anhydride* yang tercangkok) sehingga HDPE-g-MA akan memiliki polaritas yang sesuai dengan organoclay dan dapat masuk diantara galeri organoclay. Selanjutnya, ketika HDPE-g-MA telah menyusup masuk dalam galeri organoclay maka akan terjadi mekanisme *ring opening* pada rantai HDPE-g-MA akibat interaksi dengan OH<sup>-</sup> yang ada baik karena penambahan saat pembuatan organoclay maupun OH<sup>-</sup> yang ada pada struktur oktahedral montmorillonite.

## **II.4. Polimer - Clay Nanokomposit**

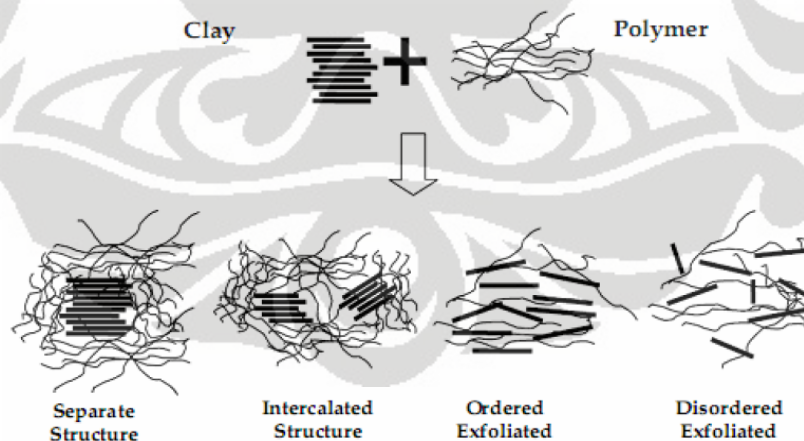
### **II.4.1. Umum**

Polimer-*clay* nanokomposit merupakan material komposit dengan polimer sebagai matriks dan memiliki nano *filler* seperti *silica*, zeolit dan lainnya. Pengembangan teknologi polimer nanokomposit telah lama dikembangkan. Penemuan penting tentang polimer-*clay* nanokomposit adalah penemuan tentang pembuatan material nilon 6/*clay* nanokomposit oleh peneliti dari Honda yakni S Fujiwara dan Sakamoto<sup>[3-4]</sup>. Penelitian mengenai polimer- *clay* nanokomposit semakin luas dilakukan karena peningkatan sifat *thermal* dan mekanik yang signifikan. Berdasarkan penelitian S. Fujiwara didapatkan data peningkatan sifat mekanik dan *thermal* sebagai berikut:

**Tabel 2.3.** Perbandingan sifat mekanik dan *thermal* antara *nylon 6-clay* nanokomposit dengan polimer *nylon 6*<sup>[4]</sup>

Sifat	Nanokomposit		<i>Nylon 6</i>
Tipe <i>filler</i>	<i>clay</i>		-
<i>Filler content (wt%)</i>	4.2	5.0	-
<i>Tensile strength (MPa)</i>	107	61	69
<i>Heat deflection temperature at 18.5 kg/cm<sup>3</sup></i>	145°C	89°C	65°C

Berdasarkan sifat dasar dari konstituen penyusun kompositnya dan metoda preparasinya, struktur yang dihasilkan pada pembuatan polimer-*clay* nanokomposit terbagi menjadi tiga bentuk struktur. Pertama, apabila polimer yang dihasilkan tidak dapat terinterkelasi diantara lembaran silikat dimana kedua fasa saling terpisah, maka sifat yang dihasilkan menyamai sifat dari konvensional komposit. Kedua, apabila struktur interkelasi dihasilkan jika satu atau beberapa polimer dapat masuk diantara lembaran-lembaran silikat menjadi penyangga antar *layer*. Nanokomposit yang dihasilkan mempunyai struktur *multilayer*, yaitu alternasi atau berselang antara lapisan polimer dan lapisan silikat.



**Gambar 2.13.** Dispersi organoclay dalam polimer-*clay* nanokomposit<sup>[16]</sup>

Ketiga, apabila terbentuk struktur eksfoliasi atau delaminasi dimana struktur ini terbentuk jika lapisan silikat seluruhnya terdispersi didalam matriks polimer. Konfigurasi dimana nanokomposit tersebar didalam matriks polimer



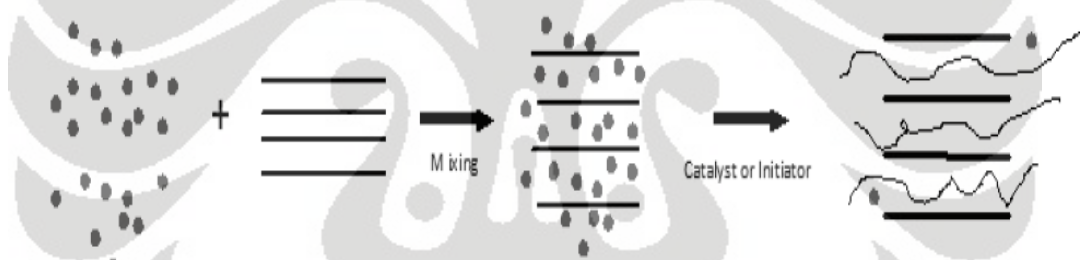
menghasilkan perubahan yang signifikan dalam sifat *barrier*, *heat deflection temperature*, dimensi dan ketahanan api karena terjadi interaksi yang maksimum antara polimer dan *clay*.

#### II.4.2. Metoda Pencampuran Polimer dengan Organoclay

Terdapat tiga metoda yang dapat digunakan dalam pembuatan polimer-*clay* nanokomposit<sup>[3]</sup>.

##### II.4.2.1. In Situ Polimerisasi

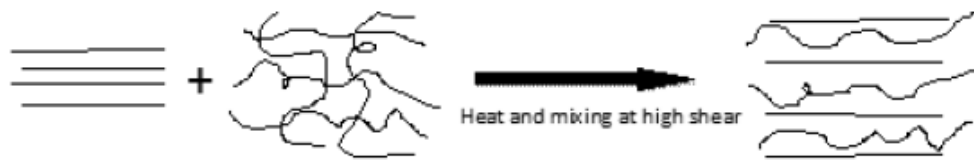
Pada metoda ini, organoclay dilarutkan dalam pelarut monomer dan kemudian monomer akan berpindah ke *gallery* silikat sehingga polimerisasi dapat terjadi diantara lapisan silikat. Reaksi polimerisasi ini dapat terjadi dengan proses pemanasan, radiasi atau menggunakan inisiator.



Gambar 2.14. Skema ilustrasi proses in situ polimerisasi<sup>[23]</sup>

##### II.4.2.2. Melt Compounding

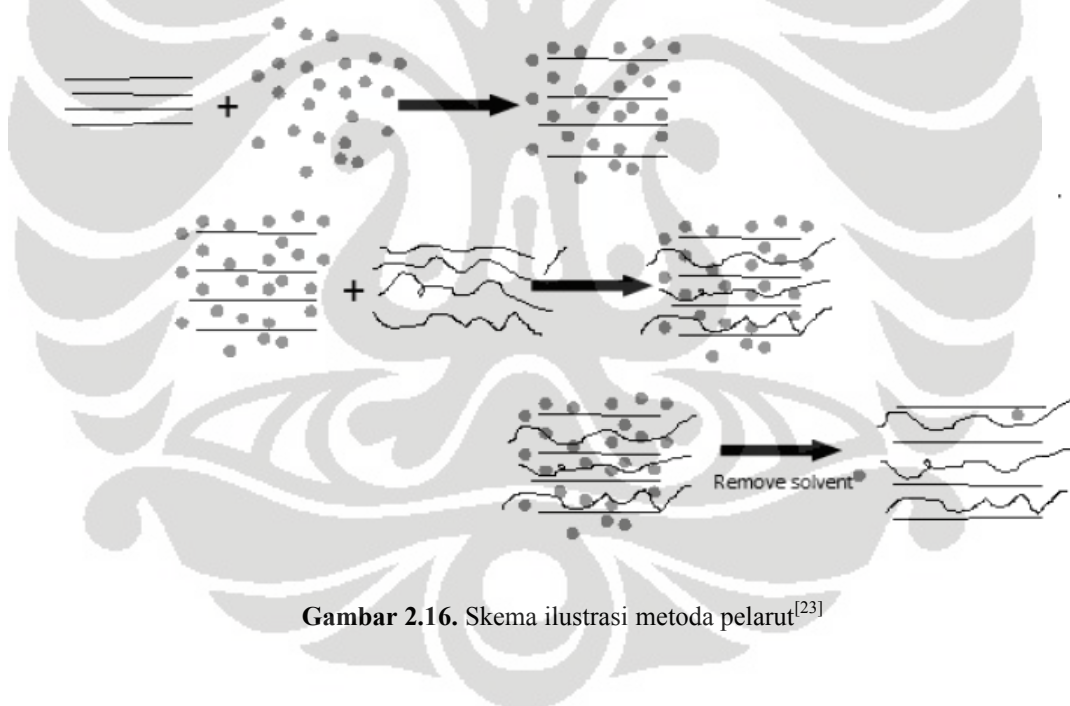
Metoda ini dilakukan pencampuran didalam *twin screw extruder* dimana organoclay dicampurkan kedalam termoplastik polimer dan *compatibilizer* pada kondisi leleh. Sejak ditemukan metoda ini oleh Giannelis, pembuatan polimer-*clay* nanokomposit banyak dikembangkan dengan metoda *melt compounding*. Metoda ini memungkinkan terjadinya pencampuran polimer dan *clay* tanpa penggunaan pelarut. Parameter proses utama pada *twin screw extruder* adalah kecepatan *screw*, temperatur pada *barrel* dan kecepatan umpan.



**Gambar 2.15.** Skema ilustrasi melt compounding<sup>[23]</sup>

### II.4.2.3. Metoda Pelarut

Pada awalnya, organoclay dilarutkan dalam pelarut yang bersifat polar. Selanjutnya polimer yang telah dilarutkan ditambahkan ke dalam organoclay sehingga polimer dapat terinterkalasi diantara lapisan silikat. Tahap akhir dari metoda ini adalah menghilangkan pelarutnya dengan penguapan sehingga diperoleh hasil polimerisasi antara polimer dengan organoclay.



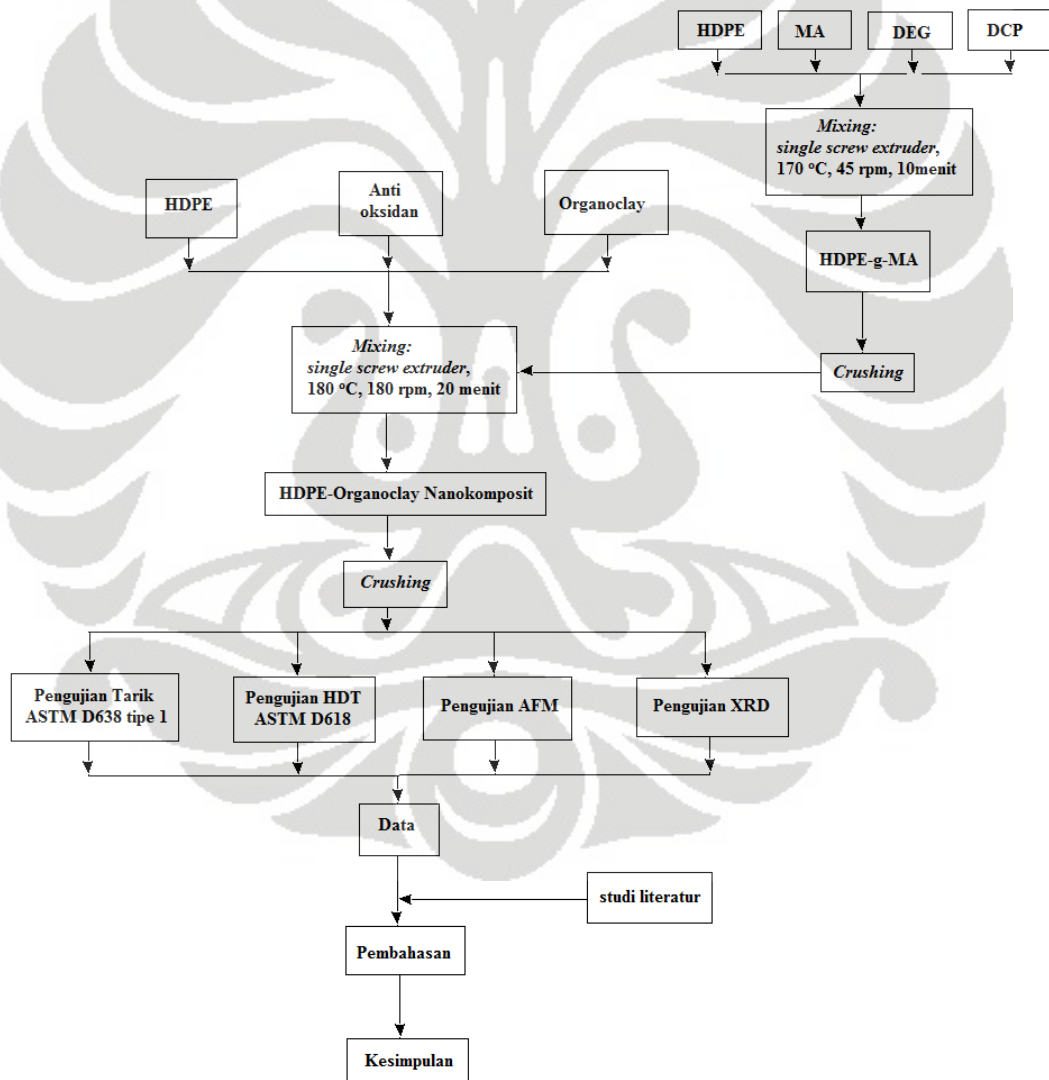
**Gambar 2.16.** Skema ilustrasi metoda pelarut<sup>[23]</sup>

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### III.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir yang menggambarkan secara umum, kegiatan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui penambahan massa organoclay terhadap peningkatan sifat mekanik dan *thermal* pada *high density polyethylene*- organoclay nanokomposit:







Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

## III.2. Alat dan Bahan

### III.2.1. Alat




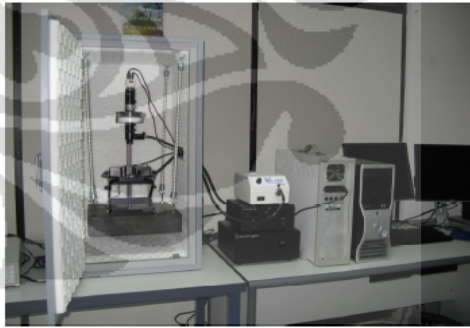
Berikut merupakan alat yang digunakan dalam pembuatan HDPE–organoclay nanokomposit:

Tabel 3.1. Spesifikasi alat

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
Rheomix HAAKE PolyDrive	<i>single screw extruder</i> , kapasitas: 50 cm <sup>3</sup> , temperatur maksimum 200°C dan kecepatan putar maksimum 50 rpm.	
Rheomix HAAKE 3000	<i>single screw extruder</i> , kapasitas maksimum 379 gr, waktu pencampuran maksimum 20 menit.	
<i>Injection molding machine</i>	Battenfeld tipe BA 400 CDC	
<i>Crusher</i>	Tatung tipe KF-808-B	

Alat yang digunakan untuk karakterisasi sampel HDPE-organoclay nanokomposit adalah sebagai berikut:






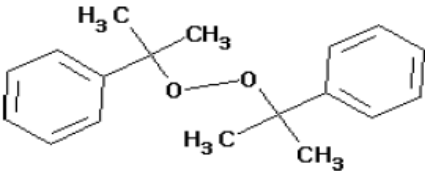
**Tabel 3.2.** Spesifikasi alat untuk karakterisasi sampel

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
Universal Testing Machine (UTM)	Shimadzu AGS-10KNG	
<i>Heat Deflection Temperature (HDT)</i>	Frank Prüfgeräte GmbH	
XRD	Shimadzu XRD 7000	
AFM		

### III.2.2. Bahan




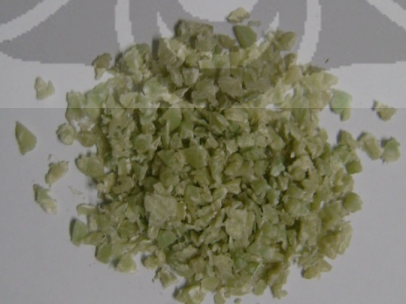
Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit ini dibagi menjadi dua yakni bahan untuk pembuatan *compatibilizer* HDPE-g-MA dan bahan pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit.

Tabel 3.3. Bahan pembuatan *compatibilizer* HDPE-g-MA

Bahan	Gambar	Keterangan
<i>High density polyethylene</i>		<p>HDPE tipe HD5301AA dengan <i>melting point</i> 130°C, <i>density</i> 946 kg/m<sup>3</sup>. HDPE ini disuplai dari PT TITAN Petrokimia Nusantara</p>
Di Etilen Glikol (DEG)		<p>titik leleh -10°C, titik didih 244 – 245°C</p>
Maleic Anhydride (MA)		<p>Larut dalam aseton, terhidrolisis dalam air, titik leleh 52 – 53°C serta terdekomposisi pada 202°C;</p> <p>struktur kimia:</p> 
Di Cumyl Peroxide (DCP)		<p>Titik leleh 37-40°C; densitas 520kg/m<sup>3</sup>; titik didih=70°C;</p> <p>struktur kimia:</p> 

Berikut merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan HDPE- organoclay nanokomposit.

**Tabel 3.4.** Bahan pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit

Bahan	Gambar	Keterangan
<i>High density polyethylene</i>		<p>HDPE tipe HD5301AA dengan <i>melting point</i> 130°C, <i>density</i> 946 kg/m<sup>3</sup>. HDPE ini disuplai dari PT TITAN Petrokimia Nusantara</p>
Organoclay		<p><i>Nanoclay/organoclay</i> merek NANOMER-I.44PT®, dari NANOCOR Amerika</p>
Antioksidan		<p>Antioksi dan Irgafos 168 dan Irganox 1076</p>
<i>Compatibilizer HDPE-g-MA</i>		<p>Pada penelitian ini <i>compatibilizer</i> HDPE-g-MA yang dipakai dihasilkan dari buatan sendiri dan berfungsi sebagai <i>interfacial agent</i> dalam campuran polimer</p>

### III.3. Prosedur Penelitian

#### III.3.1. Pembuatan HDPE-g-MA

Pembuatan compatibilizer HDPE-g-MA dilakukan dengan pencampuran panas (*hot blending*) menggunakan mesin pencampur *single screw extruder* Rheomix HAAKE PolyDrive. Pembuatan HDPE-g-MA mengacu pada penelitian pendahuluan yang dilakukan di Sentra Teknologi Polimer<sup>[17]</sup>.

HDPE, Di Etil Glikol (DEG), Maleic Anhydride (MA) dan Di Cumyl Peroxide (DCP) dicampurkan dengan komposisi seperti terlihat pada tabel 3.5. Proses pembuatan *compatibilizer* PE-g-Ma dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap pertama memasukkan campuran HDPE dan DEG ke dalam *chamber* mesin rheomix yang kondisi operasinya telah disiapkan dan diatur terlebih dahulu. Persiapan ini termasuk *pre-heating* dan menyalakan rotor sebelum zat dimasukkan. Tahap kedua, setelah 3 menit tambahkan campuran MA dan DCP ke dalam *chamber* mesin *rheomix*, kemudian memulai kembali waktu pencampuran setelah seluruh zat masuk ke dalam mesin. Waktu dihitung selama 7 menit, sehingga total lamanya pencampuran adalah 10 menit. Proses ini merupakan proses diskontinyu, hasil yang didapat kemudian di *crusher* sehingga berbentuk potongan-potongan kecil.

Tabel 3.5. Komposisi HDPE-g-MA<sup>[20]</sup>

Bahan	Komposisi
HDPE	40 gr
Di Etil Glikol (DEG)	1,4 ml
Maleic Anhydride (MA)	2 gr
Di Cumyl Peroxide (DCP)	0,14 gr

Tabel 3.6. Kondisi operasional rheomix HDPE-g-MA<sup>[20]</sup>

Parameter	Kondisi
Temperatur	170 °C
Kecepatan <i>screw</i>	45 rpm
Waktu proses	10 menit



### III.3.2. Pembuatan HDPE- Organoclay Nanokomposit

Pembuatan nanokomposit dilakukan dengan pencampuran panas (*hot blending*) menggunakan mesin pencampur *single screw extruder* Rheomix HAAKE 3000. HDPE, organoclay, HDPE-g-MA dan antioksidan dengan komposisi seperti pada Tabel 3.7. dicampur didalam *beaker glass* dan kemudian dimasukkan melalui *hopper* bagian *feeder* peralatan *single screw extruder* kemudian di ekstrusi dengan variabel proses seperti pada tabel 3.8.

Tabel 3.7. Komposisi HDPE-organoclay nanokomposit dengan *compatibilizer* HDPE-g-MA

Kode Sampel	HDPE (% massa)	HDPE-g-MA (% massa)	Organoclay (% massa)	Antioksidan (% massa)
HDPE-2.5%	92,5	5	2,5	1
HDPE-5%	89	5	5	1
HDPE-7.5%	86,5	5	7,5	1

Tabel 3.8. Kondisi proses *hot blending*

Parameter	Kondisi
Temperatur	150 – 180 °C
Deviasi	o
Waktu proses	20 menit
Kecepatan putar <i>screw</i>	180 rpm

### III.3.3. Pengujian *Tensile*

Pengujian *tensile* dilakukan pada ketiga sampel HDPE-organoclay nanokomposit. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material diantaranya *tensile strength* (kuat tarik) dan *modulus elasticity* (modulus kekakuan). Nanokomposit yang sempurna dalam proses pendispersian

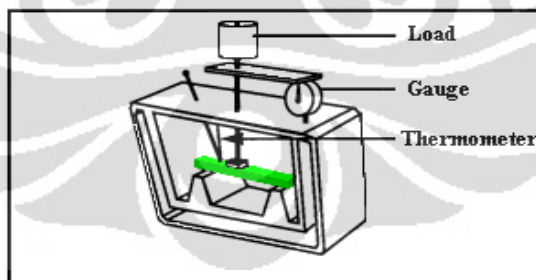
nanopartikelnya tentunya memiliki nilai kuat tarik dan modulus kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material induknya.

Pengujian kuat tarik yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM D638-2003 (tipe 1). Ukuran specimen memiliki ketebalan sekitar 3 mm sesuai petunjuk ASTM D638-2003 (tipe 1), dimana sampel yang berupa *pellet* hasil fabrikasi dibentuk spesimen uji (sampel uji) menggunakan peralatan *injection molding*. Sebelum diuji kuat tarik, sampel uji terlebih dahulu dikondisikan pada temperatur 23°C dengan kelembaban 50% selama 24jam.

Pengujian kuat tarik dilakukan pada kondisi temperatur ruang dengan kecepatan tarik ditetapkan pada 50 mm/menit, nilai kuat tarik tercatat dalam sistem computer yang dilengkapi grafik. Alat yang digunakan adalah mesin UTM Shimadzu AGS-10KNG.

#### III.3.4. Pengujian *Heat Deflection Temperature* (HDT)

Pengujian HDT (*Heat Deflection Temperature*) dilakukan berdasarkan standar ASTM D648. *Heat deflection temperature* merupakan temperatur dimana material mulai mengalami perubahan bentuk akibat pengaruh beban tekuk (0,45 MPa) dan temperatur tinggi. Umumnya, HDT digunakan sebagai batasan aplikasi dari suatu produk plastik. Pada dasarnya semakin tinggi HDT maka material akan semakin tahan terhadap temperatur tinggi.



Gambar 3.2. Pengujian HDT

Preparasi sampel dilakukan dengan menggunakan mesin *injection molding* dan sampel berukuran 100 x 10 x 4 mm. Sampel dilakukan pengkondisian pada temperatur 23°C dan kelembaban 50% selama sekitar 40 jam. Pengujian dilakukan seperti pada Gambar 3.2 dimana sampel diletakkan pada *holder* kemudian

diberikan beban tetap dan kemudian dimasukkan kedalam *chamber* yang berisi media *silicon oil* yang dipanaskan. Kecepatan pemanasan pada *silicon oil* adalah  $120^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  dan dilengkapi dengan pengaduk.

### III.3.5. Karakterisasi *Wide Angle X-ray Diffraction* (WAXD)

Prinsip dasar XRD adalah mendeteksi difraksi cahaya yang melewati suatu celah kristal. WAXD merupakan pengujian XRD yang menggunakan sudut kecil yakni  $1^{\circ} < 2\theta < 10^{\circ}$ . WAXD sangat berguna untuk mengidentifikasi struktur interkelasi tetapi struktur eksfoliasi tidak dapat terdeteksi oleh pengujian WAXD. Preparasi sampel dilakukan dengan menggunakan *injection molding*. Pengujian yang dihasilkan untuk melihat ada atau tidaknya interkelasi atau eksfoliasi pada komposit yang dibuat dengan melihat perubahan pada sudut  $2\theta$ . Pengujian dilakukan menggunakan radiasi Cu K $\alpha$  dengan *rate* 0,5 $^{\circ}$ /menit dan  $2\alpha$  : (1-10) $^{\circ}$ . Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan mesin XRD Shimadzu 7000.

Pengujian XRD dilakukan pada organoclay dan ketiga sampel nanokomposit (HDPE-2,5%; HDPE-5%; HDPE-7,5%) untuk mengetahui *d-spacing* dengan menggunakan perhitungan matematis berdasarkan pada hukum Bragg yakni:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

$n$  = *wave number*;

$2\theta$  = 1 – 10 $^{\circ}$ ;

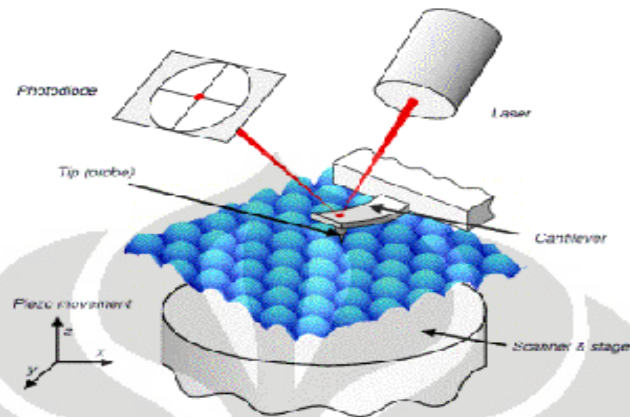
$d$  = *d spacing*;

$\lambda$  = panjang gelombang (Cu K $\alpha$ =1.542  $\square$ )

### III.3.6. Karakterisasi AFM

Pada analisa struktur ini digunakan AFM teknik SPM (*Scanning Probe Microscope*). Analisa struktur mikro ini bertujuan untuk mengukur partikel melalui morfologi permukaan dengan bantuan *tip cantilever*. Pengukuran

dikalibrasi dengan partikel nano tembaga. Syarat dari pengukuran menggunakan metoda SPM ini adalah permukaan dari sampel harus bersih dan halus. Prinsip kerja SPM dapat diilustrasikan pada Gambar 3.3 berikut:



**Gambar 3.3.** Prinsip kerja SPM<sup>[23]</sup>

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Analisa HDPE-g-MA

Pembuatan *compatibilizer* HDPE-g-MA dilakukan menggunakan *single screw extruder* seperti yang telah dijelaskan pada bab III.3.1. Setelah proses pencampuran didapatkan hasil seperti pada gambar 4.1.a, pada gambar terlihat bahwa warna HDPE-g-MA yang dihasilkan adalah sedikit kehijauan. Secara fisik bentuk HDPE-g-MA berbentuk bongkahan dan selanjutnya dilakukan *crushing* untuk didapatkan bentuk yang lebih kecil seperti pada gambar 4.1.b.



**Gambar 4.1.** *Compatibilizer* HDPE-g-MA hasil *hot blending* dengan *single twin screw extruder*:  
(a) sebelum *crushing* dan (b) setelah *crushing*

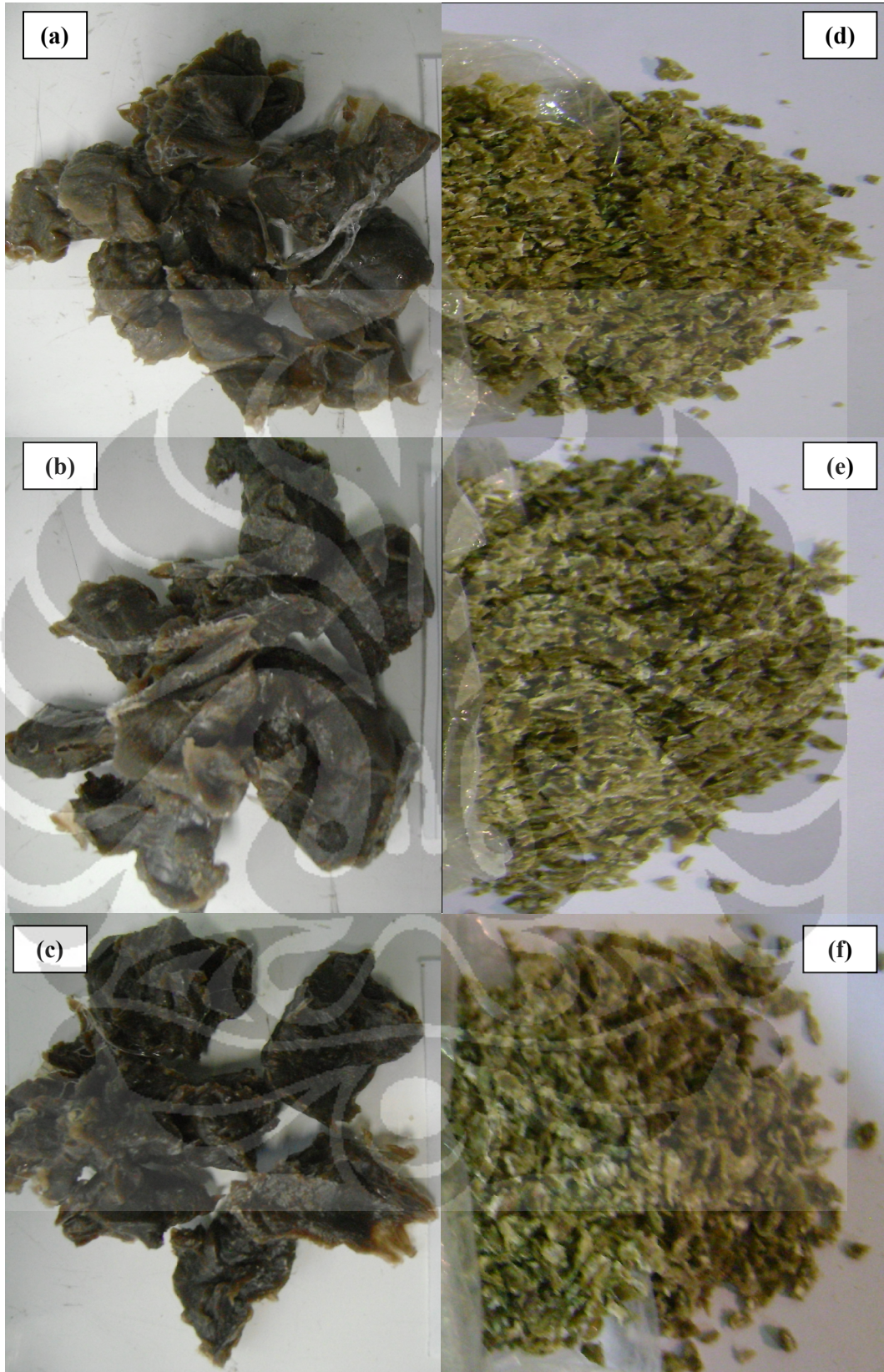
Hasil *crushing* dari HDPE-g-MA digunakan sebagai *compatibilizer* pada nanokomposit. Pembuatan *compatibilizer* HDPE-organoclay nanokomposit ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat dispersi lapisan silikat pada matriks HDPE.

## IV.2. Analisa HDPE - Organoclay Nanokomposit

Proses pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit dilakukan berdasarkan prosedur yang telah dijelaskan pada Bab III.3.2. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa warna dari nanokomposit mengalami perubahan dari warna matrik HDPE yang berwarna putih menjadi berwarna coklat gelap. Perubahan warna nanokomposit ini dapat disebabkan oleh penambahan konsentrasi organoclay, tetapi jika diperhatikan berdasarkan warna pada tiap-tiap sampel, penambahan konsentrasi organoclay yang semakin banyak tidak memberikan perbedaan warna pada masing-masing sampel.

Berdasarkan penelitian Pandu Lanang Kinasih<sup>[18]</sup> tentang PP-*clay* nanokomposit menggunakan *single screw extruder* diketahui bahwa semakin lama waktu proses *hot blending* pembuatan nanokomposit maka warna nanokomposit yang dihasilkan akan semakin coklat gelap. Penelitian Adimas Dwi Anggoro<sup>[22]</sup> tentang pengaruh kecepatan *screw* pada mesin *single screw extruder* terhadap HDPE-organoclay nanokomposit diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan putar *screw* maka nanokomposit yang dihasilkan akan berwarna semakin gelap. Berdasarkan penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa peningkatan waktu proses dan kecepatan *screw* mempengaruhi warna dari nanokomposit yang dihasilkan. Pada penelitian ini, waktu proses yang digunakan adalah 20 menit dengan kecepatan putar *screw* pada mesin *single screw extruder* adalah 180rpm. Hal ini menyebabkan HDPE-organoclay nanokomposit pada penelitian ini memiliki warna coklat gelap.

HDPE-organoclay nanokomposit yang dihasilkan dengan proses *hot blending* menggunakan *single screw extruder* berbentuk seperti bongkahan yang kemudian dilakukan *crushing* untuk mendapatkan bentuk nanokomposit yang lebih kecil. Proses *hot blending* HDPE-organoclay nanokomposit dilakukan di PT PERTAMINA Pulo Gadung.

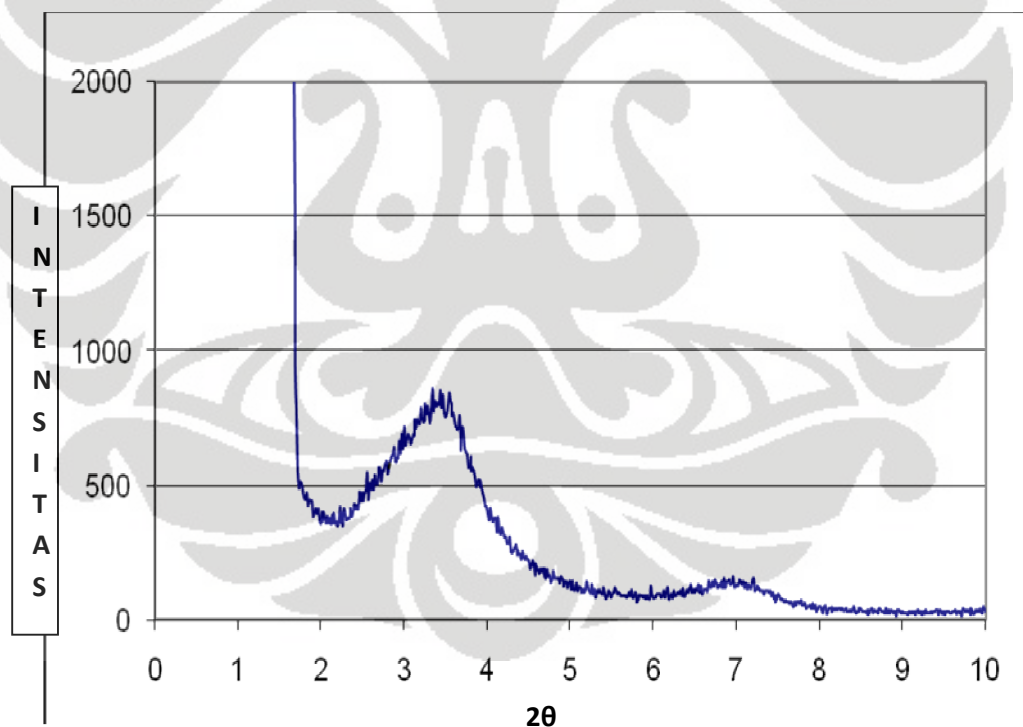


**Gambar 4.2.** HDPE-organoclay nanokomposit, sebelum *crushing*: (a) HDPE-2.5%; (b) HDPE-5%;(c)HDPE-7.5%, setelah *crushing*: (d) HDPE-2.5%; (e) HDPE-5%; (f)HDPE-7.5%

### IV.3. Analisa Pendispersian Lapisan Silikat pada Matriks HDPE

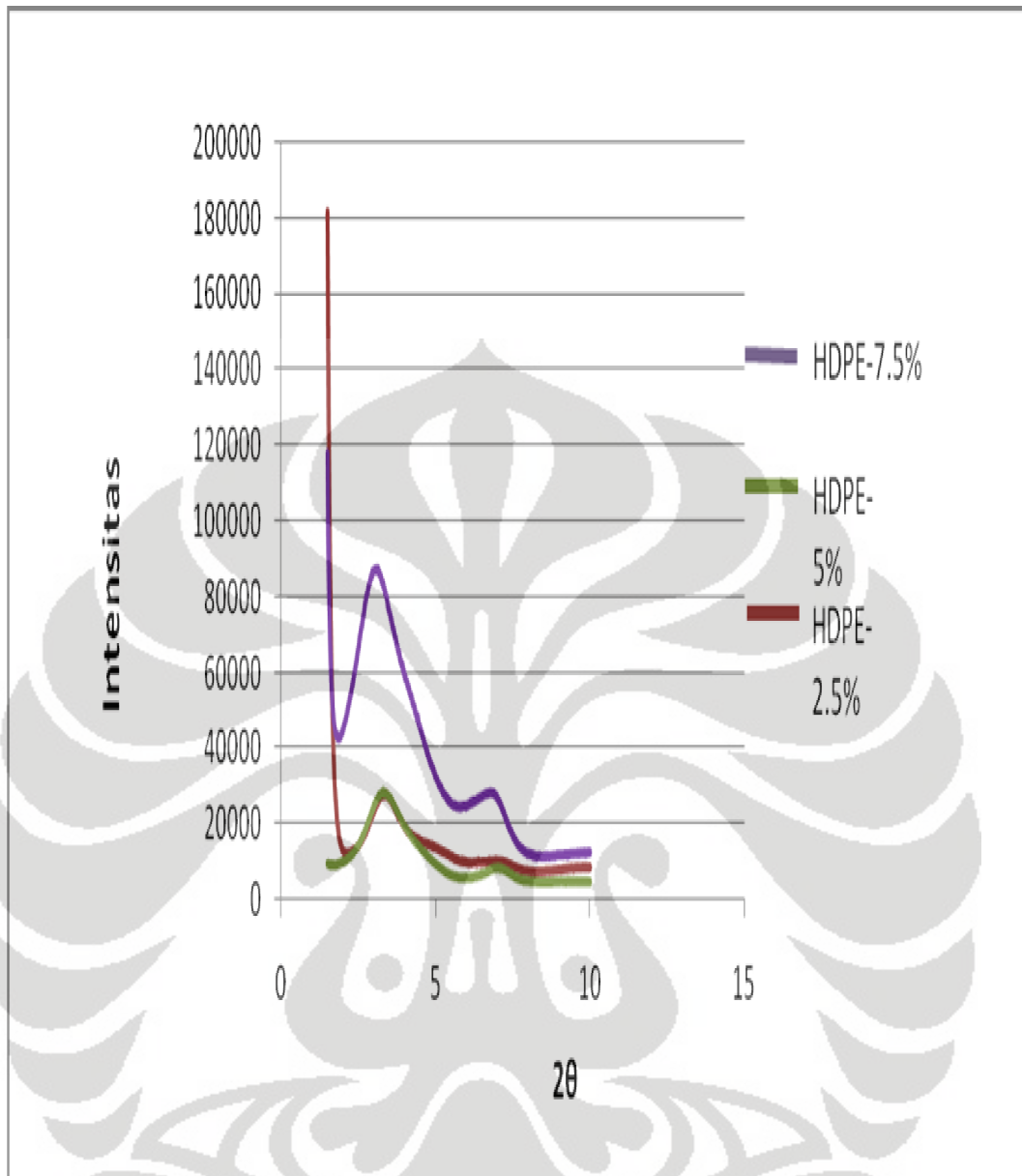
Pengujian XRD yang dilakukan merupakan jenis WAXD (*Wide Angle X-ray Diffraction*) yakni pengujian XRD dengan rentang  $0^\circ < 2\theta < 10^\circ$ . Pengujian WAXD ini dilakukan untuk mengetahui morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dengan mengetahui nilai *d-spacing* antar lapisan silikat pada matriks HDPE. Nilai *d-spacing* yang didapat dari pengujian WAXD dapat digunakan untuk mengetahui morfologi nanokomposit yakni *immiscible*, interkelasi atau eksfoliasi. Analisa pendispersian lapisan silikat ini selain dengan mengetahui nilai *d-spacing* juga dilakukan pengamatan morfologi permukaan nanokomposit dengan menggunakan pengujian AFM.

Hasil pengujian WAXD pada sampel organoclay dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sedangkan untuk hasil pengujian WAXD pada sampel nanokomposit dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.3.** Grafik pengujian XRD pada organoclay





**Gambar 4.4.** Grafik perbandingan hasil pengujian XRD pada organoclay dan sampel nanokomposit

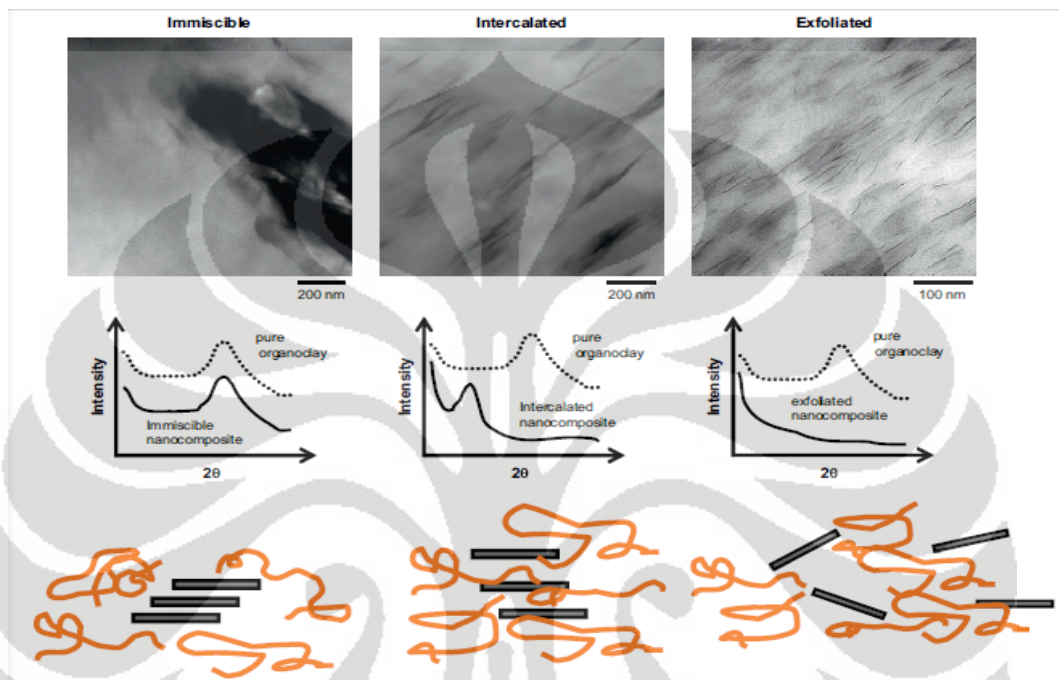
Berdasarkan perhitungan matematis dengan menggunakan hukum Bragg maka dari pengujian XRD akan didapatkan nilai  $d$ -spacing. Berdasarkan hasil pengujian XRD pada Gambar 4.3 - 4.4 didapatkan nilai  $d$ -spacing sebagai berikut:

**Tabel 4.1.** Nilai *d-spacing* pada sampel organoclay dan HDPE-organoclay nanokomposit

Kode Sampel	$2\theta$	<i>d-spacing</i> ( $\square$ )	<i>d-spacing</i> (nm)
Organoclay	3.5	25.2	2.52
HDPE-2.5%			
<i>Peak 1</i>	3.3705	26.1927	2.61927
<i>Peak 2</i>	7.0582	12.51392	1.251392
<i>Peak 3</i>	5.1400	17.17889	1.717889
HDPE-5%			
<i>Peak 1</i>	3.4304	25.735	2.5735
<i>Peak 2</i>	7.0194	12.583	1.2583
HDPE-7.5%			
<i>Peak 1</i>	3.2437	27.216	2.7216
<i>Peak 2</i>	6.7903	13.007	1.3007

Berdasarkan penelitian Joseph<sup>[23]</sup>, morfologi pada nanokomposit dibedakan menjadi tiga yakni *immiscible*, interkelasi dan eksfoliasi. Pada kasus morfologi *immiscible*, lapisan silikat pada matriks polimer membentuk agregat atau dengan kata lain tidak terjadi interkelasi (masuknya rantai polimer pada lapisan silikat). Hasil pengujian XRD pada nanokomposit dengan morfologi *immiscible* memiliki persamaan dengan hasil pengujian XRD organoclay-nya, tidak terjadi pergeseran nilai *d-spacing*. Pada kasus organoclay yang tereksfoliasi dengan baik pada matriks polimernya, hasil pengujian *wide angle* XRD tidak memperlihatkan adanya *peak* karena tidak terjadi jarak lapisan silikat yang regular dan antar lapisan silikat lebih besar daripada *wide angle* XRD *scattering* yang dapat dideteksi. Hasil pengujian XRD dapat juga memperlihatkan adanya pergeseran *peak* ke arah  $2\theta$  yang lebih rendah atau dengan kata lain bergeser ke arah nilai *d-spacing* yang lebih besar. Adanya *peak* menunjukkan bahwa tidak terjadi struktur eksfoliasi pada organoclay. Pergeseran *peak* ke arah  $2\theta$  yang lebih

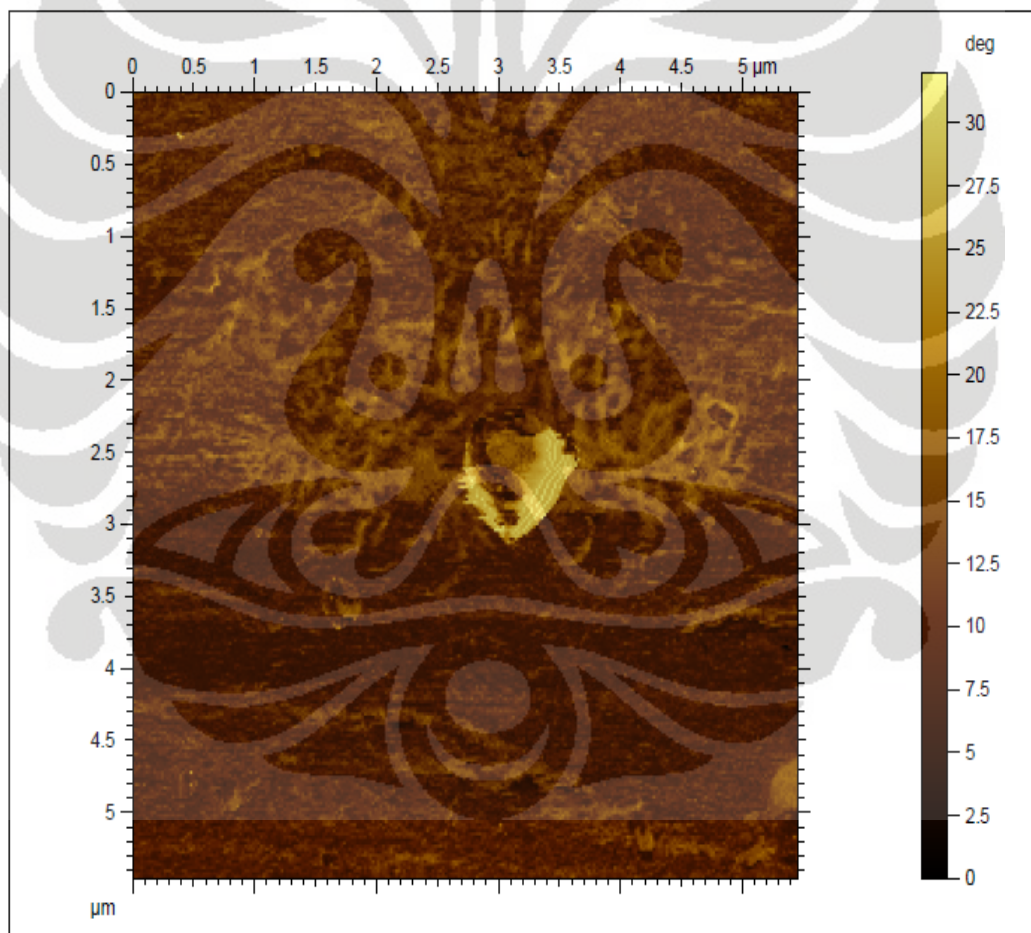
kecil mengindikasikan bahwa galeri/lapisan silikat pada organoclay mengalami ekspansi, hal ini biasa diasumsikan bahwa rantai polimer telah masuk ke dalam lapisan silikat atau terinterkalasi. Ilustrasi pendispersian organoclay dan hubungannya dengan hasil pengujian XRD dan TEM dapat dilihat pada Gambar 4.5. berikut ini.



**Gambar 4.5.** Ilustrasi pendispersian organoclay pada matriks polimer serta hubungannya dengan hasil pengujian XRD dan TEM<sup>[23]</sup>

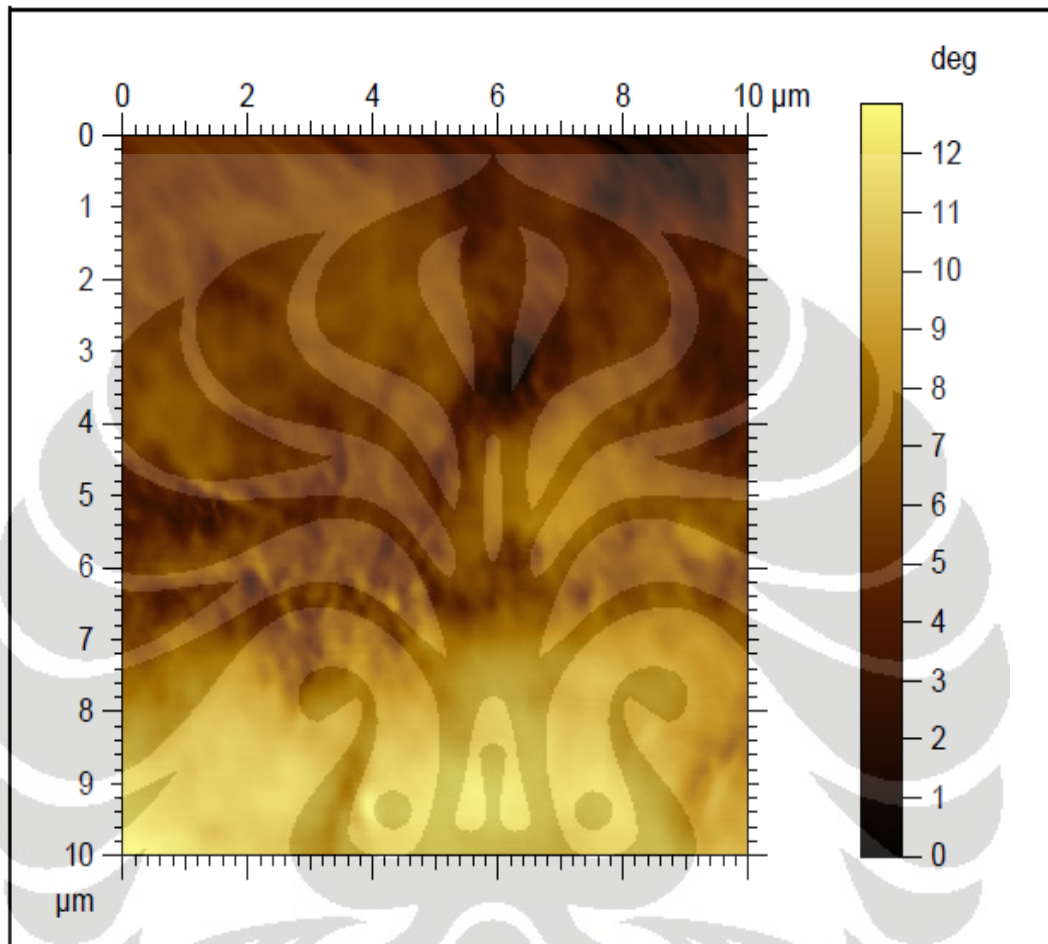
Berdasarkan hasil pengujian XRD pada Gambar 4.3-4.4. terlihat pada sampel HDPE-2.5%; HDPE-5% dan HDPE-7.5% jika dibandingkan dengan sampel organoclay terlihat terdapat pergeseran *peak* pertama ke arah  $2\theta$  yang lebih rendah. Berdasarkan Joseph <sup>[23]</sup>, hal ini mengindikasikan bahwa telah terdapat rantai polimer yang masuk ke lapisan silikat pada organoclay atau disebut dengan terinterkalasi. Pada sampel HDPE-2.5%; HDPE-5% dan HDPE-7.5% tidak terjadi struktur eksfoliasi, hal ini dapat terlihat dari hasil pengujian XRD yang memperlihatkan adanya *peak*. Analisa XRD diatas kemudian dilakukan perbandingan dengan hasil pengujian AFM untuk melihat morfologi pendispersian lapisan silikat pada permukaan nanokomposit.

Pada sampel HDPE-2.5% dari hasil pengujian XRD terlihat memiliki nilai *d-spacing* yang lebih kecil daripada *d-spacing* organoclay. Jika dilihat pada morfologi permukaan nanokomposit terlihat pada Gambar 4.6. tidak terlalu jelas menggambarkan pendispersian lapisan silikat. Berdasarkan perbedaan warna yang ada, semakin terang warnanya maka tingkat kekerasan materialnya semakin tinggi. Organoclay memiliki kekerasan yang lebih besar daripada matriks HDPE maka dapat warna putih pada Gambar 4.6 dapat disimpulkan sebagai organoclay. Hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-2.5% pada Gambar 4.6 terjadi persebaran organoclay yang tidak merata, tetapi tidak dapat dilihat pendispersian antara lapisan silikatnya. Jika dilihat dari hasil pengujian XRD pada Tabel 4.1. kemungkinan pendispersian lapisan silikat telah terjadi interkelasi.



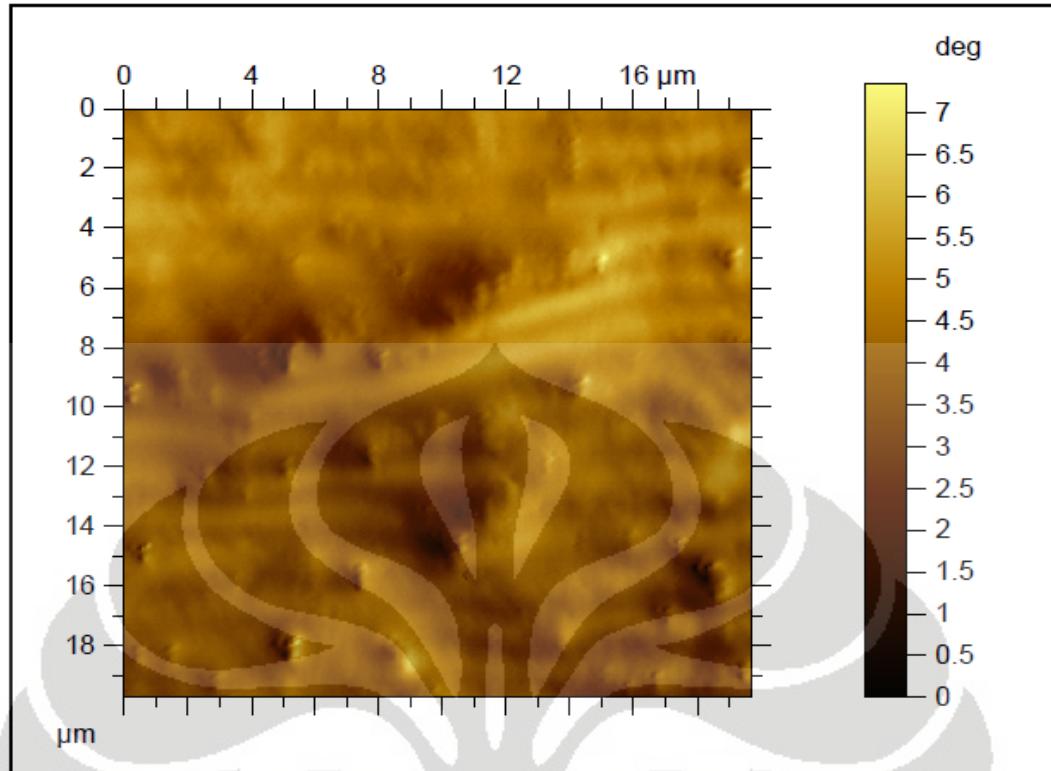
**Gambar 4.6.** Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-2.5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay

Pada hasil pengujian AFM untuk sampel HDPE-5% pada Gambar 4.7. terlihat bahwa pendispersian organoclay lebih merata daripada sampel HDPE-2.5% tetapi tidak dapat dilihat pendispersian antara lapisan silikatnya.



**Gambar 4.7.** Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay

Pada hasil pengujian AFM untuk sampel HDPE-7.5% pada Gambar 4.8. terlihat bahwa pendispersian organoclay lebih merata daripada sampel HDPE-2.5% dan sampel HDPE-7.5% tetapi tidak dapat dilihat pendispersian antara lapisan silikatnya. Pada Gambar 4.8 terlihat adanya garis-garis berwarna putih, tetapi garis tersebut belum dapat disimpulkan sebagai satu lapisan silikat karena organoclay yang digunakan memiliki ukuran nanometer sedangkan pada Gambar 4.8 terlihat bahwa satu garis memiliki dimensi mikrometer.



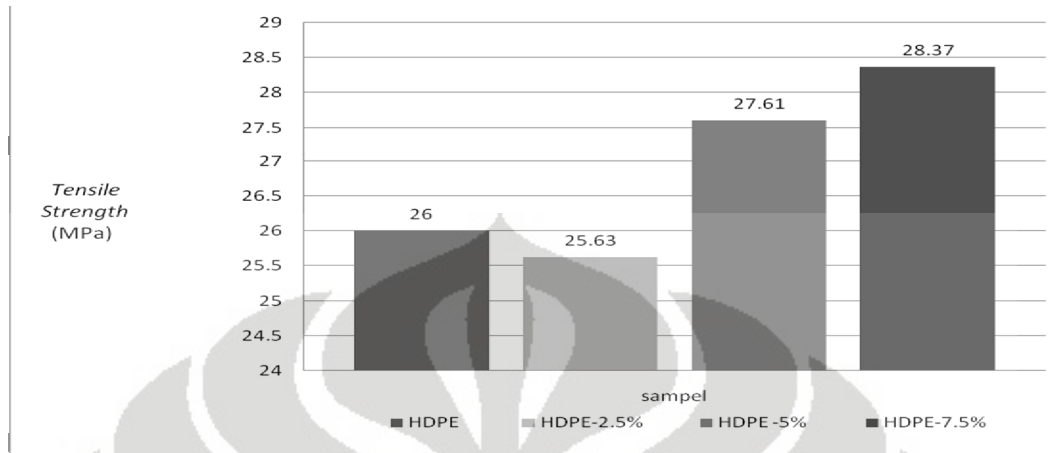
**Gambar 4.8.** Morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks HDPE dari hasil pengujian AFM pada sampel HDPE-7.5%. Persebaran warna putih memperlihatkan persebaran organoclay

Berdasarkan hasil pengujian XRD maka dapat disimpulkan ketiga sampel nanokomposit memiliki pendispersian interkelasi pada pendispersian lapisan silikatnya. Berdasarkan pengujian AFM dapat diketahui pendispersian organoclaynya dimana terjadi peningkatan persebaran organoclay dengan semakin tinggi konsentrasi organoclay, tetapi tidak dapat dilihat pendispersian antara lapisan silikatnya.

#### **IV.4. Pengaruh Konsentrasi Organoclay terhadap Sifat Mekanik pada HDPE-Organoclay Nanokomposit**

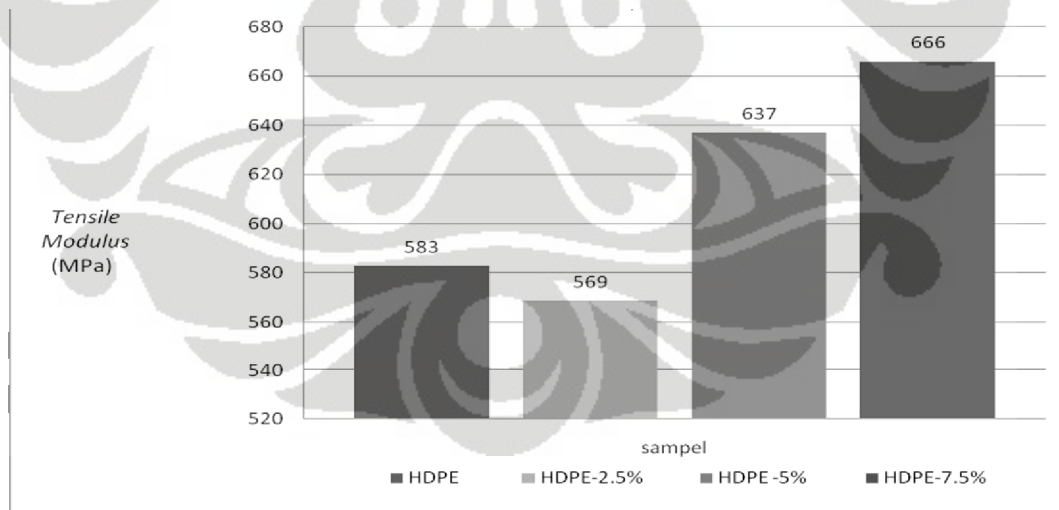
Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM 638 dan preparasi sampel dilakukan dengan menggunakan mesin *injection molding*. Berdasarkan hasil pengujian tarik pada Gambar 4.6., penambahan konsentrasi organoclay meningkatkan nilai *tensile strength*. Material HDPE memiliki *tensile strength* sebesar 26 MPa, penambahan organoclay 2,5 % dari massa nanokomposit tidak memberikan peningkatan nilai *tensile strength* tetapi

penambahan organoclay sebesar 5% dan 7,5% dari massa nanokomposit memberikan peningkatan nilai *tensile strength*.



**Gambar 4.9.** Grafik pengujian tarik. Peningkatan nilai *tensile strength* seiring dengan peningkatan konsentrasi organoclay

Sedangkan berdasarkan hasil pengujian tarik pada Gambar 4.7, penambahan organoclay juga meningkatkan nilai *tensile modulus*, kecuali pada penambahan organoclay 2,5% dari massa nanokomposit tidak memberikan peningkatan pada nilai *tensile modulus*.



**Gambar 4.10.** Grafik pengujian tarik. Peningkatan nilai *modulus elasticity* seiring dengan peningkatan konsentrasi organoclay

Fenomena peningkatan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* pada HDPE-organoclay nanokomposit memperlihatkan trend yang sama yakni

mengalami penurunan pada penambahan organoclay 2.5wt% dan peningkatan pada penambahan organoclay 5% dan 7,5% dari massa nanokomposit. Tetapi peningkatan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* tidak mengalami peningkatan yang besar.

Peningkatan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* pada HDPE-organoclay nanokomposit dapat disebabkan oleh transfer *stress* yang efektif dari matrik polimer ke *filler* organoclay. Interaksi atau adhesi yang kuat antarmuka (*interface*) antara HDPE dan organoclay memberikan peningkatan pada nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* serta mengurangi adanya *stress* konsentrasi<sup>[23]</sup>. Penambahan gugus MA yang terdapat dalam *compatibilizer* HDPE-g-MA meningkatkan ikatan antara matriks HDPE dengan lapisan silikat pada organoclay, hal ini berdampak terhadap semakin baiknya transfer *stress* antara matriks dengan *filler*. Tetapi berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.6-4.7, terlihat bahwa peningkatan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* tidak terlalu signifikan sedangkan berdasarkan pengujian XRD diindikasikan bahwa ketiga struktur sampel memiliki struktur interkalasi, hal ini dapat disebabkan oleh HDPE-g-MA yang belum optimal sebagai *compatibilizer*. Hasil pengujian AFM juga memperlihatkan persebaran organoclay yang tidak merata pada sampel HDPE-2.5%, hal ini dapat menjadi penyebab penurunan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* pada sampel HDPE-2.5%.

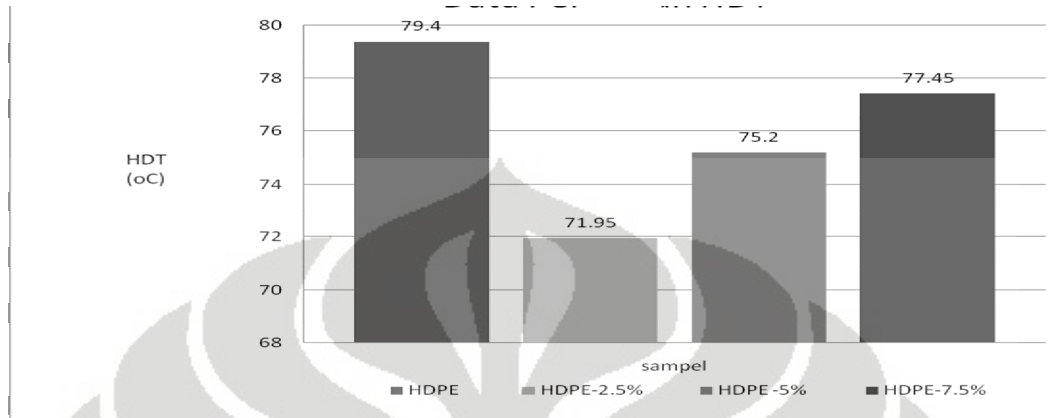
#### **IV.5. Pengaruh Konsentrasi Organoclay terhadap Nilai HDT pada HDPE-Organoclay Nanokomposit**

Pengujian HDT (*Heat Deflection Temperature*) dilakukan berdasarkan standar ASTM D648. *Heat deflection temperature* merupakan temperatur dimana material mulai mengalami perubahan bentuk akibat pengaruh beban tekuk (0,45 MPa) dan temperatur tinggi.

Berdasarkan pengujian HDT pada Gambar 4.8, semakin tinggi konsentrasi organoclay maka nilai HDT semakin meningkat pada HDPE-organoclay nanokomposit. Tetapi nilai HDT untuk HDPE murni ternyata lebih tinggi daripada nilai HDT pada HDPE-organoclay nanokomposit. Berdasarkan



pengujian XRD untuk HDPE-organoclay nanokomposit tersebut memiliki struktur interkalasi yang artinya HDPE-organoclay nanokomposit berpeluang memiliki nilai HDT yang lebih tinggi dari HDT pada HDPE murninya.



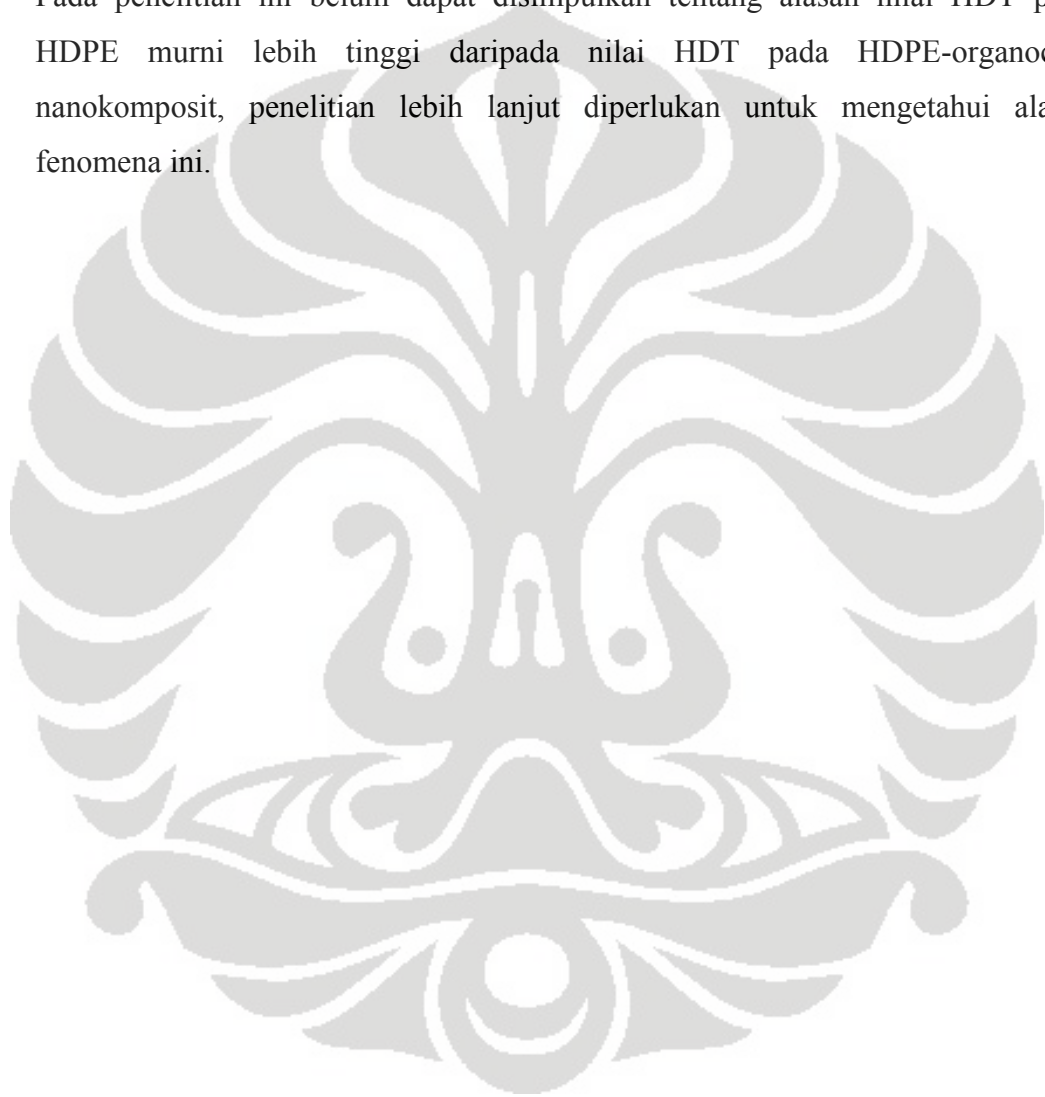
**Gambar 4.11.** Grafik pengujian HDT. Penambahan konsentrasi organoclay meningkatkan nilai HDT

Berdasarkan penelitian Joseph <sup>[23]</sup> menyebutkan bahwa pada penelitian Y. Ke dkk <sup>[25]</sup> diketahui penambahan 5% massa organoclay pada matriks *poly(ethylene terephthalate)* (PET) menyebabkan peningkatan nilai HDT sebesar 40°C. Peningkatan nilai HDT yang dramatis ini disebabkan oleh rantai polimer yang terperangkap diantara lapisan silikat sehingga mengurangi kemampuan rantai polimer untuk bergerak bebas. Y. Ke dkk mengklaim bahwa peningkatan nilai HDT pada penelitian mereka disebabkan oleh pengurangan mobilitas dari rantai polimer.

Berdasarkan penelitian Joseph <sup>[23]</sup> menyebutkan bahwa pada penelitian Wang dkk <sup>[26]</sup> diketahui penambahan 1% massa organoclay meningkatkan nilai HDT sebesar 35°C dan penambahan 5% massa organoclay meningkatkan nilai HDT sebesar 49°C. Wang dkk memberi kesimpulan bahwa peningkatan nilai HDT tidak hanya disebabkan oleh penurunan kemampuan mobilitas rantai polimer akibat terperangkap diantara lapisan silikat tetapi juga karena peningkatan kristalinitas.

Berdasarkan Wang dan Y. Ke <sup>[25-26]</sup> seharusnya konsentrasi organoclay pada nanokomposit memberikan nilai HDT yang lebih besar daripada polimer

murninya. Salah satu jurnal yang membahas penurunan nilai HDT pada polimer-*clay* nanokomposit yakni penelitian dari Aboobucker. Berdasarkan penelitian Aboobucker <sup>[27]</sup> didapatkan fenomena penurunan nilai HDT seiring peningkatan konsentrasi organoclay pada matriks *epoxy* tetapi tetap terjadi peningkatan nilai *tensile strength*. Aboobucker menyimpulkan bahwa telah terjadi penurunan nilai HDT disebabkan oleh efek *plasticizing* dari material *clay* pada temperatur tinggi. Pada penelitian ini belum dapat disimpulkan tentang alasan nilai HDT pada HDPE murni lebih tinggi daripada nilai HDT pada HDPE-organoclay nanokomposit, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui alasan fenomena ini.



## BAB V

### PENUTUP

#### V.1. Kesimpulan

1. Pembuatan HDPE-organoclay nanokomposit dengan metoda *melt compounding* dan *compatibilizer* HDPE-g-MA menghasilkan peningkatan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* dengan seiring peningkatan konsentrasi organoclay.
2. Penambahan konsentrasi organoclay sebesar 2,5%; 5% dan 7,5% dari massa HDPE-organoclay nanokomposit memberikan peningkatan HDT menjadi 71,95°C; 75,2°C dan 77,45°C, tetapi nilai HDT pada HDPE murni lebih tinggi daripada HDPE-organoclay nanokomposit.
3. Berdasarkan analisa XRD didapatkan bahwa masing-masing HDPE-organoclay memiliki struktur interkelasi dan tidak terjadi struktur eksfoliasi.

## REFERENSI

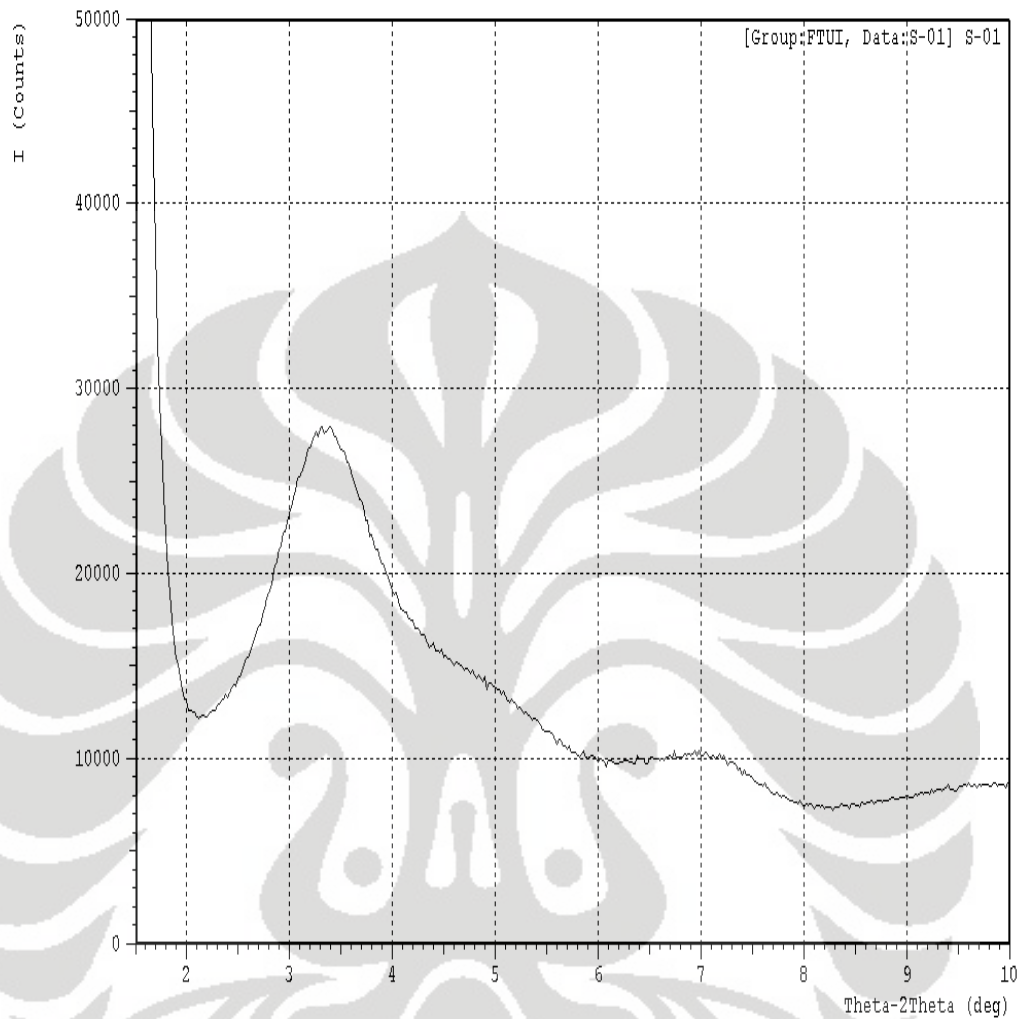
- [1] Charles E. Carraher, Jr. 2008. "*Polymer Chemistry*". Seventh Edition. Florida Atlantic University. Florida, USA.
- [2] PT. Tri Polyta Indonesia Tbk. "*Catatan 3: Karakterisasi Material Polimer*". PT. Tri Polyta Indonesia: Indonesia.
- [3] A. Usuki, M. Kato. 2000. "*Polymer-Clay Nanocomposite*". Toyota Central H&D Labs, Inc.. Japan.
- [4] K. Yasue, S. Katahira, M. Yoshikawa dan K. Fujimoto. 2000. "*In Situ Polymerization Route to Nylon 6- Clay Nanocomposite*". Unitika, Ltd Research and Development Center. Japan.
- [5] Z. Wang, J. Massam, dan T.J. Pinnavaia. 2000. "*Epoxy-Clay Nanocomposite*". Michigan State University. USA.
- [6] Alexander N. Schegolikhin, Lyudmila A. Novokshonova, Peter N. Brevnov, Sergei Modestovich, Lomakin. (2007). "*Thermal Properties of Polyethylene/Montmorillonite Nanocomposite Prepared by Intercalative Polymerization*". Russian Academy of Sciences. Russia.
- [7] Ewa Olewnik, Krzysztof Garman, Wojciech Czerwinski. 2010. "*Thermal Properties of New Composites Based on Nanoclay, Polyethylene and Polypropylene*". Akademiai Kiado. Hungary.
- [8] S. H. Lee, J. E. Kim, H. H. Song dan S. W. Kim. 2004. "*Thermal Properties of Maleated Polyethylene/Layered Silicate Nanocomposite*". Korea.
- [9] J.W.Gilman dan T. Kashiwagi. 2000. "*Polymer-Layered Silicate Nanocomposite with Conventional Flame Retardants*". National Institute of Standards and Technology. USA.
- [10] M Zanetti. 2006. "*Flamability and Thermal Stability of Polymer/Layered Silicate Nanocomposite*". University of Turin. Itali.
- [11] J.C. Matayabas Jr dan S.R.Turner. 2000. "*Nanocomposite Technology for Enhancing the Gas Barrier of Polyethylene Terephthalate*". Eastman Chemical Company. USA.

- [12] A Sorrentino, G Gorrasi, M Tortora dan V Vittoria. 2006. "*Barrier Properties of Polymer/Clay Nanocomposites*". University of Salerno. Itali.
- [13] Yang Zhong, Dustin Janes, Yong Zheng, Max Hetzer dan Daniel De Kee. 2007. "*Mechanical and Oxygen Barrier Properties of Organoclay-Polyethylene Nanocomposite Films*". Tulane University. Louisiana.
- [14] S Sinha Ray dan M Bousmina. 2006. "*Biodegradable Polymer/Layered Silicate Nanocomposite*". Laval University. Canada.
- [15] Tathiane Cordeiro Rodrigues, Maria Ines Bruno Tavares, Igor Lopes Soares dan Ana M. Moreira. 2009. "*The Characterization of High-Density Polyethylene/Organoclay Nanocomposite*". Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brazil.
- [16] Joseph H. Koo. 2006. "*Polymer Nanocomposites: Processing, Characterization, and Application*". McGraw-Hill Company. United State.
- [17] Saeful Rohman. 2009. "Fabrikasi Nanokomposit Nanoclay-Polipropilen Menggunakan Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder*". Universitas Indonesia. Indonesia.
- [18] Pandu Lanang Kinasih. 2007. "Studi Awal Pengaruh *Compatibilizer* PP-g-MA dan Prinsip *Cascade Engineering* pada Pembuatan Polipropilen *Clay* Nanokomposit Berbasis *Pure Mint* terhadap Stabilitas Termal". Departemen Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia. Indonesia.
- [19] Tata Surdia. 1992. "Pengetahuan Bahan Teknik." PT Pradnya Paramita: Jakarta.
- [20] Roiden Sihombing. 2005. "Studi Penempelan Anhidrida Maleat pada Polipropilen dalam Fasa Leleh". Departemen Kimia. Universitas Indonesia. Indonesia.
- [21] Mousa Ghaemy dan Solaiman Roohina. 2001. "Grafting of Maleic Anhydride on Polyethylene in a Homogeneous Medium in the Presence of Radical Initiators". Department of Chemistry, University of Mazandaran. Iran.

- [22] Adimas Dwi Anggoro. 2010. “Studi Pengaruh Kecepatan Putar *Screw* pada *Single Srew Extruder* terhadap Sifat Mekanis dan Termal HDPE-Organoclay Nanokomposit”. Departemen Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia. Indonesia.
- [23] Joseph Reese Samaniuk. 2008. “*Improving the Exfoliation of Layered Silicate in a Poly(ethylene terephthalate) Matrix Using Supercritical Carbon Dioxide.*” Department of Chemical Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University. USA.
- [24] E. Manias. ?? . “*Origin of the Materials Properties Enhancements in Polymer/Clay Nanocomposite*”. Department of Materials Science and Engineering, The Pennsylvania State University. USA.
- [25] Y. Ke, C. Long, Z. Qi. 1999. “*Application Polymer Science*”. Page: 1139-1146.
- [26] Y. Wang, J. Gao, Y. Ma. 2006. “*Composite: Part B 37*”. Page: 399-407. U.S.
- [27] M. Aboobucker Sithique, M. Alagar. 2010. “*Preparation and Properties of Bio-Based Nanocomposite From Epoxidized Soy Bean Oil and Layered Silicate*”. India.

# Lampiran 1

## Data Pengujian XRD Sampel HDPE-2.5%

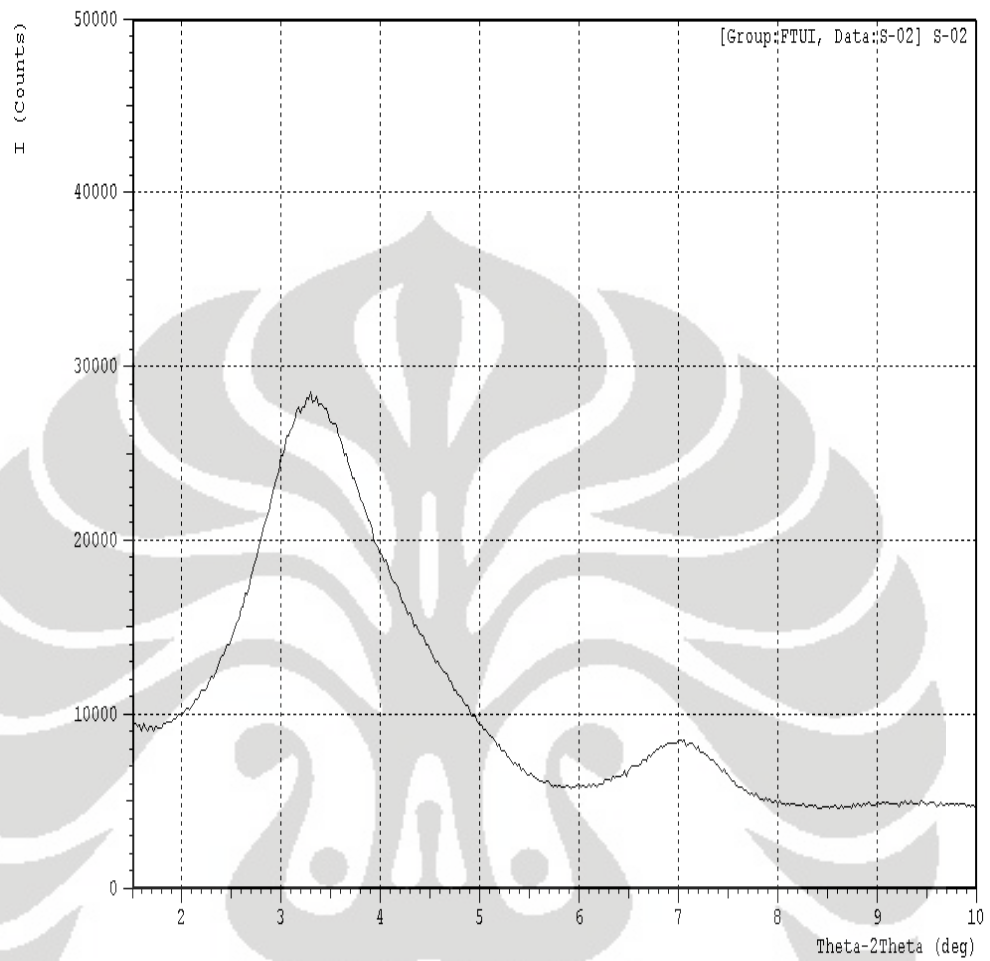


Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	1	3.3705	26.19273	100	1.00430	9237	504575
2	3	7.0582	12.51392	12	0.85870	1063	47900
3	2	5.1400	17.17889	9	0.55280	790	46747

Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	3.3705	26.19273	100	1.00430	9237	504575	
2	5.1400	17.17889	9	0.55280	790	46747	
3	7.0582	12.51392	12	0.85870	1063	47900	
4	9.8800	8.94528	8	1.53260	702	30557	

## Lampiran 2

### Data pengujian XRD sampel HDPE-5%



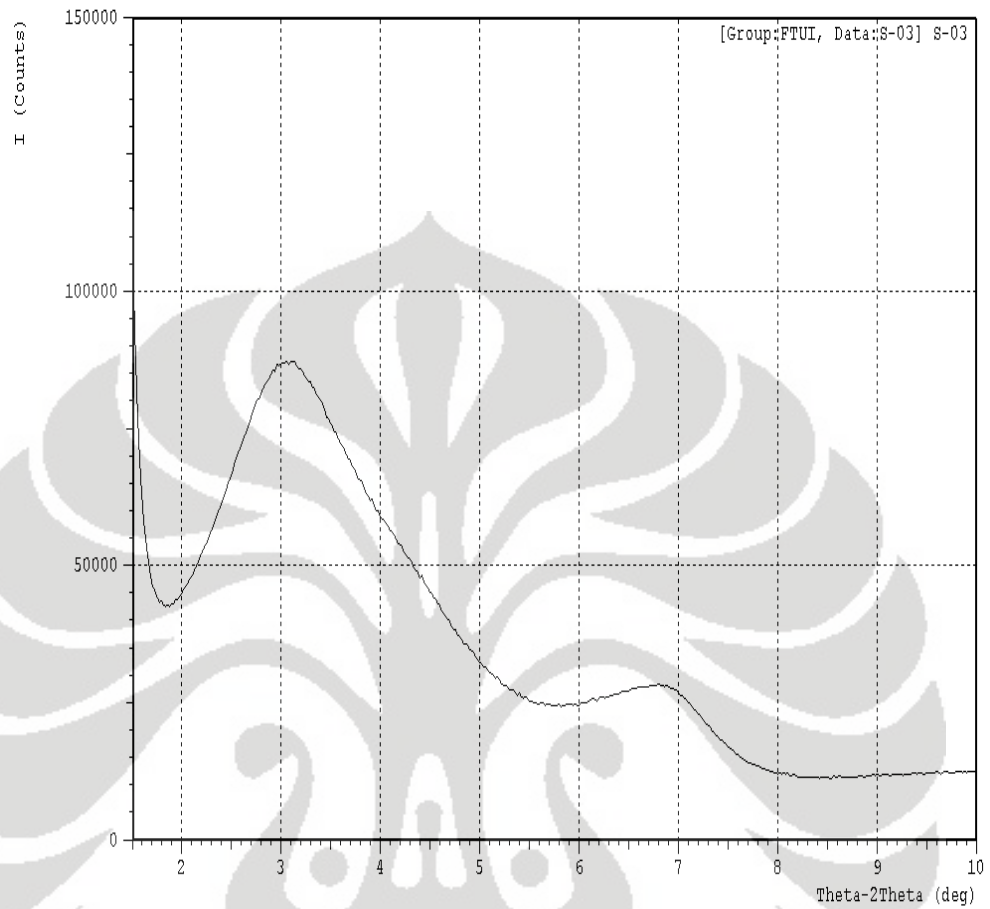
#### Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I <sub>1</sub>	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	3.4304	25.73550	100	1.44860	13387	1070651
2	7.0194	12.58300	14	0.86990	1872	84839



### Lampiran 3

#### Data pengujian XRD sampel HDPE-7.5%



#### Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	3.2437	27.21635	100	1.53840	32455	2637226
2	6.7903	13.00702	21	1.00590	6744	352198

Data pengujian *tensile* sampel HDPE

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....TU NanoKomposit  
 Teststandard.....ASTM D638 I  
 Tester.....abd  
 Material.....HDPE murni  
 Tested on.....2010-09-29  
 Kondisi Uji.....23.6oC , RH 56.0%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....115 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min  
 Test speed 2.....1.5 % -> 50 mm/min

Directory.....Penelitian Komposit  
 Parameterset.....ASTM D638

## Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Comment
34	HDPE -1	4.210	12.67	0.577	26.03	146.3	
35	HDPE -2	4.210	12.67	0.581	25.32	287.7	
36	HDPE -3	4.170	12.62	0.595	26.44	149.0	
37	HDPE -4	4.210	12.66	0.584	26.38	134.6	
38	HDPE -5	4.230	12.75	0.580	25.83	143.8	

Mean: 4.206 12.67 0.583 26.00 172.3  
 Minimum: 4.170 12.62 0.577 25.32 134.6  
 Maximum: 4.230 12.75 0.595 26.44 287.7  
 Std.dev.: 0.022 0.047 6.95E-3 0.456 64.75  
 W(0.95) %: 0.647 0.463 1.479 2.175 46.66  
 Values: 5 5 5 5 5

Data pengujian *tensile* sampel HDPE-2.5%

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....TU NanoKomposit  
 Teststandard.....ASTM D638 I  
 Tester.....abd

Material.....komposit PE Clay  
 Tested on.....2010-09-22  
 Kondisi Uji.....24oC , RH 57.0%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....115 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min  
 Test speed 2.....1.5 % -> 50 mm/min

Directory.....Penelitian Komposit  
 Parameterset.....ASTM D638

## Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Comment
9	PE Clay nc2.5%-1	4.260	12.70	0.542	26.54	156.2	
10	PE Clay nc2.5%-2	4.360	12.82	0.559	25.55	126.1	
11	PE Clay nc 5%-3	4.200	12.65	0.594	25.72	232.9	
12	PE Clay nc2.5%-4	4.370	12.95	0.576	25.35	119.4	
13	PE Clay nc2.5%-5	4.400	12.90	0.576	25.01	146.2	
Mean:		4.318	12.80	0.569	25.63	156.2	
Minimum:		4.200	12.65	0.542	25.01	119.4	
Maximum:		4.400	12.95	0.594	26.54	232.9	
Std.dev.:		0.084	0.128	0.020	0.571	45.40	
w(0.95) %:		2.426	1.239	4.294	2.767	36.09	
Values:		5	5	5	5	5	

Data pengujian *tensile* sampel HDPE-5%

MESSMITSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

### Plastics Tensile Test

Order No.....TU NanoKomposit  
 Teststandard.....ASTM D638 I  
 Tester.....abd

Material.....komposit PE Clay  
 Tested on.....2010-09-22  
 Kondisi Uji.....24oC , RH 57.0%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....115 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min  
 Test speed 2.....1.5 % -> 50 mm/min

Directory.....Penelitian Komposit  
 Parameterset.....ASTM D638

#### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Comment
24	PE Clay nc 5%-1	4.200	12.65	0.635	27.48	163.9	
25	PE Clay nc 5%-2	4.210	12.70	0.605	26.43	157.6	
26	PE Clay nc 5%-3	4.210	12.68	0.609	27.41	200.5	
27	PE Clay nc 5%-4	4.420	12.65	0.635	27.52	170.0	
29	PE Clay nc 7.5%-1	4.130	12.86	0.699	29.20	117.8	
mean:		4.234	12.71	0.637	27.61	162.0	
minimum:		4.130	12.65	0.605	26.43	117.8	
maximum:		4.420	12.86	0.699	29.20	200.5	
std.dev.:		0.109	0.088	0.038	0.998	29.68	
(0.95) %:		3.203	0.856	7.335	4.489	22.75	
values:		5	5	5	5	5	

Data pengujian *tensile* sampel HDPE-7.5%

MESSPHYSIK Laborgeräteges.m.b.H.

## Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....TU NanoKomposit  
 Teststandard.....ASTM D638 I  
 Tester.....abd  
 Material.....komposit PE Clay  
 Tested on.....2010-09-22  
 Kondisi Uji.....22.7oC , RH 55.0%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....115 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min  
 Test speed 2.....1.5 % -> 50 mm/min

Directory.....Penelitian Komposit  
 Parameter sel.....ASTM D638

## Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a	b	E	"M	"B	Comment
		mm	mm	GPa	MPa	%	
29	PE Clay nc 7.5%-1	4.130	12.86	0.699	29.20	117.8	
30	PE Clay nc 7.5%-2	4.270	12.77	0.637	27.58	122.2	
31	PE Clay nc 7.5%-3	4.130	12.61	0.661	27.71	126.1	
32	PE Clay nc 7.5%-4	4.160	12.61	0.618	28.69	116.7	
33	PE Clay nc 7.5%-5	4.190	12.61	0.665	28.69	149.3	
Mean:		4.176	12.69	0.666	28.37	126.4	
Minimum:		4.130	12.61	0.618	27.58	116.7	
Maximum:		4.270	12.86	0.699	29.20	149.3	
Std.dev.:		0.058	0.117	0.031	0.699	13.32	
W(0.95) %:		1.728	1.142	5.791	3.058	12.09	
Values:		5	5	5	5	5	

## Data pengujian HDT sampel HDPE

	<b>Lembar Kerja Pengujian</b>	No. Form : LKP-07
		Edisi/revisi : C / 0
		Tgl. Revisi : 15.03.2010
		Halaman : 1 dari 1

## Measurement of Heat Deflection Temperatur

## I. General

Date	: 12 Oktober 2010
Order Number	:
Description of Sample	: HDPE putih (mumi)
Standard Method	: II-029 (ISO 75) / ASTM D 648 <sup>*)</sup>
Responsible Person	: DRN, 2L2
Conditioning	: 23 °C, 50% RH
Specimen Preparation	: Injection Molding
Start Temperature	: 29,1 °C
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise <sup>*)</sup>
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> coret yang tidak perlu

## II. Verification of Heating Rate (12 ± 1 °C/6 minutes)

Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]	Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]
0	29,1	-			
6	40,8	11,7			
12	52,1	11,3			
18	63,8	11,7			
24	75,3	11,5			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

## III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) <sup>***)</sup> [N]	Massload (m <sub>w</sub> ) <sup>****)</sup> [g]
1.	4,25	12,56	100	2,034	207,31
2.	4,25	12,56	100	2,034	207,31

## III. Result

No.	No. Dialgauge	Defl. [mm]	Temp. [°C]	
1.	N <sub>1</sub>	0,25	79,5	<sup>**) F = 2σbh<sup>2</sup>/3L Flatwise</sup>
2.	N <sub>2</sub>	0,25	79,3	F = 2σhb <sup>2</sup> /3L Edgewise
Mean Value			79,4	<sup>****) m = F/9.81 m = total mass</sup>
EKP			79,4 ± 1,0	m = m <sub>w</sub> + m <sub>r</sub> m <sub>r</sub> = mass of rod

Penguji: DRN, 2L2

Pemeriksa: 

## Data pengujian HDT sampel HDPE-2.5%

	<b>Lembar Kerja Pengujian</b>	No. Form : LKP-07
		Edisi/revisi : C / 0
		Tgl. Revisi : 15.03.2010
		Halaman : 1 dari 1

## Measurement of Heat Deflection Temperatur

## I. General

Date	: 19 Oktober 2010
Order Number	:
Description of Sample	: Sampel 1 (2,5 % clay)
Standard Method	: <del>FI-029</del> (ISO-75) / ASTM D 648 <sup>*)</sup>
Responsible Person	: DAN, 2L2
Conditioning	: 23°C, 50% RH
Specimen Preparation	: Injection Molding
Start Temperature	: 29,4°C
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise <sup>*)</sup>
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa <sup>*)</sup>

\*) coret yang tidak perlu

## II. Verification of Heating Rate (12 ± 1 °C/6 minutes)


Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]	Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]
0	29,4	—			
6	43,4	14,0			
12	54,0	10,6			
18	64,1	10,1			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

## III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) <sup>***)</sup> [N]	Massload (m <sub>w</sub> ) <sup>****)</sup> [g]
1.	4,25	12,56	100	2,034	207,31
2.	4,25	12,56	100	2,034	207,31


## III. Result

No.	No. Dialgauge	Defl. [mm]	Temp. [°C]	*) F = 2σbh <sup>2</sup> /3L	Flatwise
1.	N <sub>1</sub>	0,25	71,7	F = 2σhb <sup>2</sup> /3L	Edgewise
2.	N <sub>2</sub>	0,25	72,2	****) m = F/9.81	m = total mass
Mean Value			71,95	m = m <sub>w</sub> + m <sub>r</sub>	m <sub>r</sub> = mass of rod
EKP			71,95 ± 1,1		

Penguji: 

Pemeriksa:

## Data pengujian HDT sampel HDPE-5%

	<b>Lembar Kerja Pengujian</b>	No. Form	: LKP-07
		Edisi/revisi	: C / 0
		Tgl. Revisi	: 15.03.2010
		Halaman	: 1 dari 1

## Measurement of Heat Deflection Temperatur

## I. General

Date	: 11 Oktober 2010
Order Number	:
Description of Sample	: Sampel e (5% clay)
Standard Method	: FI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 <sup>*)</sup>
Responsible Person	: DRN, ZL2
Conditioning	: 23°C, 50% RH, 48 jam
Specimen Preparation	: Injection Molding
Start Temperature	: 25,2
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise <sup>*)</sup>
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> coret yang tidak perlu

## II. Verification of Heating Rate (12 ± 1 °C/6 minutes)

Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]	Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]
0	25,2	-			
6	39,6	14,4			
12	50,6	17,0			
18	61,6	11,0			
24	71,9	10,3			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

## III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) <sup>***)</sup> [N]	Massload (m <sub>w</sub> ) <sup>****)</sup> [g]
1.	4,25	12,56	100	2,034	207,31
2.	4,25	12,56	100	2,034	207,31

## III. Result

No.	No. Dialgauge	Defl. [mm]	Temp. [°C]	
1.	N <sub>1</sub>	0,25	75,0	<sup>**) F = 2σbh<sup>2</sup>/3L Flatwise</sup>
2.	N <sub>2</sub>	0,25	75,4	F = 2σhb <sup>2</sup> /3L Edgewise
Mean Value			75,20	<sup>****) m = F/9.81 m = total mass</sup>
EKP			75,20 ± 1,1	m = m <sub>w</sub> + m <sub>r</sub> m <sub>r</sub> = mass of rod

Penguji:

Pemeriksa:



Lampiran 11

Data pengujian HDT sampel HDPE-7.5%

	<b>Lembar Kerja Pengujian</b>	No. Form	: LKP-07
		Edisi/revisi	: C/0
		Tgl. Revisi	: 15.03.2010
		Halaman	: 1 dari 1

Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 8 Oktober 2010
Order Number	: J1100
Description of Sample	: Sampel 3 (7.5% clay)
Standard Method	: FI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 <sup>1)</sup>
Responsible Person	: DRN, 21.2
Conditioning	: 23°C, 50% RH, 48 jam
Specimen Preparation	: Injection Molding
Start Temperature	: 25,2
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise <sup>1)</sup>
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> coret yang tidak perlu

II. Verification of Heating Rate (12 ± 1°C/6 minutes)

Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]	Time (minute)	Temperature [°C]	Heating Rate [°C/6menit]
0	25,2	-	36		
6	40,3	15,3	42		
12	48,3	8,0	48		
18	61,7	13,4	54		
24	72,6	10,9	60		
30					

Average of Heating Rate [°C/6min] =

III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) <sup>***)</sup> [N]	Massload (m <sub>w</sub> ) <sup>****)</sup> [g]
1.	4,25	12,96	100	2,034	42,31 <sup>2)</sup> 207,31
2.	4,25	12,96	100	2,034	207,31

III. Result

No.	No. Dialgauge	Defl. [mm]	Temp. [°C]	
1.	N <sub>1</sub>	0,25	77,4	<sup>***)</sup> F = 2σbh <sup>2</sup> /3L Flatwise
2.	N <sub>2</sub>	0,25	77,5	F = 2σbh <sup>2</sup> /3L Edgewise
		Mean Value	77,45	<sup>****)</sup> m = F/9.81 m = total mass
		EKP	77,45 ± 1,0	m = m <sub>w</sub> + m <sub>r</sub> m <sub>r</sub> = mass of rod

Penguji:  / 21.2

Pemeriksa: DRN

