



UNIVERSITAS INDONESIA

**FABRIKASI NANOKOMPOSIT
NANOCLAY-POLIPROPILENA MENGGUNAKAN
MESIN PENCAMPUR *TWIN SCREW EXTRUDER***

TESIS

**Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**SAEFUL ROHMAN
0706173906**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2009**



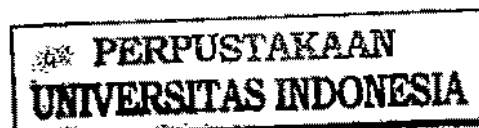
UNIVERSITAS INDONESIA

**FABRIKASI NANOKOMPOSIT
NANOCLAY-POLIPROPILENA MENGGUNAKAN
MESIN PENCAMPUR *TWIN SCREW EXTRUDER***

TESIS

**SAEFUL ROHMAN
0706173906**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2009**



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Saeful Rohman
NPM : 0706173906


Tanda Tangan :
Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :


Nama : Saeful Rohman
NPM : 0706173906
Program Studi : Pasca Sarjana
Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik

Judul Tesis :
"Fabrikasi Nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena Menggunakan Mesin
Pencampur *Twin Screw Extruder*"


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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I: Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, MSc.

(
..... Prof. Anne. Zulfia)

Pembimbing II: Syah Johan Ali Nasiri, Ph.D.

(
..... Johan. A. Nasiri)


Penguji I : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil. Eng.

(
.....)

Penguji II : Dr. Ir. Winarto, M.Sc.

(
.....)

Penguji III: Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M. Eng.

(
.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT dan syukur disampaikan kepada-Nya, karena berkat kuasa-Nya yang telah memberikan kemudahan kepada kami hingga dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir serta penyelesaian tesis dengan judul:

Fabrikasi Nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena menggunakan Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder*

Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam proses pengerjaan penelitian serta penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, MSc., selaku pembimbing I yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan saran-saran selama pengerjaan penelitian dan penyusunan tesis ini.
2. Bapak Drs. Wawas Swatofrijah, M.Sc., selaku kepala Sentra Teknologi Polimer, Balai Pengkajian Teknologi Polimer-BPPT, atas dukungan dan kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian di STP.
3. Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, M.Eng., selaku ketua Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
4. Bapak Syah Johan Ali Nasiri, Ph.D., selaku pembimbing II, atas bimbingan, arahan dan saran-sarannya selama melakukan penelitian.
5. Seluruh staf pengajar di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI.

6. Rekan-rekan mahasiswa pasca sarjana Departemen Metalurgi dan Material terutama angkatan tahun 2006, 2007 dan 2008.
7. Rekan-rekan kerja di Sentra Teknologi Polimer, Balai Pengkajian Teknologi Polimer-BPPT yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.
8. Istri dan anak-anak (Fadli dan Ari) yang dengan sabar dan tawakal dan penuh pengertian memberikan dukungan selama masa studi hingga lulus.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan moral.

Demi perbaikan dan pengembangan dari penelitian ini, penulis mengharapkan saran dan kritik serta masukan-masukan lainnya.

Depok, 10 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Saeful Rohman
NPM : 0706173906
Program Studi : Pasca Sarjana
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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 :

"Fabrikasi Nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena Menggunakan Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder*"

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/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Juli 2009

Yang menyatakan



(Saeful Rohman)

ABSTRAK

Nama : Saeful Rohman
Program Studi : Pasca Sarjana Teknik
Judul : Fabrikasi Nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena
Menggunakan Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder*

Tesis ini merupakan bahasan hasil penelitian fabrikasi material nanokomposit dengan perbaikan pada proses fabrikasi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal dari material nanokomposit *nanoclay*-polipropilena melalui peningkatan panjang *screw* dalam mesin *twin screw extruder* (TSE). *Screw* pendek yang digunakan memiliki panjang 300 mm, sedangkan *screw* panjang ukurannya 600 mm. Formulasi dari nanokomposit adalah 3,5 % *nanoclay* dalam matrik polipropilena dengan aditif kompatibiliser 5 % PP-g-MA.

Hasil pengamatan struktur mikro nanokomposit menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan *scanning probe microscope* (SPM) menunjukkan bahwa hasil fabrikasi nanokomposit menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang memiliki sebaran/dispersi *nanoclay* yang lebih baik dibanding hasil fabrikasi menggunakan *screw* pendek.

Dari hasil pengujian sifat mekanik nanokomposit yang dilakukan yang meliputi kekuatan tarik, modulus kekakuan, kekerasan, ketahanan aus dan ketangguhan menunjukkan bahwa nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan *screw* panjang sifat mekaniknya lebih baik. Modulus kekakuan meningkat 34 %, ketangguhan dan kekerasan meningkat 1 %.

Dampak positif dari penelitian ini adalah meningkatnya sifat termal nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan *screw* panjang dari pada hasil fabrikasi menggunakan *screw* pendek, sifat termal yang dianalisis meliputi: temperatur dekomposisi, temperatur defleksi, kecepatan bakar dan temperatur leleh. Bila dibandingkan dengan polipropilena, maka nanokomposit memiliki peningkatan sifat diantaranya termal defleksi 7 %, termal dekomposisi 2 % dan ketahanan bakar 8 %.

Kata kunci:

Nanokomposit, *nanoclay*, *screw*

ABSTRACT

Name : Saeful Rohman
Study Program: Pasca Sarjana, Fakultas Teknik
Title : Fabrication of Nanoclay-Polypropylene Nanocomposites
Using Twin Screw Extruder Mixer Machine

This thesis is a discussion of material manufacturing nanocomposites with improvements in the manufacturing process. This research aims is to improve the mechanical and thermal properties of nanoclay-polypropylene nanocomposites material through the longer screw in the twin screw extruder (TSE) mixer machine. Short screw used own length of 300 mm, while the other screw length of 600 mm in size. Formulation of nanocomposites is 3.5% nanoclay in polypropylene matrix with compatibilizer of 5 % PP-g-MA.

The results of micro structure of nanocomposites observed by scanning electron microscope (SEM) and scanning probe microscope (SPM) showed that the nanocomposites manufacturing using a long screw found that the dispersion of nanoclay in nanocomposites is better than fabricated using a short screw.

The mechanical testing of nanocomposites materials includes a tensile strength, elastic modulus, hardness, impact, and wear resistance the results showed that the nanocomposites manufacturing use longer screw have increased of mechanical properties, elastic modulus improve 34 %, impact charpy and hardness improve 1 %.

The side effect of this research is thermal properties of nanocomposites manufacturing use long screw was increased compared nanocomposites manufacturing using short screw. The thermal properties has analysed by flammability, thermal decomposition, thermal deflection, and melting temperature. Compare to polypropylene, the nanokomposites as manufacture has improve thermal deflection 7 %, thermal decomposition 2 % and flame retardant 8 %.

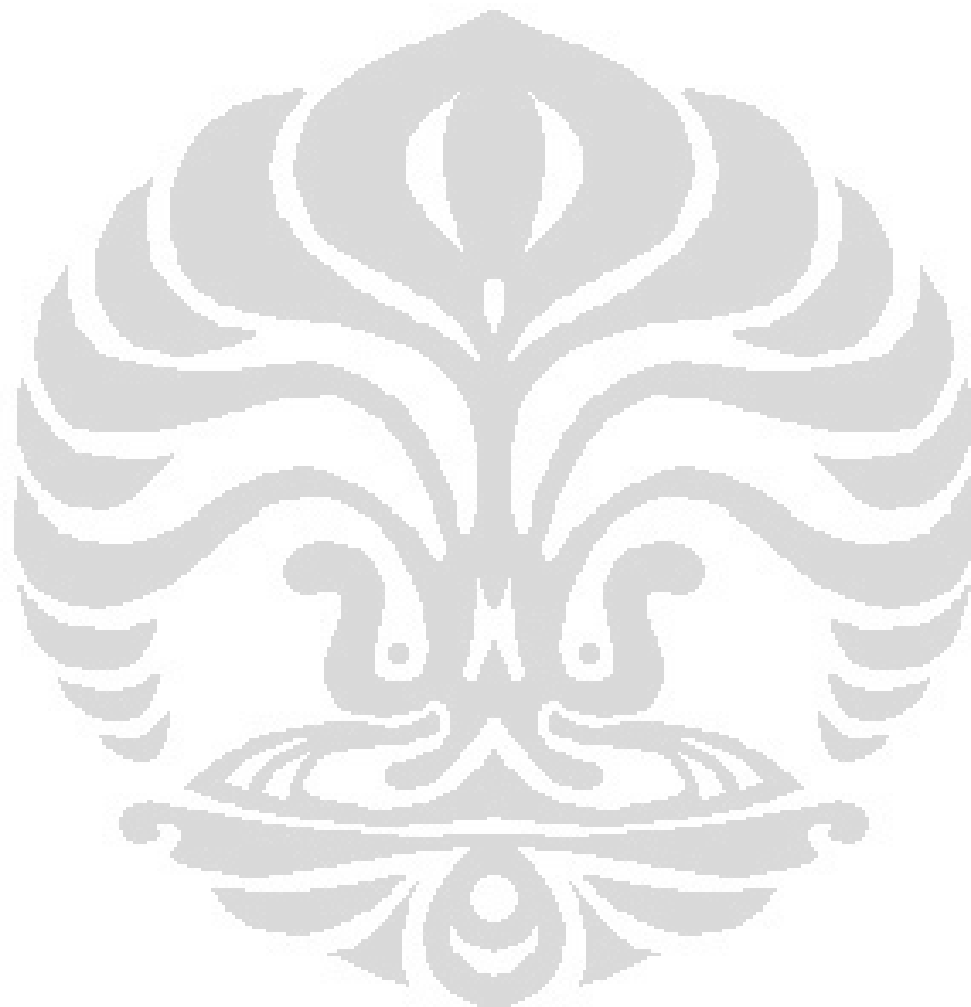
Keywords:

Nanocomposites, nanoclay, screw

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Lempung (<i>Clay</i>)	6
2.1.1 Material dan Struktur <i>Clay</i>	6
2.1.2 Perlakuan <i>Clay</i>	7
2.2 Polimer Polipropilena	8
2.3 Kompatibiliser	9
2.4 Nanokomposit	11
2.5 Optimalisasi Proses Fabrikasi	12
2.5.1. Mesin Pencampur <i>Twin Screw Ekstruder</i>	13
2.5.2. <i>Screw</i> pada Mesin Pencampur <i>Twin Screw Ekstruder</i>	14
2.6 Penelitian Terakhir di Bidang Nanokomposit	15
3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Diagram Alir Penelitian	18
3.2 Prosedur Penelitian	19
3.2.1. Bahan Pembentukan Nanokomposit	19
3.2.2. Proses Fabrikasi Nanokomposit	19
3.2.3. Pengujian Mekanik Nanokomposit	22
3.2.3.1. Pengujian Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	22
3.2.3.2. Pengujian Ketangguhan (<i>Impact Charpy</i>)	23
3.2.3.3. Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Rockwell</i>)	24
3.2.3.4. Pengujian Temperatur Defleksi (HDT)	25
3.2.3.5. Pengujian Ketahanan Aus	26
3.2.3.6. Analisa kecepatan bakar (<i>flammability</i>)	27
3.2.4. Karakterisasi Nanokomposit <i>nanoclay</i> -polipropilena	28
3.2.4.1. Pengujian Temperatur Dekomposisi	28
3.2.4.2. Pengujian Temperatur Leleh (<i>Tm</i>)	29
3.2.4.3. Analisa Struktur dengan SEM	29
3.2.4.4. Analisa Struktur dengan SPM	30

4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
5. KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	51
DAFTAR REFERENSI	52
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Struktur kristal <i>montmorillonite</i>	7
2. Gambar 2.2 Struktur polipropilena.....	8
3. Gambar 2.3 Struktur kimia kompatibiliser PP-g-MA	10
4. Gambar 2.4 Proses dispersi <i>nanoclay</i> dalam matrik polimer	12
5. Gambar 2.5 Peralatan mesin ekstruder (<i>Twin Screw Extruder Mixer</i>) ..	14
6. Gambar 2.6 Konfigurasi <i>Screw</i>	15
7. Gambar 2.7 Dispersi <i>nanoclay</i> hasil pengamatan dengan SEM	16
8. Gambar 3.1 Tahapan Proses Penelitian	18
9. Gambar 3.2 Mesin <i>mixer Twin screw extruder</i> HAAKE CTW 100p ...	20
10. Gambar 3.3 Mesin <i>mixer Twin screw extruder</i> HAAKE Rheocord 90 ..	21
11. Gambar 3.4 <i>Universal Testing Machine (UTM)</i>	22
12. Gambar 3.5 <i>Impact Charpy Tester</i>	23
13. Gambar 3.6 <i>Hardness Rockwell Ball Indenter</i>	24
14. Gambar 3.7 Alat <i>Frank Prüfgeräte Gm bH</i> untuk Pengujian HDT	25
15. Gambar 3.8 Alat uji Abraser <i>Taber Rotary</i> dan spesimen uji.....	26
16. Gambar 3.9 Gambar teknik pengujian kecepatan bakar	27
17. Gambar 3.10. Peralatan DSC dan TGA dari <i>Mettler Toledo</i>	28
18. Gambar.3.11. Peralatan SPM.....	30
19. Gambar 4.1. Nanokomposit hasil fabrikasi	31
20. Gambar 4.2. Gambar SEM Nanokomposit mesin TSE <i>screw</i> pendek	33
21. Gambar 4.3. Gambar SEM Nanokomposit mesin TSE <i>screw</i> pendek	33
22. Gambar 4.4. Gambar SEM Nanokomposit mesin TSE <i>screw</i> panjang	34
23. Gambar 4.5. Gambar SEM Nanokomposit mesin TSE <i>screw</i> panjang	35
24. Gambar 4.6. Gambar SPM dari nanokomposit	36
25. Gambar 4.7. Sebaran <i>nanoclay</i> dari nanokomposit	37
26. Gambar 4.8. Gambar SPM dari nanokomposit	38
27. Gambar 4.9. Spesimen uji kuat tarik nanokomposit dan pengujiannya	39
28. Gambar 4.10. Nilai kuat tarik material polipropilena	40
29. Gambar 4.11. Ilustrasi proses pencampuran polipropilena dengan <i>clay</i>	40
30. Gambar 4.12. Nilai modulus kekakuan material nanokomposit	42
31. Gambar 4.13. Ketangguhan hasil uji <i>impact Charpy</i>	42
32. Gambar 4.14. Nilai kekerasan material nanokomposit	43
33. Gambar 4.15. Nilai keausan nanokomposit	44
34. Gambar 4.16. Temperatur dekomposisi propilena dan komposit	45
35. Gambar 4.17. Kecepatan bakar material polipropilena dan komposit ..	46
36. Gambar 4.18. Termograf DSC dari material PP dan nanokomposit	47
37. Gambar 4.19. Temperatur defleksi dari PP dan nanokomposit	48

DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1. Cadangan bentonit Indonesia	6
2. Tabel 3.1. Komposisi pembentukan nanokomposit	20
3. Tabel 3.2. Formulasi sampel nanokomposit	21
4. Tabel 3.3. Kondisi peralatan fabrikasi nanokomposit	22
5. Tabel 4.1. Hasil pengujian mekanik nanokomposit	39
6. Tabel 4.2. Hasil karakterisasi sifat termal nanokomposit	45



DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1. Gambar SEM sebaran <i>nanoclay</i> dalam nanokomposit	57
2. Lampiran 2. Gambar SPM sebaran <i>nanoclay</i> dalam nanokomposit	62
3. Lampiran 3. Sertifikat hasil uji tarik nanokomposit	68
4. Lampiran 4. Data hasil pengujian <i>impact Charpy</i>	71
5. Lampiran 5. Data hasil pengujian kekerasan <i>shore D</i>	76
6. Lampiran 6. Data hasil pengujian keausan nanokomposit	81
7. Lampiran 7. Data hasil pengujian temperatur defleksi	82
8. Lampiran 8. Data hasil pengujian temperatur dekomposisi	87
9. Lampiran 9. Data hasil pengujian <i>flammability</i> nanokomposit	93
10. Lampiran 10. Data hasil pengujian temperature leleh nanokomposit	98
11. Lampiran 11. <i>Technical Data</i> Nanocor 1.44T <i>nanoclay</i>	104
12. Lampiran 12. MSDS EPOLEN G3003 PP-g-MA	106
13. Lampiran 13. <i>Technical Data</i> Polipropilena	108



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini lempung (*clay*) sudah digunakan sebagai penguat pada material komposit. Penambahan *clay* dalam polimer biasanya bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tarik dan modulus kekakuan dan meningkatkan daya tahan tembus gas oksigen^[1]. Meningkatnya sifat mekanik pada komposit tersebut sangat tergantung pada pendispersian partikel *nanoclay* dalam matrik polimer serta kompatibilitas diantaranya^[2]. Secara konvensional, *clay* sudah lama digunakan sebagai *filler* dalam produk seperti cat, komposit, kosmetik dan bahkan secara tersendiri *clay* sudah digunakan sebagai pelumas pada penggalian minyak bumi, pemutihan/pemucatan pada minyak goreng^[3]. Pemanfaatan *clay* sebagai penguat pada komposit polimer pernah dibuat komposit dengan matrik poliamid (*nylon*) dan digunakan sebagai bahan komponen kendaraan oleh tim peneliti dari Toyota^{[4][5]}. Pada pembentukan nanokomposit sekarang ini lebih difokuskan pada material nano partikelnya, diantaranya jenis *montmorillonite*. *Montmorillonite* terdiri dari lapisan-lapisan silika dalam ukuran nanometer^[6]. Peningkatan sifat-sifat mekanik dan termal dalam nanokomposit *nanoclay*-polimer terbentuk ketika terjadi sinergis yang dimiliki oleh kedua material tersebut. Interaksi sinergis inilah yang diharapkan dalam sistem komposit. Dalam nanokomposit *nanoclay*-polimer interaksi sinergis bisa dilakukan dengan adanya kontak permukaan silika dan polimer serta terjadinya interkalasi atau eksfoliasi lapisan-lapisan silika *montmorillonite* dalam matrik polimer^[5,6]. Untuk membantu terjadinya proses interkalasi dan eksfoliasi dari *montmorillonite* maka ada beberapa usaha yang dilakukan diantaranya perlakuan permukaan silika *nanoclay* sebelum pencampuran, yaitu dengan menambahkan senyawa organik ionik atau surfaktan pada lapisan-lapisan silikanya^{[7][8]}.

Tim peneliti dari Toyota Jepang menyatakan bahwa penambahan sebanyak 4-7 % *nanoclay* dalam sistem komposit *nanoclay-nylon*, *nanoclay*

akan terdispersi dengan baik dan dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik, seperti modulus kekakuan dan kuat tarik tanpa mengurangi ketahanan impak (ketanggahan), begitu juga sifat termal dan sifat alir (*rheology*) meningkat dan dapat mengurangi daya serap air dari poliamid (*nylon*)^{[7][8]}. Temperatur defleksi (HDT) juga meningkat, dengan demikian maka komposit *nanoclay-nylon* dapat digunakan pada temperatur tinggi^[9].

Material *clay* bersifat *hydrophilic*, sedangkan plastik (polimer) pada umumnya bersifat *hydrophobic*, oleh karenanya maka *clay* dengan plastik tidak mudah untuk dipersatukan (*incompatible*). Masing-masing material memiliki kecenderungan untuk bersatu diantara sesamanya (aglomerasi) sehingga akan menjadi sulit dalam pendispersian *clay* dalam matrik plastik^[2]. Karena adanya perbedaan kecenderungan itu maka diperlukan suatu perlakuan baik terhadap *montmorillonite* maupun terhadap polimer polipropilena agar *nanoclay* terdispersi sempurna dalam sistem komposisinya. Dalam penelitian biasanya ada usaha yang harus dilakukan untuk menggabungkan kedua material yang berlainan sifat tersebut. Usaha yang dilakukan diantaranya;

1. Memodifikasi permukaan lapisan silika dari *nanoclay* dengan memasukkan *intercalant/surfactant* agar polimer dapat masuk diantara lapisan silika atau terjadi interkalasi pada lapisan-lapisan silikanya.
2. Memodifikasi polipropilena menjadi bersifat *hydrophilic* dengan mencangkokkan zat kimia polar seperti maleat anhidrat ke dalam susunan/rantai molekul polipropilena (PP-g-MA).
3. Menentukan parameter fabrikasi yang tepat sehingga didapatkan pendispersian *nanoclay* yang sempurna^{[2][10][11]}.

Beberapa peneliti sudah lama menggunakan jenis silane sebagai kompatibiliser pada *wood* komposit, *glass fibre reinforce* dan lainnya^[11]. Para peneliti dari negara Iran telah berhasil melakukan penelitian pembuatan nanokomposit *nanoclay*-polietilena dengan kompatibiliser PE-g-MA. Pada penelitian tersebut telah diamati proses interkalasi dan ekfoliasi serta degradasinya oleh mikroba^[12]. Kompatibiliser lainnya diantaranya PP-g-MA

sudah banyak digunakan dalam komposit *clay*-polipropilena. Pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan bahan pengikat (kompatibiliser) PP-g-MA dapat dilakukan dengan baik dalam *Twin screw extruder* dan telah terbukti terjadi interkalasi dan eksfoliasi pada lapisan silikanya^{[13][14]}. *Clay*-nanokomposit telah dilaporkan dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik^[11].

Beberapa mahasiswa peneliti sebelumnya telah melakukan usaha optimalisasi formula nanokomposit *nanoclay*-polipropilena ini, namun belum menunjukkan hasil yang optimal dari sifat-sifat mekanik yang dimiliki nanokomposit tersebut. Menurut teori proses jika formula optimal telah dicapai namun sifat-sifat mekanik nanokomposit belum meningkat juga, maka harus dicoba untuk melakukan optimalisasi pada proses seperti waktu dan temperatur pencampuran. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan usaha untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik nanokomposit dapat dilakukan dengan cara memperpanjang waktu pencampuran. Pada kesempatan ini digunakan dua mesin ekstruder, yaitu mesin *twin screw extruder* dengan panjang *screw* 300 mm dan 600 mm.

1.2. Rumusan Permasalahan

Pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena telah dilakukan beberapa mahasiswa sebelumnya dengan memvariasikan komposisi bahan penyusun seperti kandungan *nanoclay* dan kompatibiliser (PP-g-MA). Dari penelitian tersebut belum memberikan hasil yang diharapkan (peningkatan sifat mekanik seperti kuat tarik, modulus, *impack*, dan kekerasan dari nanokomposit yang terbentuk).

Optimalisasi proses pencampuran pada fabrikasi nanokomposit *nanoclay*-polipropilena yang akan dilakukan ini adalah suatu usaha untuk mendapatkan nanokomposit dengan sifat-sifat mekanik yang meningkat sesuai harapan. Usaha ini meliputi pemakaian mesin *twin screw extruder* dengan ukuran *screw* yang lebih panjang sehingga diharapkan dapat mendispersikan partikel *nanoclay* dengan sempurna dalam matrik polipropilena.

Perbedaan mesin *twin screw extruder* (TSE) yang akan digunakan adalah panjang *screw*. Dengan *screw* yang lebih panjang diharapkan dapat lebih menyempurnakan pendispersian *nanoclay* yang pada akhirnya akan memberikan sifat berlebih dari nanokomposit yang difabrikasi.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini meliputi:

1. Pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena menggunakan mesin *twin screw extruder* dengan *screw* yang lebih panjang, dengan formulasi ditentukan.
2. Karakterisasi bahan baku melalui pengujian sifat mekanik dan sifat termal material.
3. Karakterisasi/analisis nanokomposit hasil pembentukan melalui pengujian sifat fisik, sifat termal, dan struktur mikro.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memfabrikasi material nanokomposit dengan bahan baku *clay (organoclay)* dan polipropilena dengan bantuan kompatibiliser PP-g-MA.
2. Mempelajari pengaruh panjang *screw* dalam mesin *mixer twin screw* terhadap pendispersian *nanoclay* dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena, serta pengaruhnya terhadap perubahan sifat-sifat mekanik.

1.5. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian nanokomposit *nanoclay*-polipropilena ini telah dilakukan dalam satu semester (6 bulan), terhitung mulai bulan Januari hingga bulan Juni tahun 2009.

Proses pembentukan nanokomposit dilakukan di Sentra Teknologi Polimer (STP) Serpong dan di PT PERTAMINA Pulogadung Jakarta,

pengujian SEM dilakukan di PTBIN Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Serpong. Pengujian mekanik dan karakterisasi termal dilakukan di STP Serpong.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lempung (*Clay*)

2.1.1. Material dan Struktur *Clay*

Clay merupakan material keramik mineral alam yang kaya dengan kandungan silika dan alumina. *Clay* tersebar luas di permukaan bumi dengan komposisi pengotor yang berbeda. Mineral *clay* termasuk dalam bentonit. Konsumsi bentonit di Indonesia dari tahun ke tahun meningkat, namun produksi menurun sehingga masih harus impor seperti tertera pada Tabel 2.1 di bawah ini.

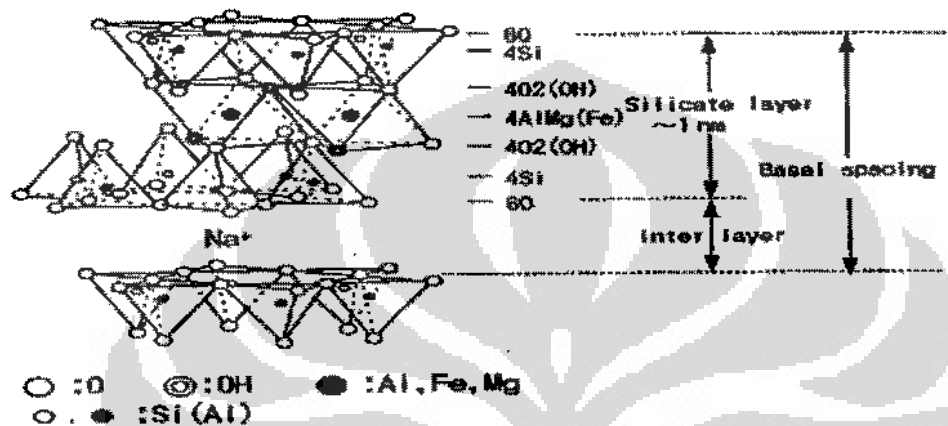
Tabel 2.1 Cadangan bentonit Indonesia^[15]

Keterangan	Tahun 2003	Tahun 2002	Tahun 2001	Tahun 2000
Produksi (ton)	99.665,65	270.000,00	225.000,00	231.000,00
Konsumsi (ton)	224.718,00	-	196.928,23	193.031,14
Ekspor (ton)	75.512,83	114.502,32	62.834,76	63.083,30
Impor (ton)	35.141,48	43.882,58	35.513,78	25.004,90

Clay dikelompokkan dalam 2 kelompok besar yaitu kelompok natrium (Na) dan kelompok kalsium (Ca). *Clay* jenis natrium memiliki sifat yang unik, yaitu di dalam air dapat mengembang dengan volume yang berlipat. Kemampuan lainnya dari *clay* adalah kemampuan dalam menukar ion yang dikandungnya sehingga dapat digunakan sebagai penukar ion, hal ini disebabkan adanya ikatan yang lemah dari kation penyusunnya seperti Na, Ca, Mg dan lainnya. Partikel *clay* memiliki kecenderungan untuk membentuk aglomerasi yang berikatan secara kuat, oleh karenanya, ketika dibentuk komposit dengan polimer, secara alami tidak akan bagus, dengan demikian maka diperlukan pendispersian *nanoclay* sebagai perlakuan awal^{[6][16]}.

Material *clay* yang digunakan menjadi bahan baku nanokomposit ini adalah *clay* yang memiliki struktur *montmorillonite*. *Montmorillonite* memiliki keistimewaan dalam strukturnya yang disebut sebagai struktur *platey* yaitu

terdiri dari 3 lapisan utama berulang, dua lapisan silika tetrahedral dan satu lapisan silika sentral oktahedral seperti terlihat pada Gambar 2.1 Ketebalan tiap lapisan silika sekitar $0,96 \text{ nm}^{[12][18]}$, *d-spacing* pada *montmorillonite*. $1,2 - 1,5 \text{ nm}^{[11]}$.



Gambar 2.1 Struktur kristal *montmorillonite*^[9]

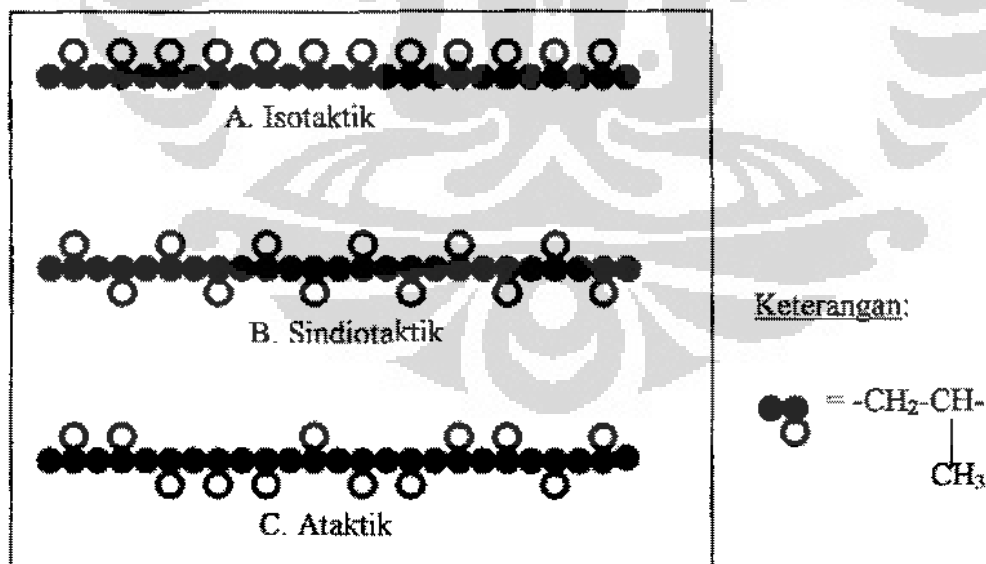
2.1.2. Perlakuan Clay

Secara alamiah *clay* berbentuk aglomerasi yang kuat yang disebabkan adanya *surface attraction* pada setiap partikel *clay*. Atraksi gaya tarik tersebut dapat dikurangi dengan melakukan *surface treatment*, yang berupa penambahan aditif seperti *surfactant* atau sejenisnya untuk mengurangi gaya tarik antar lapisan tadi sehingga jarak antar lapisan (galeri) dapat bertambah besar mencapai $>1,5 \text{ nm}^{[11]}$. Perlakuan tersebut bertujuan agar mendapatkan hasil yang bagus dalam proses pembentukan komposit. Jenis surfaktan yang banyak digunakan sebagai *clay treatment* ini adalah *Alkyl Quaternary Ammonium*^{[2][14][16]}. *Clay* yang sudah mengalami *surface treatment* ini disebut *organoclay* atau *organobentonite*. Struktur antar lapisan silika pada *organoclay* mempengaruhi sifat dari komposit^[17]. Bentuk *clay* yang telah di-

treatment struktur permukaan dengan senyawa organik disebut sebagai *organic silica layered (OLS)*^[6].

2.2. Polimer Polipropilena (PP)

Polipropilena (PP) merupakan jenis polimer yang sudah dikenal sejak lama, yaitu sejak ditemukannya cara polimerisasi oleh Natta pada tahun 1954^[18]. Polipropilena memiliki struktur kristal yang cukup tinggi. Kristal polipropilena ini terbentuk akibat adanya struktur isotaktik dari rantai molekul polipropilena. Struktur kristalin dari polipropilena merupakan kumpulan dari *spherulite*, yang tersusun atas *lamella-lamella*. *Lamella* merupakan perulangan dari makromolekul polipropilena. Unit makromolekul polipropilena berukuran antara 6 – 20 Å^[19]. Polipropilena homopolimer mempunyai banyak variasi morfologi. Pembentukan morfologi polipropilena ditentukan oleh struktur kristalnya yang disebut sebagai derajat kristalinitas. Morfologi polipropilena yang utama adalah isotaktik, sindiotaktik dan ataktik seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur polipropilena^[18]

Pembentukan konfigurasi pada struktur polipropilena dilakukan pada saat proses polimerisasi^[19]. Konfigurasi struktur polipropilena akan memberikan sifat mekanik yang khas. Demikian juga halnya dengan berat molekul. Berat molekul juga berpengaruh terhadap sifat-sifat yang diberikannya. Konfigurasi struktur polipropilena akan memberikan sifat mekanik yang khas.

Polipropilen merupakan salah satu jenis resin plastik yang diproduksi di Indonesia. Produser resin polipropilena di Indonesia diantaranya; Tripolyta, Pertamina dan Polytama. Pemanfaatan polipropilena di Indonesia masih sebatas aplikasi komoditi, padahal polipropilena merupakan salah satu jenis komoditi yang potensial bila dirubah *grade*-nya menjadi plastik teknik (*engineering*) karena memiliki struktur hidrogen tersier yang memudahkan modifikasi dari propilena dengan cara seperti cangkok (*grafting*), kopolimerisasi, dan lainnya. Karena sifat mekanik yang bagus yang dimiliki polipropilena, maka sekarang ini banyak komponen otomotif disubstitusi oleh polipropilena seperti bagian *bumper, dashboard, interior* dan lainnya.

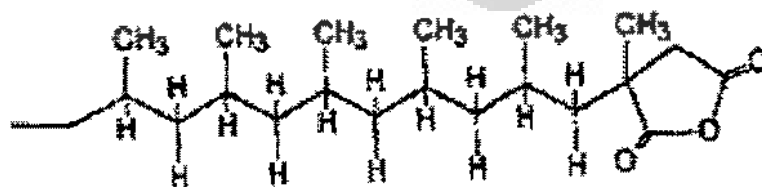
Sifat istimewa dari polipropilena untuk keperluan pembentukan nanokomposit *clay*-polipropilena adalah kekuatan ketika dalam keadaan cair atau *high melt strength PP*. Terutama ketika polimer cair mengalami *shear rate* yang tinggi, lelehan menjadi kuat, tidak jatuh walaupun tipis. Sifat ini disebut *strain hardening*. Suatu Industri polimer "Montell Polyolefin" telah mampu memproduksi polipropilena dengan rantai cabang panjang melalui proses setelah reaktor sehingga diperoleh polipropilena yang memiliki sifat '*high shear and low shear melt strength*'^[19].

2.3. Kompatibiliser (*Wetting Agent*)

Kompatibiliser (*compatibilizer*) merupakan senyawa kimia yang memiliki fungsi sebagai pengikat antara matrik dan *filler* pada sistim komposit. Kompatibiliser sendiri hanya digunakan untuk mengikat dua atau lebih material yang secara alamiah tidak bisa (sulit) bercampur, sebagai contoh plastik dengan material alam seperti kayu, logam dan keramik.

Plastik pada umumnya bersifat non polar atau *hydrophobic* (tidak suka air) sedangkan *clay* atau material keramik lainnya bersifat *hydrophilic* (suka dengan air). Polipropilena telah diuraikan di atas merupakan jenis polimer sintetik yang sangat non polar, sehingga secara alami tidak mungkin dapat berikatan kimiawi dengan *clay*. Ketika polipropilena dicampur dengan *clay*, maka segala sifat mekanik yang dimiliki oleh polipropilena tersebut akan menurun. Dari pernyataan di atas maka sangat diperlukan kompatibiliser yang akan mengikat kuat polipropilena dengan *clay*. Ada beberapa kompatibiliser yang biasa digunakan dalam pengstabil ikatan diantaranya senyawa *silane* dan maleat anhidrida(MA)

Maleat anhidrida (MA) merupakan senyawa kimia yang pada saat ini banyak disukai peneliti sebagai kompatibiliser termoplastik dengan material lainnya seperti *clay* dengan polipropilena. Kompatibiliser pada intinya berupa fungsionalisasi polimer agar memiliki ujung polar sehingga dapat berikatan dengan lapisan silika *clay*. Treese dan kawan-kawan^[2] menyatakan bahwa polipropilena yang mempunyai gugus ujung yang sangat nonpolar akan sulit sekali berinteraksi dengan permukaan *clay*, konsekwensinya agar polipropilena dapat berinteraksi dengan permukaan *clay* tersebut, maka gugus fungsi ujung molekul polipropilena harus difungsionalisasi dengan mencangkokkan (*grafted*) senyawa polar seperti maleat anhidrat menjadi polipropilena *grafting* maleat anhidrida (PP-g-MA) yang memiliki struktur dapat dilihat pada Gambar 2.3 di atas. PP-g-MA terdispersi dengan baik dalam polipropilena dan berikatan baik pada permukaan *clay*^[2].



Gambar 2.3. Struktur kimia kompatibiliser PP-g-MA⁽²⁰⁾

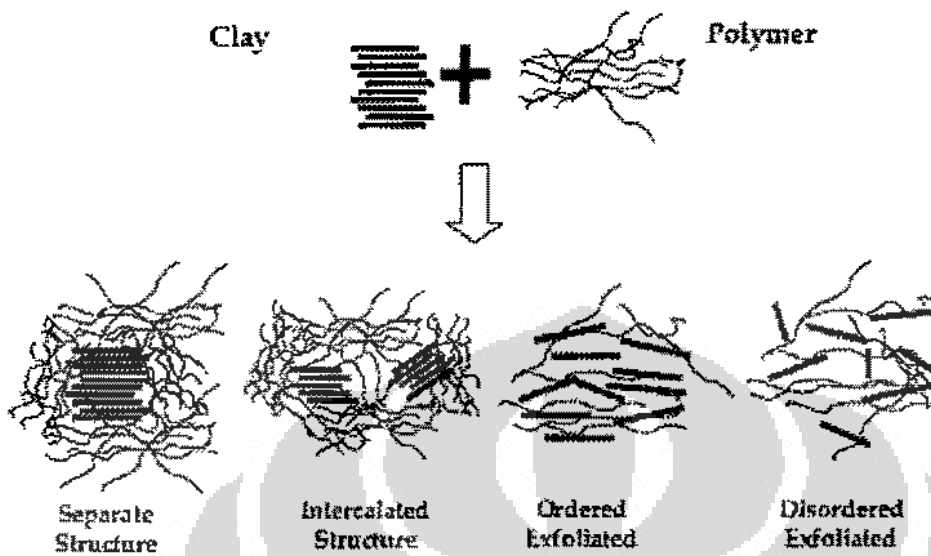
2.4. Nanokomposit

Nanokomposit merupakan pengembangan dari teknologi komposit. Nanokomposit mensubstitusikan partikel berukuran nano meter (ukuran < 100 nm) sebagai *filler* penguat (*reinforcement*) ke dalam suatu matrik pada sistem komposit, baik dari satu jenis material matrik maupun campuran beberapa material matrik. Matrik biasanya berupa polimer, keramik, maupun logam, sedangkan partikel penguat biasanya berbentuk partikel biasa, serat, tabung, sferikal dan lainnya^[11].

Dalam pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena ada beberapa teknik yang harus dikembangkan agar dapat meningkatkan sifat-sifat bila dibandingkan sifat-sifat material asalnya. Paling tidak ada tiga usaha yang harus dilakukan dalam meningkatkan sifat komposit tersebut, yaitu; 1) memodifikasi permukaan lapisan-lapisan silika dalam *montmorillonite*, diantaranya dengan membentuk interkalasi lapisan-lapisan dengan menggunakan bahan organik membentuk *organic layered silica* (OLS)^[6] sebelum dicampur dan biasanya senyawa organik yang digunakan memiliki gugus fungsi amin^[7]; 2) memodifikasi sifat polimer dari *hydrophobic* menjadi *hydrophilic* misalnya dengan mencangkokkan senyawa maleat anhidrida pada rantai panjang polimer menjadi polipropilena *grafting* maleat anhidrida (PP-g-MA)^[10]; dan 3) memodifikasi kondisi proses, misalnya menambah *shear*, menambah waktu pendispersian dan lain sebagainya^[6].

Penelitian pendispersian OLS dalam polipropilena telah dilakukan pula oleh Chong dan kawan-kawan^[22], dan hasilnya menunjukkan bahwa pendispersian *nanoclay* yang sempurna pada nanokomposit dapat meningkatkan sifat mekanik seperti modulus dan kuat tarik.

Harapan dari fabrikasi nanokomposit *nanoclay*-polipropilena adalah terjadinya interkalasi atau eksfoliasi lapisan silika oleh polipropilena seperti dapat dilihat pada Gambar 2.4^[21]



Gambar 2.4. Proses dispersi *nanoclay* dalam matrik polimer^[21]

2.5. Optimalisasi Parameter Proses Fabrikasi

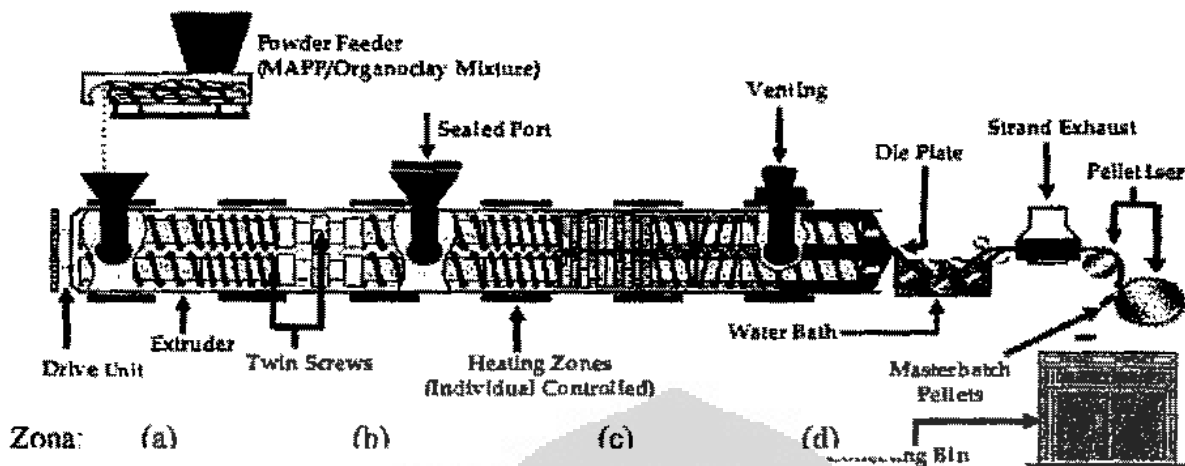
Optimasi parameter proses fabrikasi merupakan salah satu parameter yang menentukan dalam keberhasilan pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena. Parameter tersebut adalah kesempurnaan pendispersian *nanoclay* dalam matrik polipropilena. Utracki L. A. dan kawan-kawan^[23] membuktikan dalam penelitiannya di Taiwan bahwa pemakaian *twin screw extruder* (TSE) sebagai alat pencampur dapat mendegradasi agregat partikel *clay* menjadi partikel *nanoclay* yang terdispersi dalam matrik polimer. Kesempurnaan dispersi *nanoclay* pada matrik polimer ditunjukkan dengan terbentuknya eksfoliasi atau interkalasi dari lapisan-lapisan silika pada *clay* oleh molekul polimer^[12]. Secara mekanik kesempurnaan pendispersian *clay* ini dapat diusahakan dengan mengoptimalkan kecepatan *screw*, waktu tinggal, bentuk/jenis konfigurasi *screw*, panjang *screw* dari mesin pencampur ekstruder^[2]. Pemakai ekstruder jenis *twin screw* telah memberikan hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan *single screw* pada proses pembentukan

komposit dengan catatan parameter lainnya disamakan^{[13][14]}. Contoh lainnya jika digunakan *screw* lebih panjang atau lebih banyak konfigurasi pencampurnya tentu akan lebih baik pendispersiannya jika dibandingkan dengan pemakaian *screw* yang lebih pendek dan konfigurasinya sederhana. Jenis dan jumlah element dari *screw section* juga akan mempengaruhi pada hasil pendispersian *nanoclay* nanokomposit pada matrik polimer. Kato dan kawan-kawan dari Toyota Central R&D Laboratory menggunakan mesin *twin screw extruder* dalam proses fabrikasi nanokomposit memberikan kesempurnaan interkalasi dan ekspoliasi *nanoclay* dalam polimer^[24].

2.5.1. Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder* (TSE)

Ada beberapa peralatan yang digunakan untuk mencampur (*mixing*) plastik, baik plastik dengan plastik maupun plastik dengan *filler* ataupun aditif lainnya, diantaranya *banbury mixer*, *single screw extruder mixer*, *static mixer*, *cokneader*, dan *twin screw extruder*. *Twin Screw Extruder* (TSE) dikelompokkan sebagai *continue mixer*, dimana penambahan material dan keluaran (produk) berjalan secara kontinu tanpa harus menghentikan peralatan yang sedang berjalan^[25].

Twin Screw Extruder sudah cukup lama digunakan dalam proses pencampuran polimer, baik dengan polimer lain maupun dengan *filler* dan aditif lainnya. Untuk mendapatkan hasil optimal dari pencampuran, maka perlu pengkondisian yang tepat diantaranya; temperatur pelelehan, kecepatan putar *screw* (*shear rate*), besar tekanan dan viskositas. Untuk penyempurnaan *shear rate*, maka *screw* dari mesin pencampur TSE didisain paling tidak terdiri dari tiga atau empat bagian utama, dengan fungsi masing-masing sebagai *feeder/conpeying*; *transition/melting*; *mixing/kneading*; dan *compressing/matering*^[25]. Skematik peralatan dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



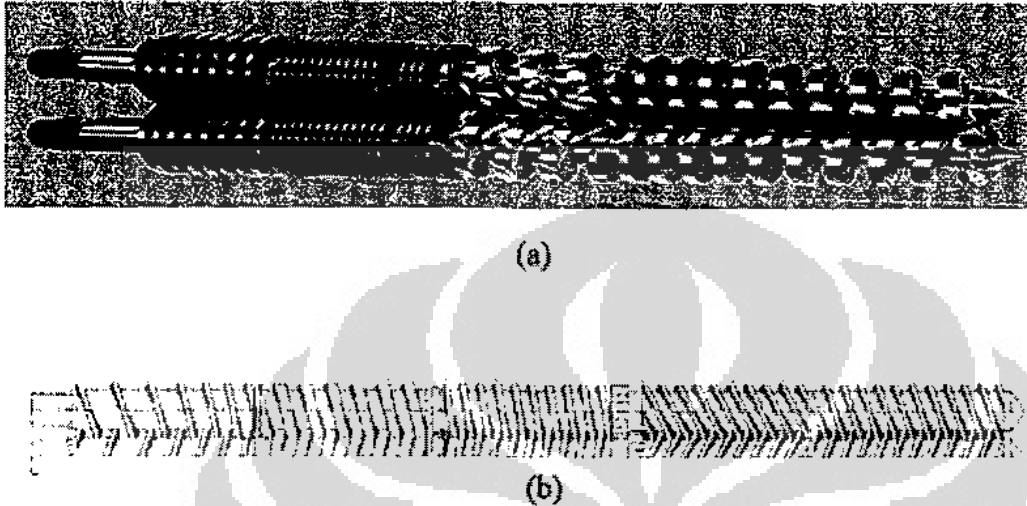
Gambar 2.5. Peralatan mesin pencampur ekstruder (tipe *Twin Screw Extruder*)^[26]

Seperti terlihat pada gambar di atas, peralatan Ekstruder terbagi atas empat bagian utama (zona), yaitu bagian *feeding/conveying* (transfer bahan resin butiran) (a); bagian *transition* (pelelehan butiran plastik) (b); bagian *mixing/kneading* (merupakan bagian utama pencampuran dan pendispersian *filler* terhadap matrik plastik) (c), dan terakhir bagian *metering/compressing* (d) yang mendorong hasil pencampuran ke bagian luar dari ekstruder.

2.5.2. Screw pada Mesin Pencampur *Twin Screw Extruder*

Faktor utama yang menentukan keberhasilan dari pencampuran menggunakan *twin screw extruder* adalah konfigurasi dari *screw*-nya. *Screw* terdiri dari beberapa bagian, dimana setiap bagian memiliki konfigurasi tertentu dengan fungsi tertentu pula seperti telah disebutkan di atas. Susunan *Screw* dengan susunan konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini. Untuk terdispersinya nanopartikel dalam mesin pencampur *twin screw extruder* secara sempurna maka perlu dipilih konfigurasi *screw* tipe *dispersive*^[26]. Dilihat dari bentuk *screw* maka dikenal *screw conical* (Gambar 2.6. (a)) dan *screw biasa* (Gambar 2.6. (b)). Diantara kedua macam bentuk

screw ini, maka *screw conical*) lebih efisien dalam proses pencampuran, karena tekanan yang terjadi pada bagian matering memberikan kehomogenan material-material yang dicampur.



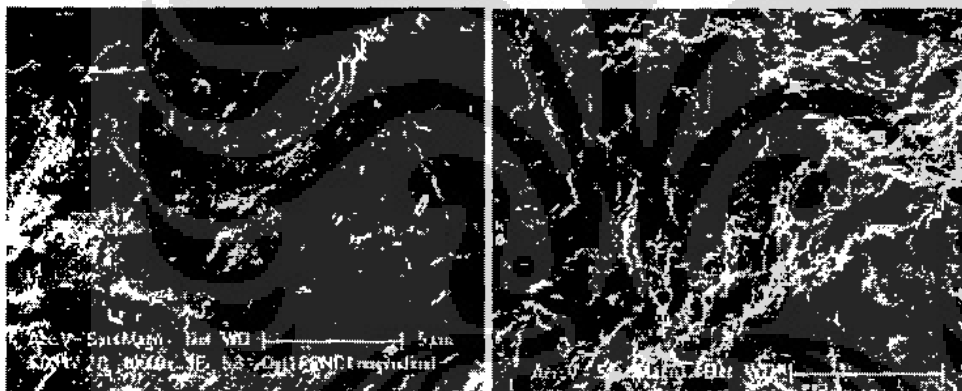
Gambar 2.6. Konfigurasi *Screw*. (a) *Screw* tipe *Conical*. (b) *Screw* tipe biasa^[26]

2. 6. Penelitian Terkini Bidang Nanokomposit

Dewasa ini beberapa peneliti telah melakukan percobaan pendispersian *montmorillonite* dalam termoplastik seperti dalam polipropilena (PP)^{[1][2][4][14][22]}, polietilena (PE)^{[27][28]}, polivinil klorida (PVC)^[29], etilvinil asetat (EVA)^[30], *etilenpropilenebutadiene rubber* (EPDM)^[31], polimetil metakrilat (PMMA)^[32], polistirena (PS)^[33], *nylon*^[4], dan PVDF^[34]. Pembentukan inisiasi interkalasi lapisan-lapisan silika dilakukan terpisah sebelum *blending* dengan polimer, dimana *montmorillonite* didispersikan dalam senyawaan amin primer ataupun amin quarter, sehingga lapisan-lapisan silika *montmorillonite* tersebut menjadi lebih terbuka dan memiliki gugus senyawa organik yang bersifat non polar, maka *montmorillonite* dapat terinterkalasi dan bias kompatibel dengan polipropilena. Dalam proses pendispersian, kejadian interkalasi dapat diamati dengan XRD ataupun TEM.

Sifat termal dari nanokomposit ini dapat diamati dengan peralatan DSC, TGA ataupun DMTA. Dari penelitian ini mereka bisa membuktikan bahwa tingkat interkalasi/eksfoliasi lapisan-lapisan silika dalam matrik polipropilena dapat berpengaruh pada sifat-sifat mekanik dari nanokomposit secara keseluruhan^[6].

Penelitian lainnya telah berhasil mengeksfoliasi lapisan silika *montmorillonite* dalam PE dengan bantuan kompatibiliser PE-g-MA, dimana proses pencampuran dilakukan dalam ekstruder pada temperatur 140°C. Pada penelitian tersebut mereka menggunakan partikel nano *clay* dengan komposisi 5 % dalam PE, hasil pengamatannya dengan TEM dan XRD menyatakan bahwa *montmorillonite* berhasil tereksfoliasi dan terinterkalasi dalam matrik PE^[11]. Pendispersian *nanoclay* dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dapat diamati dengan SEM seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.7. di bawah ini,



Gambar 2.7. Dispersi *nanoclay* hasil pengamatan dengan SEM^[33]

Penelitian untuk polipropilena telah dilakukan oleh M. Sirousazer dan rekannya^[1], yaitu pembentukan material nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan komposisi 0-10 % organo *montmorillonite*. Dari penelitian yang dilakukannya mereka berhasil meningkatkan sifat-sifat material polipropilena seperti sifat mekanik^[1]. Jianming Li dan rekannya^[5]

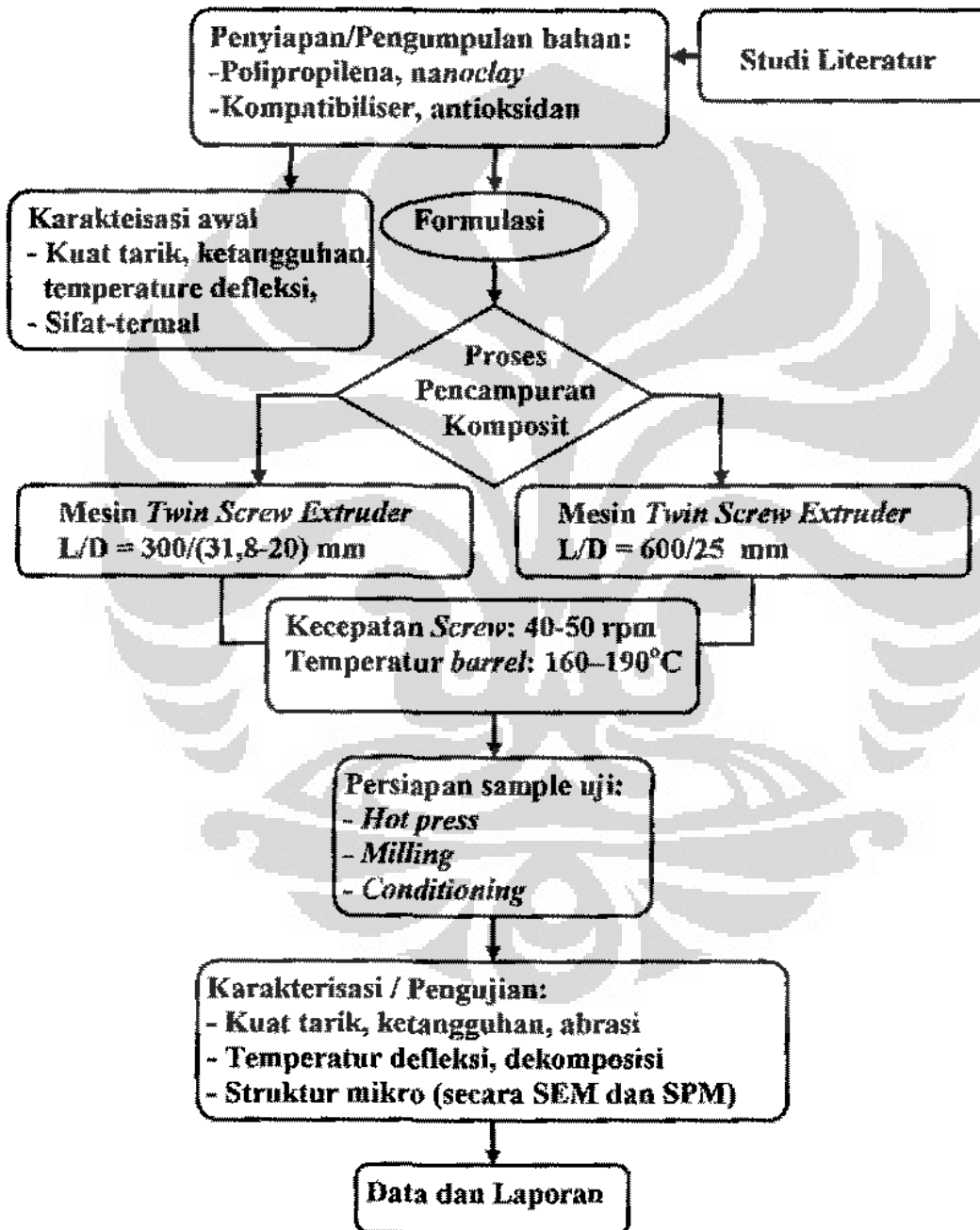
berhasil pula mendispersikan 2 % *organoclay* dalam propilena pada kondisi temperatur 190°C, selama 5 menit dengan lingkungan gas nitrogen. Peralatan *blending* yang digunakan adalah berupa *mixer* tersirkulasi dengan kecepatan *screw* 100 rpm^[6]. Peralatan *blending* yang digunakan adalah berupa *mixer* tersirkulasi dengan kecepatan *screw* 100 rpm^[6]. *Blending* polipropilena dan *organoclay* dengan *compatibilizer* PP-g-MA dilakukan dalam mesin pencampur *twin screw extruder* menghasilkan pendispersian *nanoclay* yang sempurna pada polimer dan hasilnya dapat meningkatnya sifat mekanik dari nanokomposit *organoclay*-polipropilena tersebut^{[2][15]}. Yeh Wang dan kawan-kawan^[36] melalui penelitian nanokomposit *clay*-polipropilena menyimpulkan bahwa tahapan pencampuran bahan utama (*clay*, polipropilena) dan kompatibiliser (PP-g-MA) dan waktu tinggal material dalam mesin pencampur TSE berpengaruh proses ekspoliasi dan interkalasi dari *nanoclay* dalam matrik polipropilena. Dalam penelitian lainnya Yeh Wang dan kawannya^[37] membuktikan bahwa ada beberapa faktor lainnya yang sangat berpengaruh terbentuknya interkalasi dan ekspoliasi *nanoclay* dalam matrik polimer diantaranya ukuran molekul (MW) polipropilena dan *shear viscosity*^[37].

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan urutan pada diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1. di bawah ini,



Gambar 3.1. Tahapan proses penelitian

3.2. Prosedur Penelitian

Penelitian yang dilakukan mengikuti prosedur penelitian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Studi pustaka yang menyangkut pembentukan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan kajian mengenai bahan, karakter bahan, proses fabrikasi, dan karakterisasi sifat-sifat mekanik dan sifat termal.
2. Menyiapkan bahan baku yang meliputi penyediaan polipropilena, *nanoclay (organoclay)*, kompatibiliser (PP-g-MA), aditif (antioksidan primer dan sekunder), serta bahan pendukung lainnya.
3. Melakukan proses fabrikasi nanokomposit *nanoclay*-polipropilena.
4. Melakukan karakterisasi yang diawali dengan preparasi pembuatan sample uji.
5. Pembuatan/penulisan laporan.

3.2.1. Bahan Pembentukan Nanokomposit

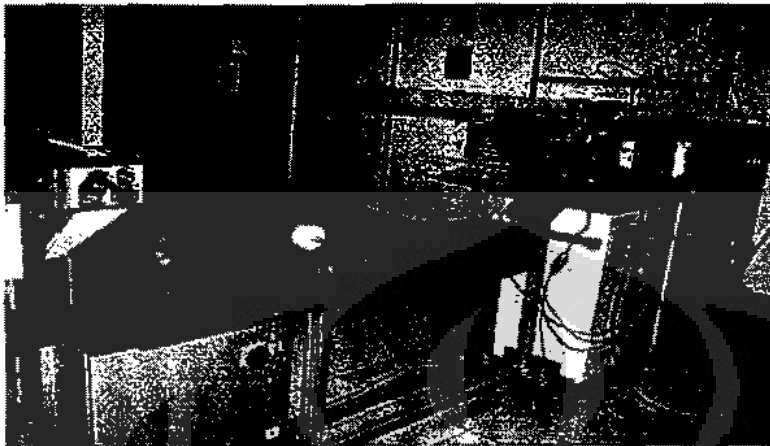
Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya;

1. Polipropilena tipe Trilene HI 35 HO, dengan titik leleh (T_m) 163°C yang dibeli dari PT Tri Polyta Indonesia;
2. *Nanoclay/organoclay* merek NANOMER-I.44PT[®], dari NANOCOR Amerika;
3. Kompatibiliser PP-g-MA merek EPOLENE G-3003 POLYMER dari EASTMAN *Chemical Company* Amerika;
4. Antioksidan Irgafos 168 dan Irganox B215 produksi Merck.
5. Bahan kimia lainnya dibeli dari agen Merck Indonesia.

3.2.2. Proses Fabrikasi Nanokomposit

Fabrikasi nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dilakukan dengan menggunakan mesin pencampur *twin screw extruder* HAAKE CTW 100p^{[2][36][38]} dengan panjang *screw* = 300 mm dan diameter = 31,8–20 mm

(Gambar 3.2) dan mesin pencampur *Viscosity HAAKE Rheocord 90* (Gambar 3.3) dengan panjang *screw* = 600 mm dan diameter = 25 mm.



Gambar 3.2. Mesin pencampur *twin screw extruder* HAAKE CTW 100p (mesin TSE *screw* pendek)

Polipropilena, kompatibiliser PP-g-MA, *nanoclay*, dan antioksidan (Irganox 1010/Irgafos 168) dicampurkan dengan komposisi seperti terlihat pada Tabel 3.1. Campuran diaduk merata dalam suatu wadah tertutup di luar mesin ekstruder lalu dimasukkan lewat *hopper* bagian *feeder* peralatan *twin screw extruder*. Kondisi peralatan pencampuran (*blending*) diuraikan pada Table 3.3. di bawah ini,

Tabel 3.1. Komposisi pembentukan nanokomposit.

Bahan	Tipe/merek	Komposisi
Polipropilena	PP HI 35 HO	91,3 % berat
<i>Nanoclay</i>	Nanomer 1.44 PT	3,5 % berat
Kompatibiliser	Epolene G-3003	5 % berat
Antioksidan	Irganox-Irgafos	0,2 % berat

Jumlah formulasi sample yang dibentuk dalam penelitian ini adalah 4 formula nanokomposit dengan satu standar polipropilena seperti tertera dalam Tabel 3.2. di bawah ini

Tabel 3.2. Formulasi sampel nanokomposit.

No	Nama Formula	Kode Sampel
1.	Polipropilena	Polipropilena
2.	Nanokomposit <i>clay</i> alam-polipropilena	PP-Cnat
3.	Nanokomposit <i>nanoclay</i> -polipropilena, mix di STP	PP-Cstp
4.	Nanokomposit <i>nanoclay</i> -polipropilena, mix di Pertamina 1 x	PP-Cptm1
5.	Nanokomposit <i>nanoclay</i> -polipropilena, mix di Pertamina 1 x	PP-Cptm2



Gambar 3.3. Mesin pencampur *Viscosity HAAKE Rheocord 90* (mesin TSE screw panjang)

Pellet komposit hasil pencampuran selanjutnya dibentuk sampel uji. Pengamatan struktur mikro nanokomposit dilakukan dengan pengujian SEM dan AFM. Pengujian mekanik yang akan dilakukan meliputi pengujian kekuatan tarik, dampak, kekerasan, temperatur defleksi, temperatur dekomposisi dan ketahanan aus.

Tabel 3.3. Kondisi peralatan fabrikasi nanokomposit

No	Parameter	Kondisi
1.	Mesin <i>twin screw extruder</i> , screw pendek	Panjang <i>Screw</i> = 300 mm Diameter = 31,8–20 mm
2.	Mesin <i>twin screw extruder</i> , screw panjang	Panjang <i>Screw</i> = 600 mm Diameter = 25 mm
3.	Temperatur proses	160 – 190°C
4.	Kecepatan <i>screw</i>	40-50 rpm

3.2.3. Pengujian mekanik Nanokomposit

3.2.3.1. Pengujian Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material diantaranya *tensile strength* (kuat tarik) dan *modulus elastisity* (modulus kekakuan). Nanokomposit yang sempurna dalam proses pendispersiannya nanopartikelnya tentunya memiliki nilai kuat tarik dan modulus kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material induknya.



Gambar 3.4. Alat pengujian kuat tarik *Universal Testing Machine* (UTM)

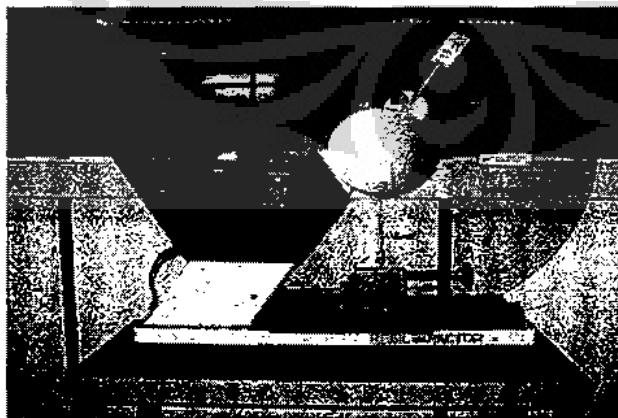
Pengujian kuat tarik yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM D638-2003. Ukuran spesimen memiliki ketebalan sekitar 3 mm sesuai petunjuk ASTM D638-2003 tipe 1, dimana sample yang berupa *pellet* hasil fabrikasi dibentuk spesimen uji (sampel uji) menggunakan peralatan *compression molding*.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

Pengujian kuat tarik dilakukan pada kondisi temperatur ruang dengan kecepatan tarik ditetapkan pada 50 mm/menit, nilai kuat tarik tercatat dalam sistim komputer yang dilengkapi grafik^[39]. Alat yang digunakan adalah UTM berkekuatan 10 Newton merek Shimadzu tipe AGS-10kNG (Gambar 3.4).

3.2.3.2. Pengujian Ketangguhan (*Impact Charpy*)

Pengujian *Impact Charpy* bertujuan untuk mengetahui sejauh mana ketangguhan dari material, terutama polimer dan komposisinya. Pengujian mengacu pada standar pengujian ISO/DIS 179-1:1997.

Sampel uji dipreparasi dengan menggunakan mesin *milling* untuk mendapatkan dimensi yang sesuai untuk pengujian *impact charpy*. Sebelum diuji sampel dikondisikan pada temperatur 23°C dengan kelembaban relatif 50 % selama 48 jam^[40]. Pengujian dilakukan pada posisi *edgewise* dengan energi pendulum 7,5 J dengan percepatan impak 2,9 m/det². Kondisi ruang pada saat pengujian dilakukan adalah temperatur 22,6°C dan kelembaban relatif 62 %.



Gambar 3.5. Alat pengujian *Impact Charpy*

Pengujian *Impact Charpy* dilakukan dengan menggunakan alat *Impact Tester* merek CEAST Resil *Impactor Junior* dengan kekuatan/kemampuan sampai 7,5 J (Gambar 3.5).

3.2.3.3. Pengujian Kekerasan (*Hardness Rockwell Shore D*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan material plastik. Nanokomposit *nanoclay*-polipropilena merupakan material plastik polipropilena dengan *filler* penguat keramik jenis *clay*, tentunya memiliki kekerasan lebih tinggi dibanding kekerasan plastik polipropilenanya itu sendiri. Pengujian yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ISO 2039-1:2001. Digunakan *Ball Indentation* dengan beban 358 N, selama 30 detik^[41].



Gambar 3.6 *Hardness Rockwell ball indenter* untuk uji kekerasan

Sampel uji dipersiapkan dalam bentuk *sheet* ukuran lebar spesimen minimal 25 mm dengan ketebalan 3 mm. Sampel dikondisikan pada suhu 23°C dan kelembaban relatif 50% selama 48 jam. Pengujian dilakukan pada temperatur ruang dengan menggunakan alat *Hardness Rockwell ball indenter*

merek Emcotest 15298 yang memiliki kemampuan pengujian kekerasan hingga kekerasan $H = 1-500 \text{ N/mm}^2$ (Gambar 3.6). Pengujian dilakukan pada temperatur ruang $22,2^\circ\text{C}$ dengan kelembaban 61 %. Setiap pengujian dilakukan 10 kali perulangan sampel.

3.2.3.4. Pengujian Temperatur Defleksi (HDT)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui sifat defleksi material polimer dalam aplikasi produk dengan pembebanan tertentu seperti yang telah ditetapkan pada temperatur yang meningkat sesuai dengan standar yang pengujian ISO 75:2004. Nilai *heat deflection temperature* (HDT) menunjukkan nilai temperature dimana sampel pengujian mengalami defleksi.

Pengujian HDT dilakukan dengan menggunakan peralatan khusus (sesuai ISO 75:2004). Preparasi sampel dilakukan dengan *compression molding* pada temperatur 200°C . Sampel dipotong dengan ukuran $100 \times 10 \times 4$ mm. Kemudian dilakukan pengkondisian pada temperatur 23°C dan kelembaban 50% selama 40 jam. Media yang digunakan sebagai pemanas adalah *silicon oil* dengan kecepatan pemanasan $120^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C/jam}$, dilengkapi dengan pengaduk. Sampel pengujian diletakan pada tempatnya (*holder*), kemudian diberi beban tetap dan dimasukkan kedalam *chamber* berisi media *silicon oil* yang dipanaskan. Pencatatan dilakukan setelah *dial gauge* menunjukkan defleksi 0,34 mm.



Gambar 3.7. Alat *Frank Prüfgeräte GmbH* untuk pengujian HDT

Uji ketahanan terhadap defleksi pada beban tertentu yang tetap dilakukan untuk menentukan temperatur pelunakan material^[42].

Pengujian HDT ini dilakukan dengan menggunakan alat produksi *Frank Prüfgeräte GmbH* dengan kemampuan operasional pada temperatur 25°C s/d 300°C (Gambar 3.7)

3.2.3.5. Pengujian Ketahanan Aus (*wear resistance*)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketahanan aus nanokomposit *nanoclay*-polipropilena. Nanokomposit dengan kandungan *clay* dalam matrik polipropilena tentunya memiliki ketahanan abrasi yang lebih tinggi dibanding polipropilennya sendiri. Pengujian ini didasarkan pada penghitungan kehilangan berat (*weight loss*) per satuan luas (mg/inc^2).

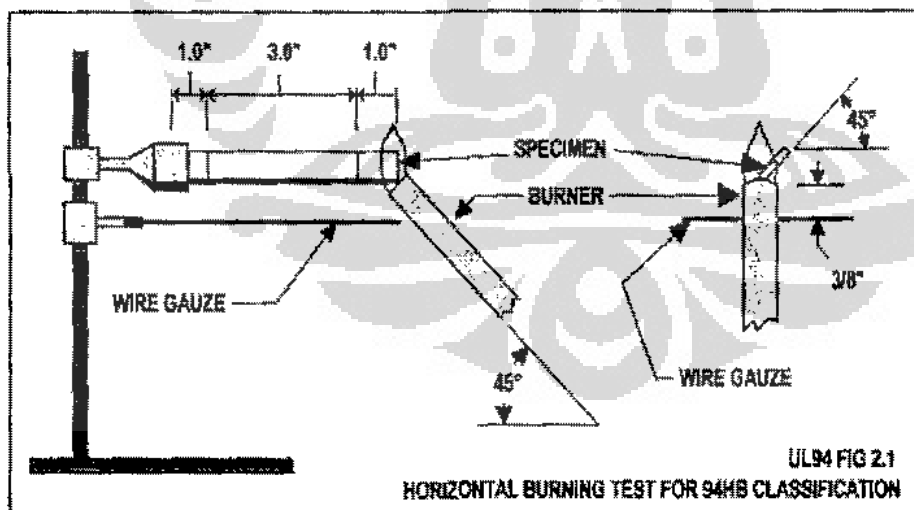


Gambar 3.8. Alat *Taber Abrastion* untuk pengujian ketahanan aus

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Taber Rotary Platform*, model 5135/515 (Gambar 3.8). Pengujian mengacu pada standar pengujian ASTM D1044-99. Sampel uji berbentuk pelat melingkar dengan diameter 4 inci, pembebanan dengan seberat 500 gram. Rotasi dilakukan dalam 1000 putaran^[43]. Kehilangan berat karena abrasi dicatat sebagai fungsi dari jumlah putaran.

3.2.3.6. Analisa Kecepatan Bakar (*flamability*)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat material polimer terbakar pada posisi *horizontal*. Pengujian mengacu pada standar pengujian UL 94. pengujian ini biasanya dilakukan untuk material plastik yang digunakan untuk struktural bangunan dan komponen kendaraan. Sampel dipotong dengan ukuran panjang 5 inci dan lebar 0,5 inci, dengan ketebalan sampel sekitar 3,2 cm sesuai standard pengujian UL 94. Teknik pengujian dilakukan dengan susunan seperti tertera pada Gambar 3.9. Gas yang digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran sampel adalah gas metana dengan kemurnian 99 %.



Gambar 3.9. Gambar teknik pengujian kecepatan bakar^[44]

Sebelum diuji, sampel dikondisikan pada temperatur 23 °C dan kelembaban relatif 50 % selama 40 jam. Pada pengujian ini dicatat kecepatan bakarnya dan dihitung sebagai *linier burning rate* dari sample tersebut^[44].

3.2.4 Karakterisasi Nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena

3.2.4.1. Pengujian Temperatur Dekomposisi

Pengujian ini bertujuan untuk degradasi/dekomposisi material komposit (dalam kondisi gas nitrogen) menjadi molekul-molekul sederhana (gas). Peralatan yang digunakan adalah TGA (*Thermal Gravimetric Analysis*)^[45]. Sampel ditimbang, lalu dimasukkan ke dalam sebuah *crucible*. *Crucible* berisi sampel ditempatkan pada *chamber* pengujian dengan program pemanasan dari 30 °C hingga 600 °C dengan kecepatan kenaikan temperatur 10 °C/menit dan kecepatan aliran gas nitrogen 50 ml/menit. Kemudian ditahan (*isothermic*) selama 5 menit pada suhu 600 °C dan pemanasan dilanjutkan kembali hingga 900 °C pada lingkungan gas oksigen dengan kecepatan aliran gas oksigen 50 ml/menit.



Gambar 3.10. Alat DSC dan TGA untuk uji temperatur leleh dan temperatur dekomposisi

Pengujian temperatur dekomposisi ini menggunakan peralatan TGA tipe Mettler Toledo TGA/SDTA 851^o dilengkapi *micro balance* dengan kemampuan degradasi 25 °C s/d 1000 °C (Gambar 3.10).

3.2.4.2. Pengujian Temperatur Leleh

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui titik leleh sebelum dan sesudah penambahan *nanoclay* pada polipropilena.

Pengujian dilakukan sesuai dengan ASTM D3418-03^[44] menggunakan DSC (*differential Scanning Calorimetric*). Sampel ditimbang sekitar 10 - 20 mg kemudian dimasukkan dalam *crucible*. *Crucible* berisi sampel ditempatkan pada *chamber* pengujian. Pengukuran dilakukan dengan tahapan:

- a. Pemanasan pada rentang temperatur 30 – 200 °C dengan kecepatan pemanasan 20°C/menit dan aliran gas N₂ sebesar 50 mL/menit.
- b. Pendinginan pada rentang temperatur 200 – 30 °C dengan kecepatan pendinginan 25°C/menit dan aliran gas N₂ sebesar 50 mL/menit.
- c. Pemanasan pada rentang temperatur 30 – 300 °C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit dan aliran gas N₂ sebesar 50 mL/menit.

Pengujian menggunakan alat DSC tipe Mettler Toledo DSC 821^o dengan kemampuan sel pengukur pada -150°C s/d 450°C (Gambar 3.10).

3.2.4.3. Analisis Struktur Mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui sebaran nanopartikel (*nanoclay*) yang dibentuk dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena. SEM hingga saat masih banyak digunakan untuk analisis mikro struktur karena merupakan mikroskop dengan pembesaran cukup tinggi dan resolusi cukup tinggi. Pembesaran pada SEM dapat mencapai 200.000 kali, namun beberapa alat yang ada umumnya memiliki resolusi yang rendah pada pembesaran tinggi. Dari gambar SEM diharapkan dapat melihat apakah partikel *clay* dapat terdispersi secara merata ataukah tidak.

Pada analisis mikro struktur dengan menggunakan SEM ini, sampel polimer harus dilapisi dengan partikel emas untuk membantu konduktivitas sinar elektron. Pengamatan dilakukan pada pembesaran 20.000 kali, karena di atas angka itu gambar tidak bisa fokus. Kelemahan dari SEM adalah pengamatan material hanya untuk dipermukaan saja. Alat yang digunakan adalah merek JEOL tipe JSM-6510.

3.2.4.4. Analisis Struktur Mikro menggunakan SPM (*Scanning Probe Microscope*)

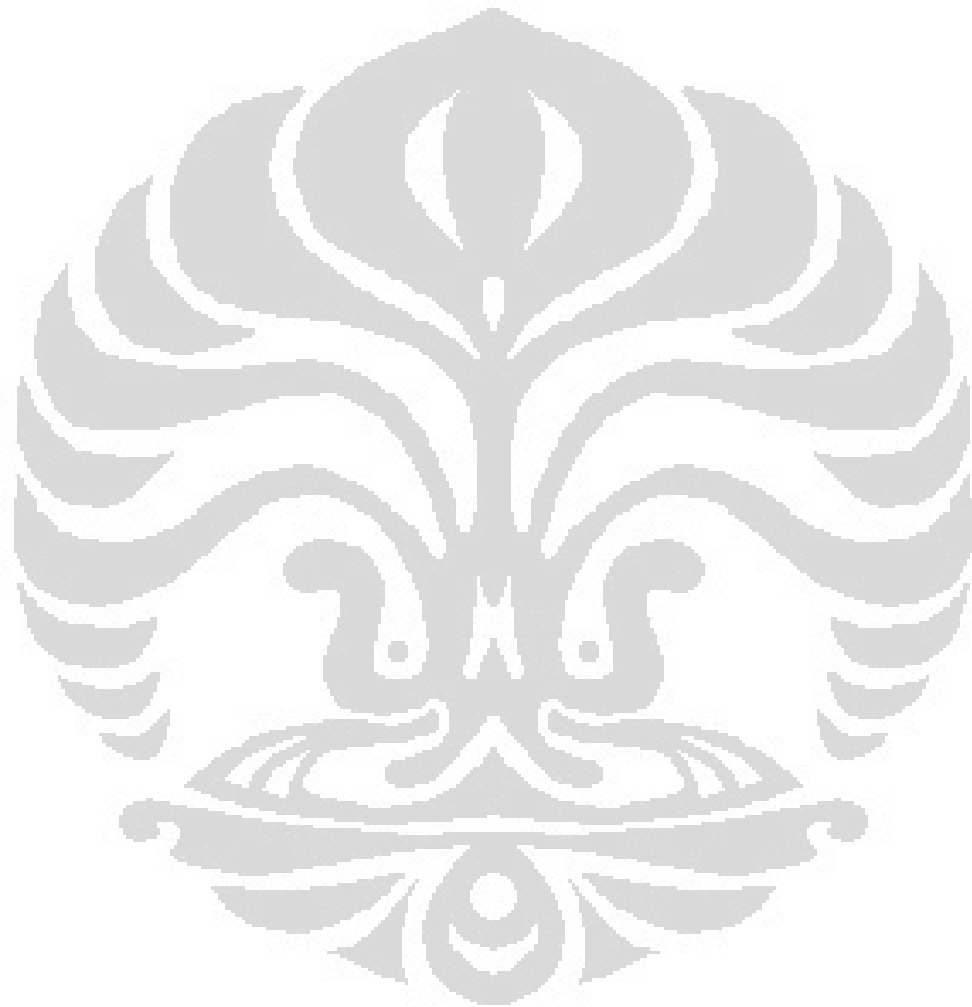
Pada analisis struktur ini digunakan AFM teknik SPM (*Scanning probe microscope*). Analisis struktur mikro ini bertujuan untuk mengukur partikel melalui morfologi permukaan dengan bantuan *tip cantilever*. Pengukuran dikalibrasi dengan partikel nano tembaga. Syarat dari pengukuran menggunakan metode SPM ini adalah permukaan dari sampel harus bersih dan halus (dirasa dan dipandang). Peralatan SPM dapat dilihat pada Gambar 3.11./



(a)

(b)

Gambar 3.11. (a) Peralatan SPM dari *Agilent Technology*, (b) prinsip SPM

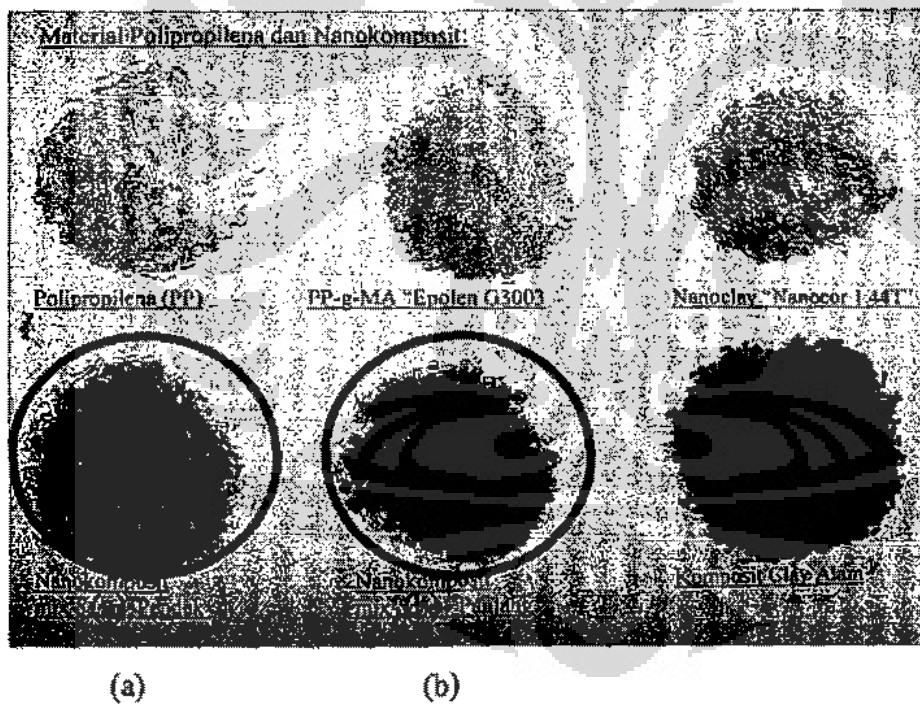


BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Usaha peningkatan dispersi *nanoclay* dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena telah dilakukan melalui peningkatan panjang *screw* pada proses fabrikasi menggunakan mesin pencampur *twin screw extruder* (TSE). Penggunaan *screw* yang lebih panjang dalam proses fabrikasi ini menjadikan proses pencampuran nanokomposit lebih lama. Hasil usaha perbaikan proses ini dianalisis sifat-sifatnya, baik sifat mekanik maupun sifat termal. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan SEM dan SPM

Produk nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE ini berupa *pellet* dan diperlihatkan pada Gambar 4.1.

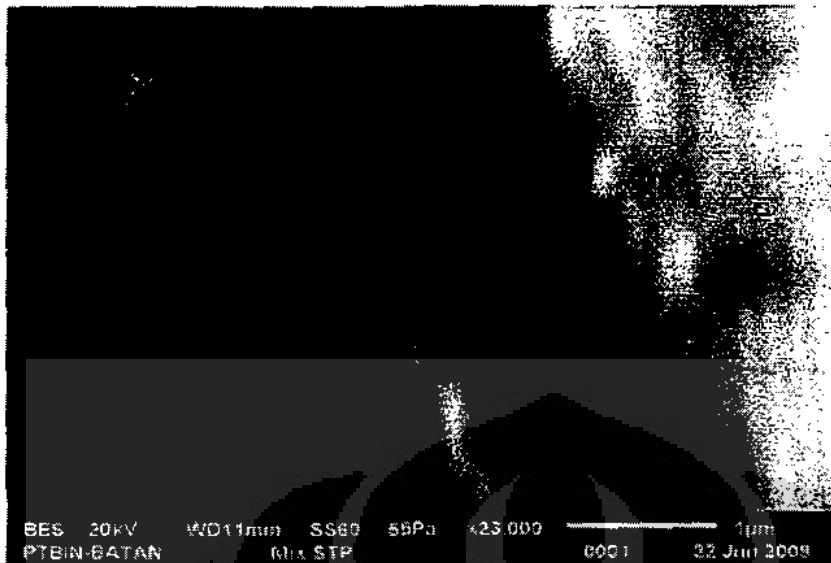


Gambar 4.1. Nanokomposit hasil fabrikasi dengan tanda lingkaran merah, (a) hasil fabrikasi mesin pencampur TSE *screw* pendek, (b) hasil fabrikasi mesin pencampur TSE *screw* panjang.

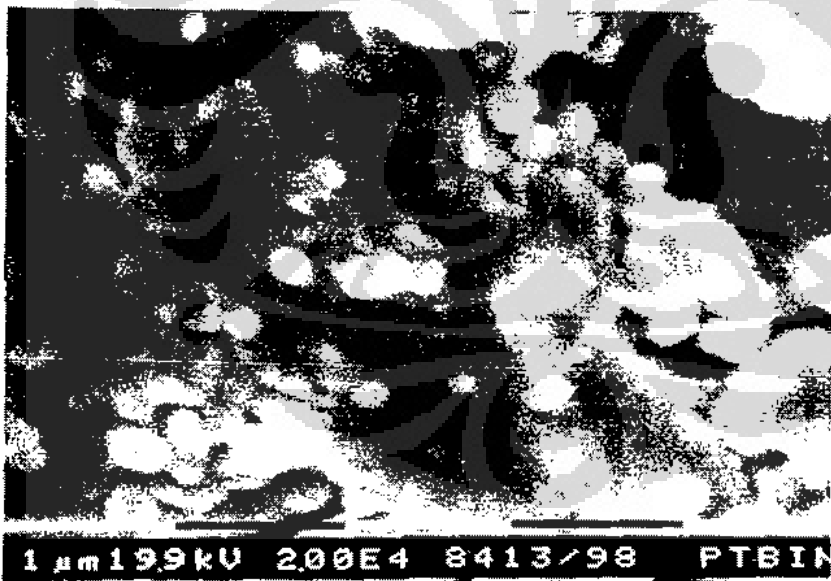
Nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek (Gambar 4.1.(a)) berwarna kuning tua Nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang (Gambar 4.1.(b)) berwarna kuning muda. Warna kuning terbentuk dari pencampuran bahan baku kompatibiliser PP-g-MA dan *nanoclay* atau *organoclay* yang memberikan warna lebih gelap.

Struktur mikro nanokomposit hasil fabrikasi dianalisis menggunakan mikroskop *Scanning Electron Microscope (SEM) high resolution* dengan perbesaran 20.000 kali. Hasil pengamatan menggunakan SEM diantaranya dapat dilihat pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.5. Gambar SEM pertama diambil dari sampel tanpa pelapisan partikel emas dan gambar SEM kedua sampel dilapisi partikel emas. Pelapisan emas dimaksudkan untuk membantu konduktivitas nanokomposit sehingga seluruh permukaan dapat diamati secara merata sesuai dengan ratanya pelapisan dengan partikel emas. Pada pengamatan SEM tanpa dilapisi partikel emas diperlukan energi tinggi dengan maksud agar sinar elektron dapat masuk ke bagian dalam, tidak hanya dipermukaan.

Dari *image* SEM hasil analisis pada sampel hasil fabrikasi dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek terlihat bahwa sebaran/distribusi *nanoclay* kurang sempurna, masih terlihat adanya partikel bentuk agregat dari *nanoclay* dan sebarannya tidak merata. Agregat dari partikel *nanoclay* ditunjukkan dengan tanda panah merah pada Gambar 4.2. pada sampel tanpa dilapisi partikel emas dan pada Gambar 4.3 untuk sampel yang dilapisi partikel emas. Agregat-agregat dengan ukuran diameter sekitar 100 hingga 400 nm ini terbentuk akibat kurang sempurna distribusi partikel *nanoclay* dalam proses fabrikasi. Struktur mikro nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin TSE *screw* panjang seperti diperlihatkan pada Gambar 4.4. untuk sampel yang tidak dilapisi partikel emas dan pada Gambar 4.5. untuk sampel yang dilapisi partikel emas menunjukkan bahwa partikel *nanoclay* tersebar lebih merata dengan ukuran agregat yang lebih halus.



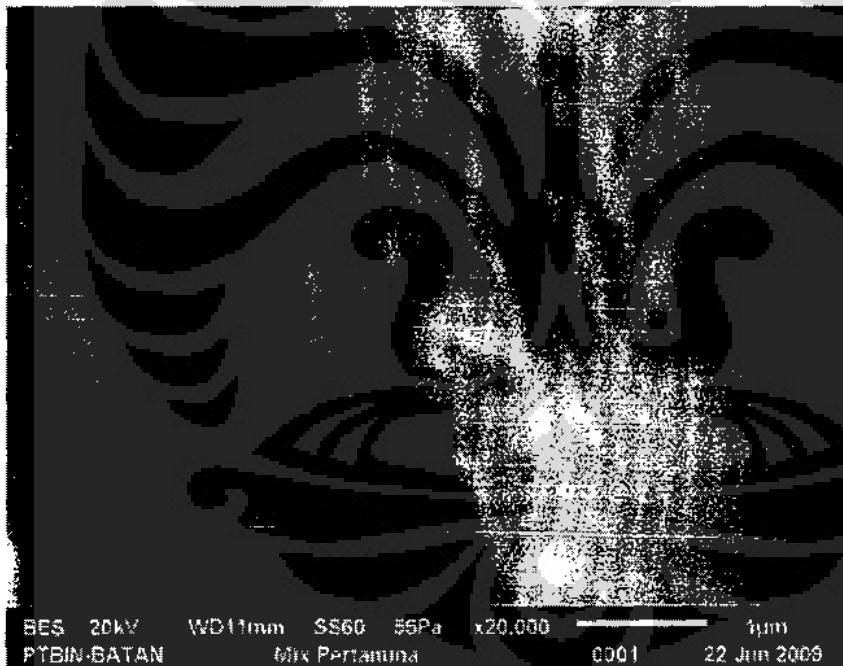
Gambar 4.2. Gambar SEM dari nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan pencampuran menggunakan TSE, *screw* pendek. Preparasi sampel tanpa pelapisan partikel emas. Tanda panah merah (→) menunjukkan sebaran *nanoclay*.



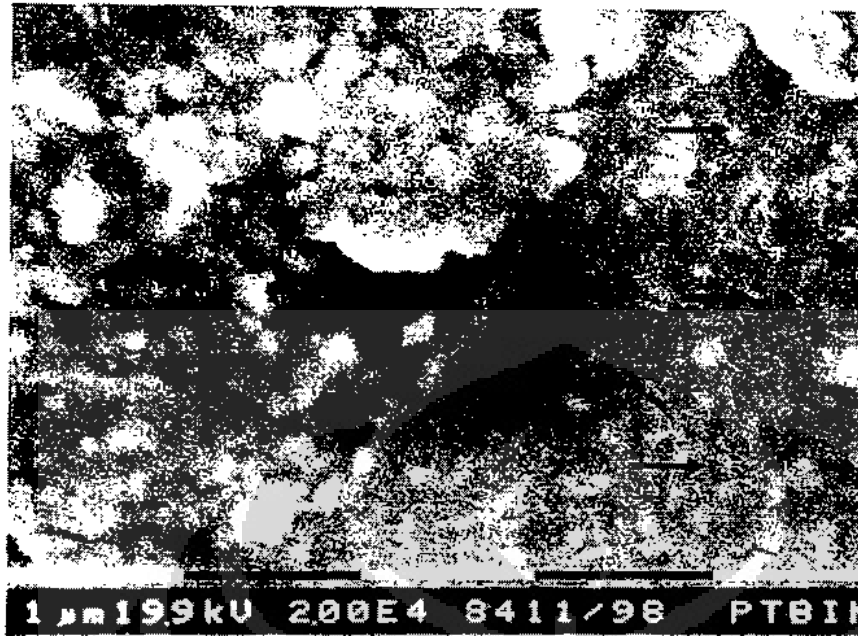
Gambar 4.3. Gambar SEM dari nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan pencampuran menggunakan TSE, *screw* pendek. Sampel dilapisi partikel emas. Tanda panah merah (↙) menunjukkan sebaran *nanoclay*.

Sebaran partikel *nanoclay* yang sempurna ditunjukkan oleh tanda panah warna merah. Dari bentuk sebaran partikel *nanoclay* dalam nanokomposit tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa telah terbentuk interkalasi atau eksfoliasi pada *nanoclay*.

Sebaran partikel yang lebih baik dari hasil pencampuran menggunakan mesin pencampur TSE diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal dari material nanokomposit. Fabrikasi yang dilakukan merupakan dua kali proses ekstrusi. Hal ini dilakukan agar pencampuran lebih homogen dan sebaran partikel nano lebih sempurna yang pada akhirnya diharapkan memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari pada material penyusunnya.



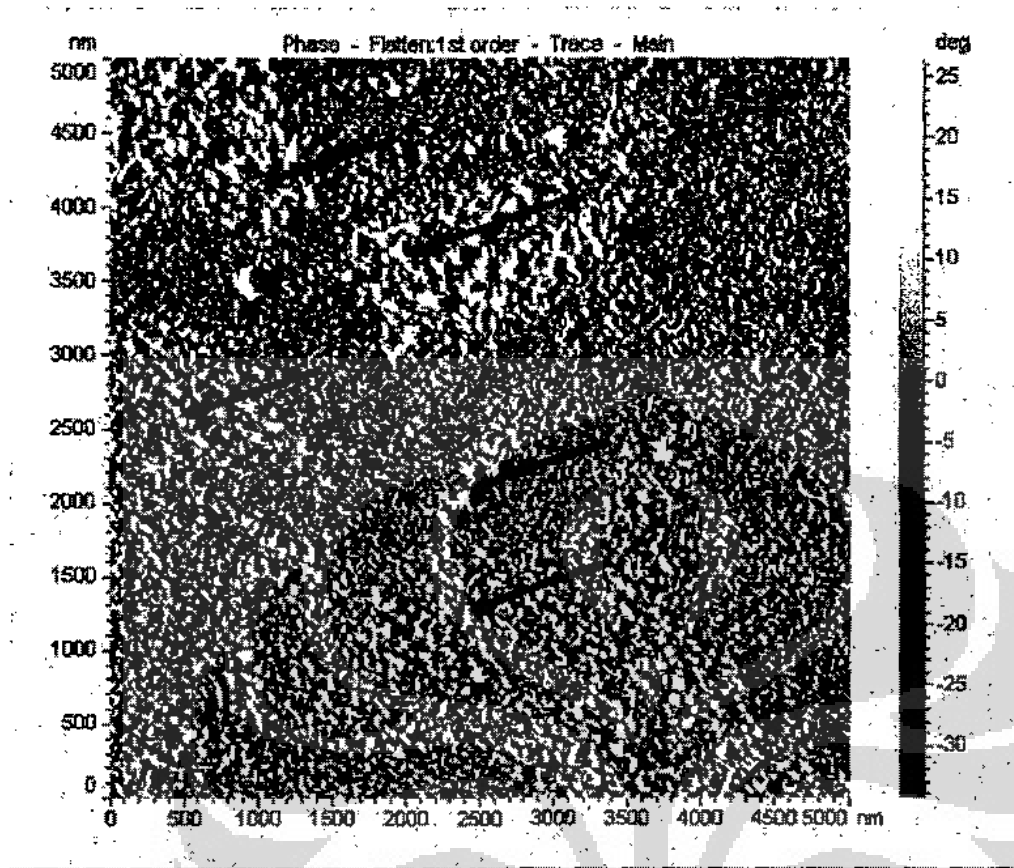
Gambar 4.4. Gambar SEM dari nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan pencampuran menggunakan mesin pencampur TSE, *screw* panjang. Sampel tanpa pelapisan partikel emas. Tanda panah merah (\rightarrow) menunjukkan sebaran *nanoclay*.




Gambar 4.5. *Image SEM* dari nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan pencampuran menggunakan mesin pencampur TSE, *screw* panjang. Sampel dilapisi partikel emas. Tanda panah merah (→) menunjukkan sebaran *nanoclay*.

Dari analisis mikro struktur dengan menggunakan SEM yang dapat kita lihat melalui gambar SEM seperti pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.6, di atas menunjukkan bahwa dari kedua proses pabrikasi tersebut di atas tidak memberikan sebaran yang merata *nanoclay* di atas permukaan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena. Kemungkinan lain adalah penggunaan SEM ini kurang cocok dalam mengamati sebaran partikel *nanoclay* dalam nanokomposit.

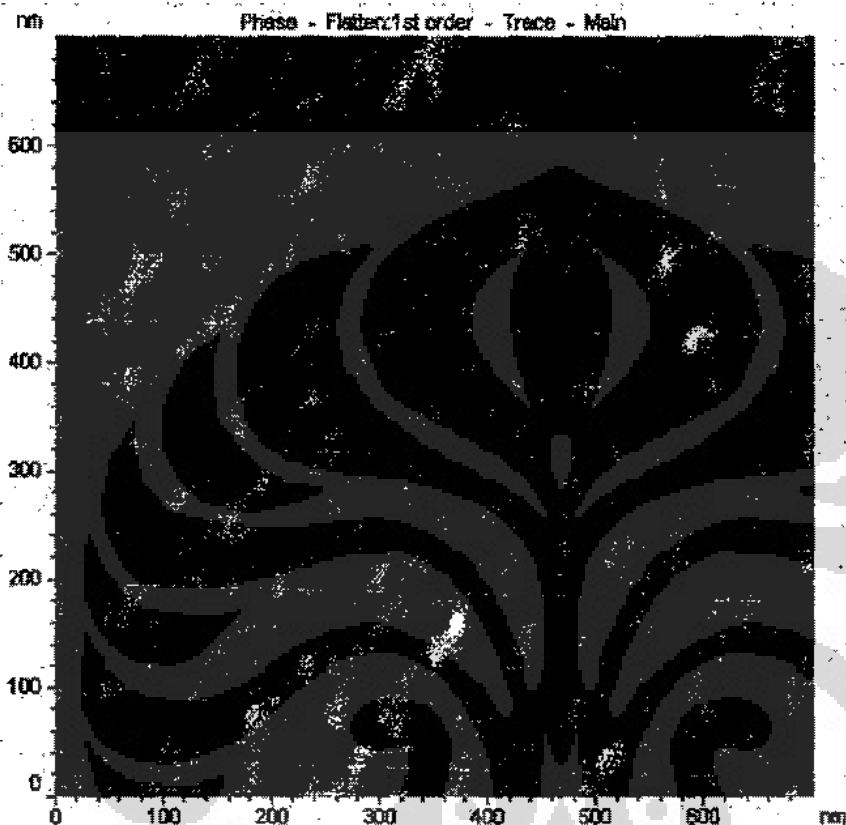
Mekanisme dispersi *nanoclay* dalam sistem nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dapat pula diamati dengan teknik SPM (*Scanning Probe Microscope*) yaitu suatu pengamatan mikrostruktur permukaan dengan skala nanometer. Gambar SPM sebagai hasil analisis menggunakan SPM dapat dilihat pada Gambar 4.6. hingga Gambar 4.8. di bawah ini.




Gambar 4.6. Gambar SPM dari nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena dengan pencampuran menggunakan TSE, *screw* pendek. Tanda panah merah () menunjukkan sebaran *nanoclay*.

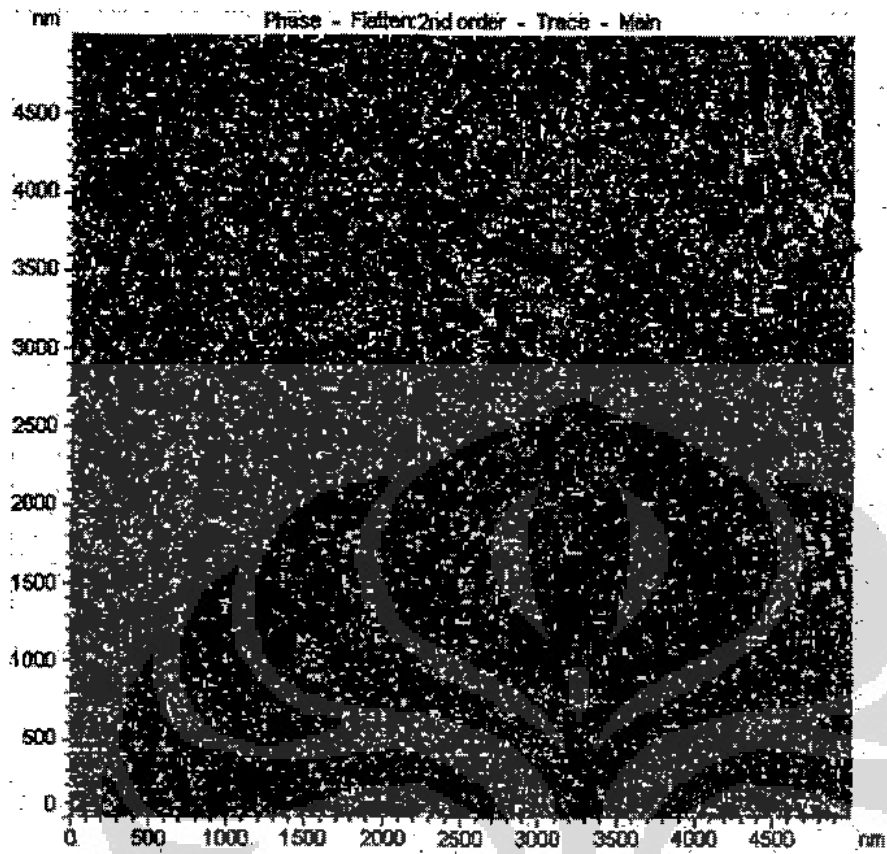
Pada pengamatan struktur mikro dengan SPM ini pada pembesaran skala ratusan nanometer terlihat bahwa sebaran partikel *nanoclay* dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena hasil pencampuran menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek seperti terlihat pada Gambar 4.6. di atas kurang merata sebarannya dan partikel masih banyak yang berupa agregat *clay* yang masih ukuran ratusan nanometer. Agregat dari *nanoclay* ditunjukkan dengan tanda panah warna merah pada gambar. Namun demikian jika diamati dengan sekala lebih kecil lagi, pada skala puluhan nanometer seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7. di bawah ini, maka sebaran *nanoclay* akan


terlihat lebih baik lagi dan agregatnya berkurang. Dari gambar SPM sekala yang lebih kecil tersebut (Gambar 4.7) maka terlihat bahwa terdapat pori-pori dalam nanokomposit tersebut.



Gambar 4.7. Sebaran *nanoclay* (warna putih) pada nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan menggunakan mesin TSE, *screw* pendek. Tanda panah merah () menunjukkan sebaran *nanoclay*.

Hasil pengamatan struktur mikro terhadap sebaran *nanoclay* dalam nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dengan pencampuran menggunakan mesin TSE *screw* panjang memberikan sebaran yang lebih bagus dan agregat *nanoclay* sudah halus dengan ukuran puluhan nanometer. Sebaran *nanoclay* ditunjukkan dengan tanda panah warna merah pada Gambar 8.



Gambar 4.8. Gambar SPM dari nanokomposit *Nanoclay*-Polipropilena dengan pencampuran menggunakan TSE, *screw* panjang. Tanda panah merah () menunjukkan sebaran *nanoclay*.

Dari gambar-gambar hasil analisis mikroskopik SPM di atas terlihat adanya pengaruh pendispersian *nanoclay* yang lebih baik dalam nanokomposit yang difabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE dengan *screw* yang lebih panjang.

Untuk mengetahui sifat-sifat material nanokomposit hasil fabrikasi, maka telah dilakukan pengujian mekanik dan karakterisasi termal terhadap nanokomposit tersebut. Hasil dari pengujian mekanik ini dihimpun dalam Tabel 4.1. di bawah ini. Hasil karakterisasi sifat termal nanokomposit hasil fabrikasi ditampilkan pada Tabel 4.2.

Pengujian mekanik yang dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan industri umumnya, terutama berkaitan dengan produk komponen kendaraan, pengujian tersebut meliputi pengujian kekuatan tarik, impak (ketangguhan), kekerasan (*hardness*) dan ketahanan aus (*wear resistance*).

Tabel 4. 1. Hasil pengujian mekanik material nanokomposit.

Formula Sampel	Kuat tarik [MPa]	Modulus kekakuan [GPa]	Ketangguhan [kJ/m^2]	Kekerasan [N/mm^2]	Abrasi [%]
PP-Org	29,90	0,582	15,230	86	0,87
PP-Cnat	30,36	0,743	14,004	96	0,56
PP-Cstp	30,81	0,628	15,577	90	0,60
PP-Cpm1	27,53	0,755	15,391	91	0,61
PP-Cpm2	28,87	0,843	15,727	91	0,59

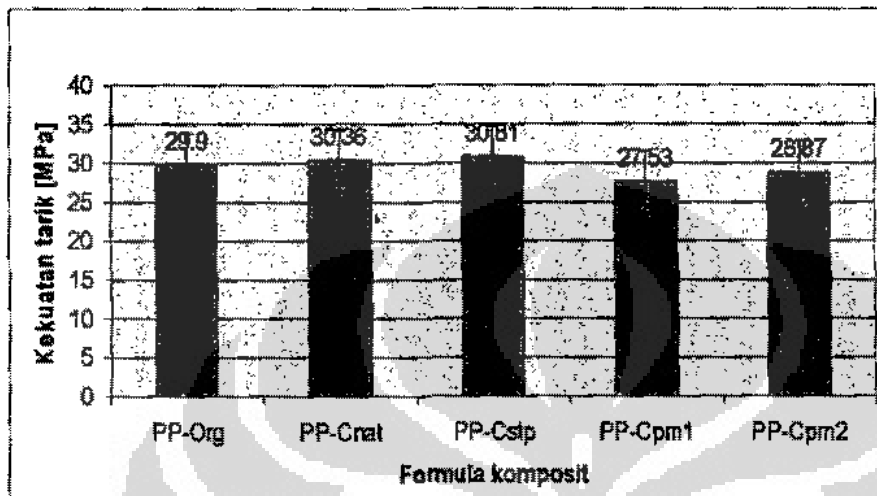
Dari Tabel 4.1 di atas dapat kita lihat pada umumnya sifat-sifat mekanik nanokomposit meningkat bila dibandingkan dengan sifat polimer polipropilena sebagai bahan bakunya. Namun demikian ada pula sifat yang menurun tak beraturan seperti kekuatan tarik.

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mengacu pada standar pengujian ASTM D638 dengan spesimen uji diperlihatkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Spesimen uji kekuatan tarik dan teknik pengujiannya.

Hasil pengujian kekuatan tarik diperlihatkan pada Gambar 4.10. dari data tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik nanokomposit belum mampu meningkatkan kekuatan tarik dari material dasarnya (polipropilena).



Gambar 4.10. Nilai kekuatan tarik material polipropilena dan nanokomposit

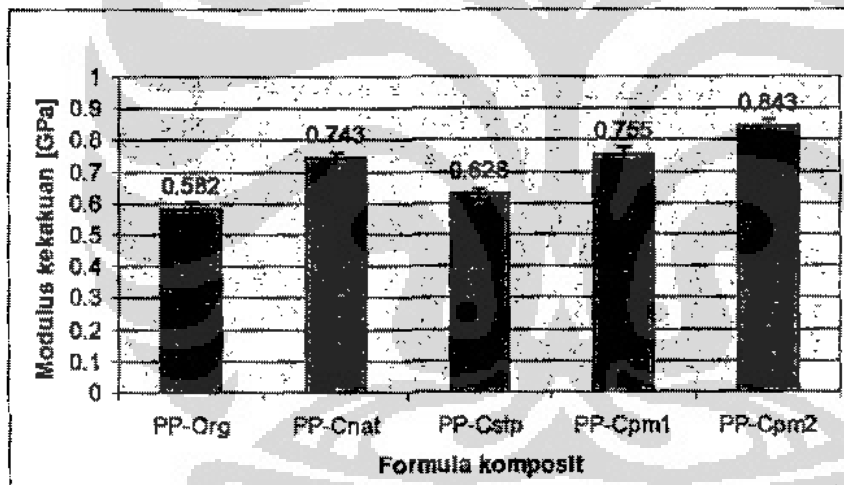
Kejadian menurunnya nilai kuat tarik pada nanokomposit dimungkinkan karena ikatan adhesif antara partikel polipropilena dengan permukaan silika dari *nanoclay* masih rendah bila dibandingkan dengan ikatan kohesif yang terjadi diantara molekul polipropilena seperti diilustrasikan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Ilustrasi proses pengikatan polipropilena dengan permukaan lapisan silika dari *clay*^[21]

Usaha penguatan ikatan ini telah dilakukan dengan menambahkan bahan aditif kompatibiliser PP-g-MA sebagai penguat ikatan antara polipropilena dengan nanoclay. Kemungkinan lainnya adalah dikarenakan kurang kompaknya partikel atau molekul nanokomposit sehingga terbentuknya pori-pori pada nanokomposit tersebut, terutama bagian matriknya seperti terlihat pada hasil analisis mikro struktur dengan SPM yang diperlihatkan pada Gambar 4.7.

Modulus kekakuan dari material nanokomposit hasil fabrikasi ini seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1. pada umumnya nanokomposit yang dibentuk dari polipropilena dengan *nanoclay* ini memiliki modulus kekakuan yang lebih tinggi (meningkat) bila dibandingkan dengan modulus kekakuan material polipropilena originalnya. Hasil pengujian modulus kekakuan ini dapat dilihat pada Gambar 4.12.

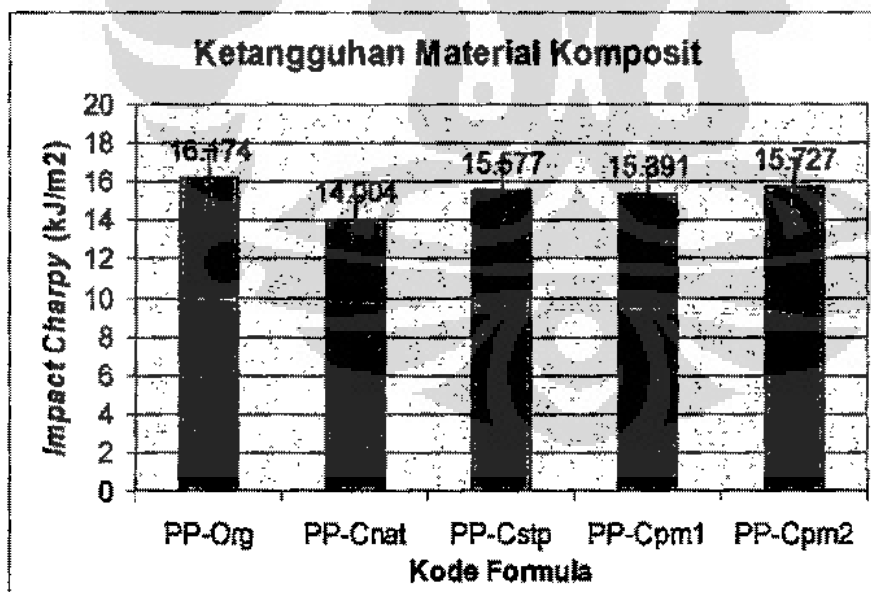


Gambar 4.12. Nilai modulus kekakuan dari material komposit.

Peningkatan nilai modulus kekakuan ini dipicu oleh kekakuan yang dimiliki oleh lapisan silika penyusun partikel *nanoclay*. *Clay* sendiri digolongkan dalam keramik yang tentunya memiliki kekakuan yang jauh lebih tinggi dibanding kekuatan polimer. Disini memperlihatkan bahwa penguatan partikel *nanoclay* dalam sistem nanokomposit *nanoclay*-polipropilena sudah

baik, walaupun peningkatannya hanya sedikit saja. Nanokomposit hasil fabrikasi dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang memiliki nilai modulus kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek.

Hasil pengujian *Impact Charpy* diperlihatkan pada Tabel 4.1. Nilai ketangguhan/impak dari nanokomposit seluruhnya hampir sama dengan polipropilena, namun untuk pemakaian *clay* alam dalam komposisinya memberikan nilai ketangguhan yang menurun, hal ini dimungkinkan karena ikatan polipropilena dengan *clay* alam sangat lemah atau kurang berikatan, sehingga mengakibatkan sifat ketangguhan menurun. Walaupun perbedaannya sedikit, namun nilai impak dari nanokomposit hasil fabrikasi dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang lebih tinggi nilainya dari pada nilai impak nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek seperti dapat dilihat pada Gambar 4.13.

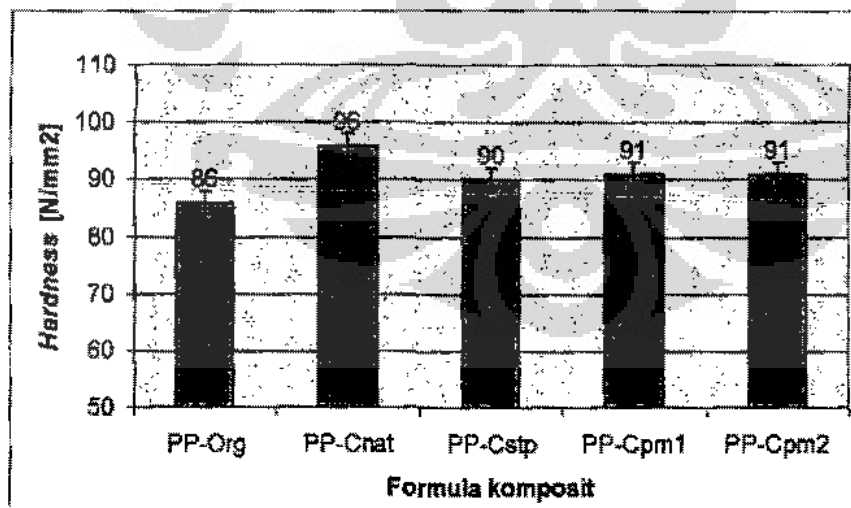


Gambar 4.13. Ketangguhan hasil uji *impact charpy* dari nanokomposit

Apabila pendispersian *nanoclay* dalam nanokomposit sangat merata disertai dengan ikatan polimer terhadap lapisan silika dari *nanoclay* sangat kuat maka ketangguhan akan meningkat. Namun sebaliknya apabila kedua komponen tadi tidak sempurna maka ketangguhan yang berupa nilai impak akan menurun, baik karena lemahnya ikatan ataupun dispersi *nanoclay* yang tidak sempurna seperti yang terjadi pada hasil penelitian ini.

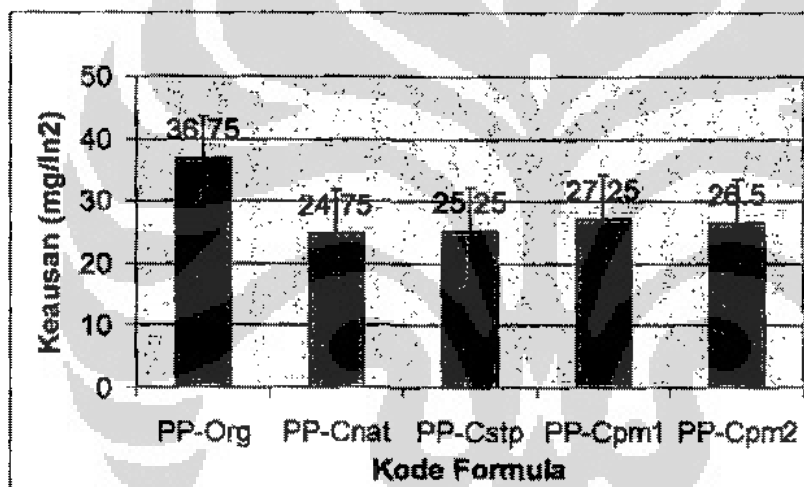
Hasil pengujian kekerasan (*hardness*) dari material komposit diperlihatkan dalam Tabel 4.1. Kekerasan dari nanokomposit sedikit meningkat dibanding material polipropilena. Partikel *clay* secara tersendiri memiliki kekerasan yang tinggi karena komposisi terbesar adalah unsur silika. Silika yang membentuk lapisan kristal dapat meningkatkan kekerasan nanokomposit *nanoclay*-polipropilena seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14 hasil pengujian kekerasan.

Komposit yang terbentuk dari *clay* alam memiliki kekerasan yang paling tinggi. Hal ini terjadi dirangsang karena agregat dari partikel *clay* alam lebih besar sehingga dapat meningkatkan kekerasan dari komposit. Sedangkan *nanoclay* dengan dispersi partikel lebih halus dan merata memiliki kekerasan yang tidak jauh berbeda dengan material polipropilen.



Gambar 4.14. Nilai kekerasan (*hardness*) polipropilena dan nanokomposit

Hasil pengujian ketahanan aus diperlihatkan pada Tabel 4.1. Ketahanan aus polipropilena dapat meningkat dengan penambahan *nanoclay* pada sistem nanokomposit. Makin besar dan merata partikel *clay* dalam material komposit akan semakin tahan aus pada pengujian abrasi. Dapat dilihat bahwa penambahan *clay* alam memiliki ketahan aus paling tinggi dibandingkan dengan penambahan *nanoclay* pada material polipropilena seperti dapat dilihat pada Gambar 4.15. Ketahanan aus pada komposit *clay* alam ini diakibatkan oleh besarnya agregat partikel *clay* yang tersusun dalam sistem komposit.



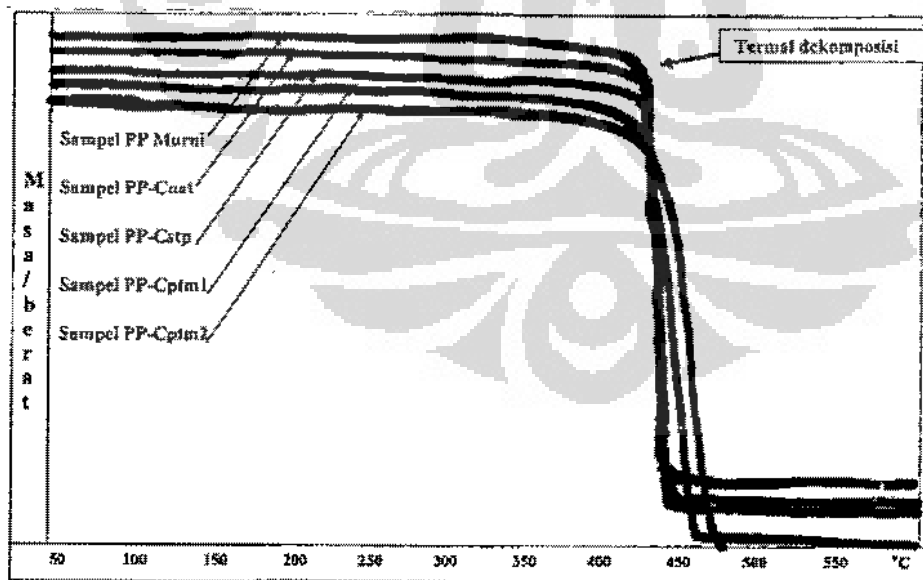
Gambar 4.15. Nilai keausan material nanokomposit.

Karakterisasi sifat termal dari nanokomposit dilakukan dengan pengujian temperatur defleksi (HDT), temperatur dekomposisi, temperatur leleh dan kecepatan bakar (*burning rate*). Hasil pengujian termal ditunjukkan pada Tabel 4.2. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa komposit hasil pencampuran yang dilakukan dengan *srew* panjang memberikan nilai temperatur dekomposisi yang lebih tinggi dari komposit lainnya, demikian juga bila dibandingkan dengan material polipropilena.

Tabel 4.2. Hasil karakterisasi / pengujian sifat termal material nanokomposit

Formula Sampel	Termal defleksi [°C]	Kecepatan bakar [mm/menit]	Temperatur dekomposisi [°C]	Temperatur leleh (T _m) [°C]
PP-Org	61,10	39,2	415,59	162,21
PP-Cnat	59,45	35,6	417,60	160,42
PP-Cstp	61,60	36,6	423,01	162,37
PP-Cpm1	63,50	37,2	424,09	161,68
PP-Cpm2	65,35	36,0	423,76	162,04

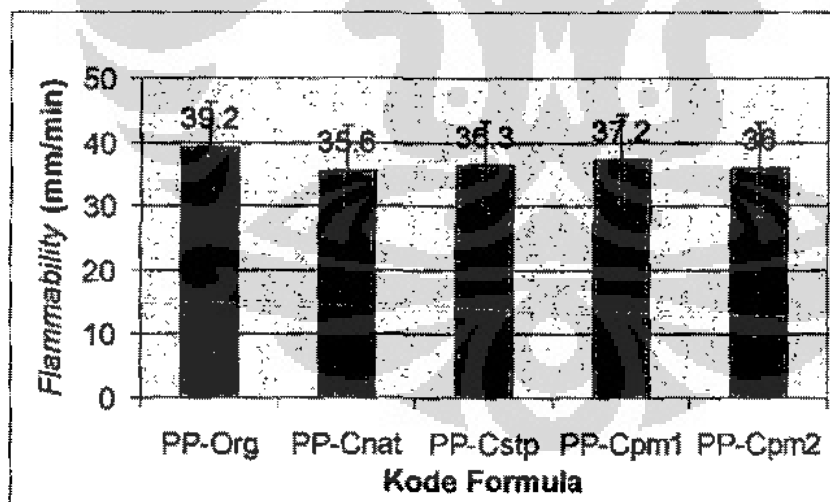
Kehadiran *nanoclay* dalam sistim nanokomposit dapat mempengaruhi sifat termal nanokomposit. Dari hasil pengujian temperatur dekomposisi nanokomposit seperti diperlihatkan pada Gambar 4.16. menunjukkan bahwa terjadi perubahan temperatur dekomposisi pada nanokomposit dimana nilainya meningkat dibandingkan nilai temperatur dekomposisi material polipropilena sendiri. Nilai temperatur dekomposisi nanokomposit hasil fabrikasi dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang lebih tinggi dibanding nilai temperatur dekomposisi dari nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE lebih pendek.

**Gambar 4.16.** Temperatur dekomposisi polipropilena dan nanokomposit

Dari data tersebut dapat diperkirakan bahwa pencampuran yang dilakukan dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang lebih homogen dibandingkan pencampuran yang dilakukan dengan mesin pencampur TSE *screw* pendek. Perbedaan tersebut digambarkan dengan termograf hasil pengujian TGA seperti pada Gambar 4.16.

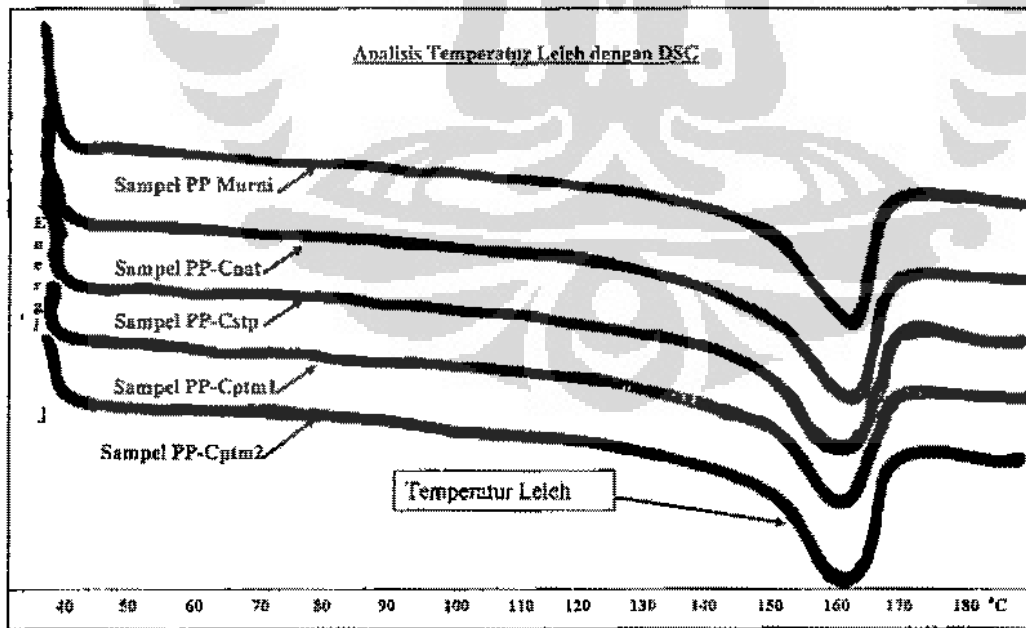
Kenaikan temperatur dekomposisi pada nanokomposit ini menunjukkan bahwa kehadiran *nanoclay* dalam polipropilena dengan sebaran (distribusi) merata dapat membantu memperlambat degradasi/dekomposisi material polimer polipropilena pada temperatur yang lebih tinggi.

Sifat kecepatan terbakar (*flammability*) nanokomposit umumnya menurun bila dibandingkan material polipropilena seperti dapat dilihat pada Gambar 4.17. Peningkatan nilai daya tahan bakar ini menunjukkan bahwa material keramik *clay* bersifat *flame retardant* (ketahanan bakar) terhadap nanokomposit yang dibentuk secara keseluruhan. Namun karena komposisi *nanoclay* sedikit (3,5 %), maka efek ketahanan bakarnya tidak terlalu besar (Tabel 4.2).



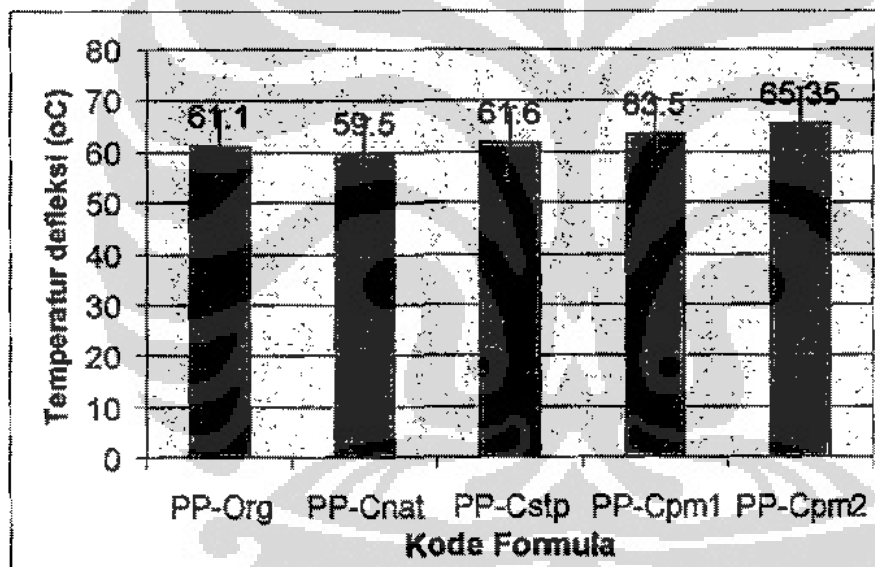
Gambar 4.17. Kecepatan bakar material polipropilena dan nanokomposit

Data hasil pengukuran temperatur leleh terhadap material polipropilena dan nanokomposit diperlihatkan pada Tabel 4.2. Data tersebut menunjukkan bahwa penambahan *nanoclay* tidak berpengaruh terhadap temperatur leleh, bahkan dengan adanya penambahan kompatibiliser PP-g-MA dalam nanokomposit tersebut maka temperatur lelehnya sedikit menurun, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.18. Telah disebutkan di atas bahwa temperatur leleh dari polipropilena yang digunakan adalah 163°C sedangkan temperatur leleh dari kompatibiliser PP-g-MA 158°C oleh karenanya maka temperatur leleh dari nanokomposit bisa lebih rendah dari temperatur leleh polipropilennya sendiri. Dalam hal temperatur leleh, maka kehadiran *nanoclay* dalam polipropilena tidak dapat meningkatkan temperatur leleh dari polipropilena karena, ikatan yang terbentuk antara *clay* dan polipropilena hanyalah ikatan fisik bukan ikatan kimia, sedangkan ikatan antara polipropilena dan kompatibiliser PP-g-MA boleh jadi terbentuk ikatan kimia. Dengan demikian maka temperatur leleh sangat tergantung pada komposisi kompatibiliser PP-g-MA dalam polipropilena serta kesempurnaan dari proses pencampuran selama fabrikasi..



Gambar 4.18. Termograf DSC dari material PP dan nanokomposit

Dari hasil pengujian HDT seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2. menunjukkan bahwa temperatur defleksi dari nanokomposit *nanoclay*-polipropilena lebih tinggi dibanding nilai temperatur defleksi polipropilena. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *nanoclay* dalam polipropilena dapat memberikan efek penambahan kekuatan mekanik dan sekaligus ketahanan panas operasional. Kenaikan temperatur defleksi pada material nanokomposit seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19, walaupun kenaikannya kecil namun sangat berarti bagi aplikasi produk, terutama untuk aplikasi komponen kendaraan.

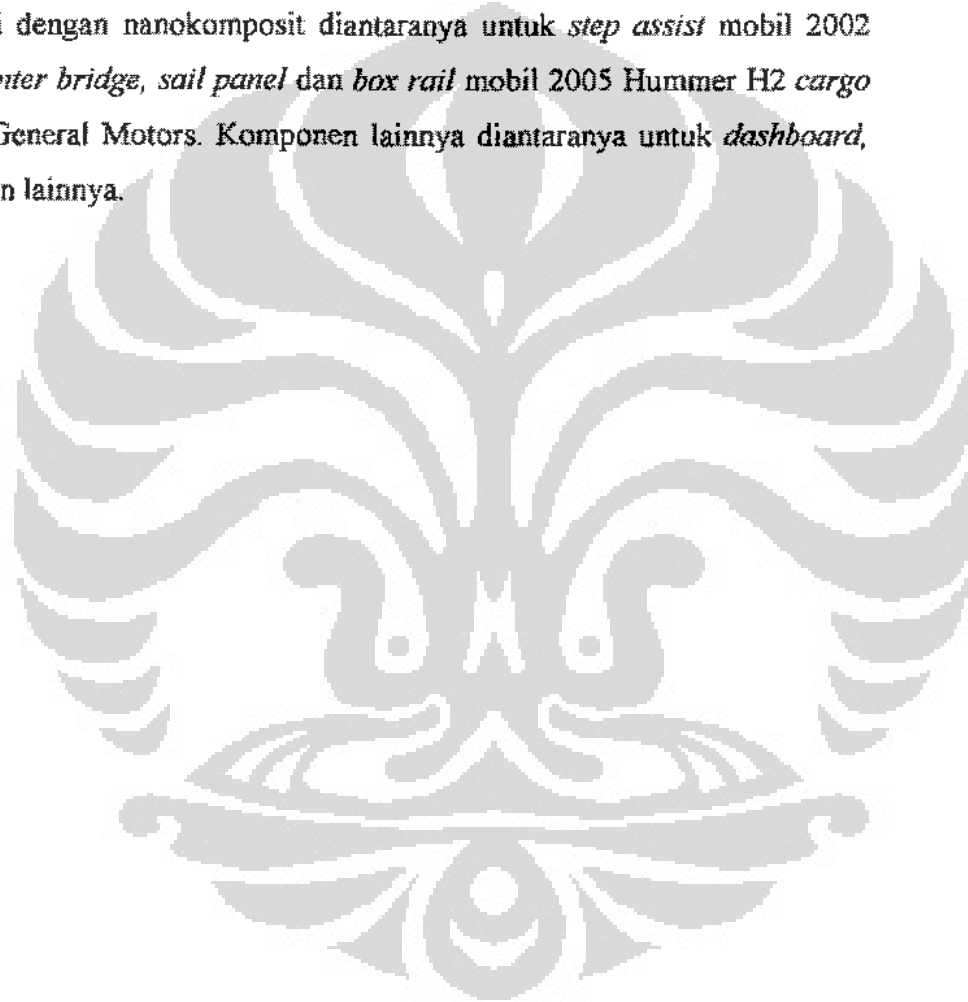


Gambar 4.19. Temperatur defleksi dari polipropilena dan nanokomposit

Beberapa sifat mekanik dan termal dari hasil pengujian dan karakterisasi baik mekanik maupun termal yang dilakukan menunjukkan adanya peningkatan sifat yang dimiliki oleh nanokomposit *nanoclay*-polipropilena dari sifat asalnya yang dimiliki oleh polipropilena sebagai matriknya. Demikian pula dalam pemakaian mesin pencampur TSE. Fabrikasi

nanokomposit dengan menggunakan mesin pencampur TSE *screw* lebih panjang umumnya memiliki sifat yang lebih baik dari pada nanokomposit yang difabrikasi dengan mesin pencampur TSE *screw* pendek.

Adanya peningkatan sifat mekanik dan termal ini walaupun peningkatannya sedikit namun memberikan harapan yang besar atas pemanfaatan nanokomposit, terutama untuk aplikasi komponen kendaraan dan struktur bangunan. Beberapa komponen kendaraan yang telah mulai disubstitusi dengan nanokomposit diantaranya untuk *step assist* mobil 2002 M-Van, *center bridge*, *sail panel* dan *box rail* mobil 2005 Hummer H2 *cargo bed* dari General Motors. Komponen lainnya diantaranya untuk *dashboard*, *bumper*, dan lainnya.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil analisis struktur mikro dengan SEM dan SPM menunjukkan bahwa material nanokomposit hasil fabrikasi dengan mesin pencampur *twin screw extruder* (TSE) dengan *screw* panjang memiliki dispersi *nanoclay* yang lebih merata dan agregat yang lebih halus dibandingkan sampel nanokomposit yang dihasilkan dengan *screw* pendek. Demikian pula dengan hasil pengujian mekanis dimana sampel nanokomposit dengan *screw* panjang memberikan modulus kekakuan sebesar 0,843 GPa sebagai perbandingan terhadap sampel nanokomposit dengan *screw* pendek dengan modulus kekakuan sebesar 0,628 GPa. Hasil pengujian sifat mekanis lainnya seperti kekerasan dan ketahanan aus memberikan kecenderungan serupa dimana sampel nanokomposit *screw* panjang memiliki nilai yang lebih tinggi. Namun demikian sampel nanokomposit yang dihasilkan dalam penelitian ini masih memberikan nilai nilai kekuatan tarik dan ketangguhan yang lebih rendah dibandingkan material polipropilena. Hal ini disebabkan oleh masih kurang baiknya ikatan yang terjadi antara *nanoclay* dengan polipropilena.

Dari hasil karakterisasi termal menunjukkan bahwa adanya peningkatan temperatur dekomposisi dari 415,59°C untuk polipropilena, menjadi 423,76°C untuk nanokomposit yang difabrikasi menggunakan TSE *screw* panjang dan 424,09°C untuk nanokomposit yang difabrikasi menggunakan TSE *screw* pendek. Sifat termal lainnya yang meningkat adalah ketahanan bakar (*flammability*), sedangkan titik leleh semua nanokomposit menurun nilainya hal ini disebabkan oleh kehadiran PP-g-MA dalam nanokomposit yang memiliki temperatur leleh 158°C.

Secara umum sifat mekanik dan sifat termal lebih baik pada nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* panjang dari pada nanokomposit hasil fabrikasi menggunakan mesin pencampur TSE *screw* pendek.

5.2. Saran

Screw yang digunakan untuk fabrikasi nanokomposit dengan perbedaan panjang ini memiliki kesamaan konfigurasi pencampur, maka pencampuran yang dilakukan kedua *screw* ini relatif sama sehingga akan menghasilkan sifat-sifat yang relatif sama atauserupa. Hal ini terbukti selain adanya sifat mekanik dan sifat termal yang meningkat tetapi ada pula yang tetap bahkan sedikit menurun. Untuk itu maka diperlukan penelitian lanjut dengan menggunakan mesin pencampur TSE dengan konfigurasi *screw* lebih rumit dan lebih panjang sehingga didapatkan dispersi sempurna dari sebaran *nanoclay* pada nanokomposit yang pada akhirnya akan meningkatkan sifat-sifat yang dimiliki nanokomposit tersebut.

Karakterisasi struktur mikro dari nanokomposit hasil fabrikasi ini sebaiknya dilakukan pula menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*) dan SAX (*Small Angle X-ray diffraction*) untuk mengamati pemerataan distribusi partikel *nanoclay* dan interkalasinya lapisan silika *nanoclay* dalam matrik polipropilena.

DAFTAR REFERENSI

1. Sirousazer M., Mortaza Y., Bahram F. A. Jalal A., and Yagoub M. (2007). Polypropylene/ Montmorillonite Nanocomposites for Food Packaging. *e-Polymers*, No. 027, <http://www.e-polymers.org>.
2. Treece Mark A., Zhang Wei, Moffitt Ronald D., and Obhauer James P. (2007). Twin-Screw Extrusion of Polypropylene-Clay Nanocomposite: Influence of Masterbatch Processing, Screw Rotation Mode, and Sequence. *Polymer Engineering and Science*,
3. Samuel Pati Senda dan Ade S. Hidayat (2003). Teknologi Proses Pengolahan Bentonit untuk *Bleaching Earth*. *Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri*, Vol. III, hal. 94–100.
4. Kato M. and Usuki Y. (2000). Polymer-Clay Nanocomposites, *Polymer-Clay Nanocomposites*, John Willey and Sons Ltd., pp. 97-109.
5. Jianming Li, Minh-Tan Ton-That, and Shih-Jung Tsai. (2006). PP-Based Nanocomposite with Various Intercalant Types and Intercalant Coverages. *Polymer Engineering and Science*, Vol. 46 (8), p. 1060-1068.
6. Lars Amman (2003). Cation Exchange and Adsorption on Clay and Clay Mineral, dissertation "Dr. rer. nat." of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences Christian-Albrechts-University.
7. Wang Z. M., H. Nakajima, E. Manias, and T. C. Chung (2003). Exfoliated PP/Clay Nanocomposites Using Ammonium-Terminated PP as Organic Modification for Montmorillonite. *Macromolecules*, Vol. 36, p. 8919-8922.
8. Bongwoo Ha and Kookheon Char (2005). Conformational Behavior of Dodecylamine inside the Confined Space of Montmorillonite. *Langmuir*, Vol. 21, p. 8417-8477, Korea.
9. Dortmans A., Laurence F. B., Theodorus P. M. Koster, Roel G. Nelissen, and Hartmurt Fischer (2005). Nanocomposite Material: from Lab-scale

- Experiments to Prototypes. *e-Polymers*, No. 010, ISSN 1618-7229, <http://www.e-polymers.org>.
10. Weibing Xu, Guodong Liang, Wei Wang, Shupeit Tang, Pingsheng He, and Wei-Ping Pan (2002). Polypropylene-Polypropylene-Grafted Maleic Anhydride-organic Montmorillonite (PP-PP-g-MAH-Org-MMT) Nanocomposite II. Non isothermal Crystallization Kinetics. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 88, p. 3093-3099.
 11. Utracki, L. A. and M.R. Kamal (2002). Clay-Containing Polymeric Nanocomposite. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 27, No. 1C, p. 43-67.
 12. Jitenda K. P. and Raj Pal Singh (2004). On the Durability of Low-Density Polyethylene Nanocomposite, *e-Polymers*, No. 051, <http://www.e-polymers.org>.
 13. Lee E. C., D. F. Mielewski, and R. J. Baird (2004). Exfoliation and Dispersion Enhancement in Polypropylene Nanocomposites by In-situ Melt Phase Ultrasonication. *Polymer Engineering Sciences*, Vol. 44.
 14. Yeh Wang, Feng-B Chen, and Kai-C Wu (2003). Twin Screw Extrusion Compounding of Polypropylene/organoclay nanocomposites Modified by Maleic Polypropylene. *Journal Application Polymer Science*, Vol. 93.
 15. Kelompok Program Teknologi Informasi Pertambangan (2005). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (Tekmira ESDM), <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/komoditiStatistik.asp>
 16. Pinnavaia T. J. and Beall G. W. (2000). *Polymer-Clay Nanocomposites*, Wiley series in Polymer Science,
 17. Hiroaki Miyagawa, Michael J. Rich, and Lawrence T. Drezal (2007). *Amine-Cured Epoxy/Clay Nanocomposites, I. Processing and Chemical Characterization.* Willey Inter Science. <http://www.interscience.willey.com>
 18. Edwar P. Moos Jr., *Polypropylene Handbook*, Hanser.
 19. Syah Johan A. Nasiri (2005). *Polipropilena, PP. Sentra Teknologi Polimer.*

20. Lim Jian Wei (2006). Development of Layered Silicates Montmorillonite Filled Rubber-Taughened Polypropilene Nanocomposites (RTPPNC), Universitas Teknologi Malaysia,
21. Yu Dong (2008). Multi-Scale Effects on Deformation Mechanisms of Polymer Nano composites: Experimental Characterisation and Numerical Study, The University of Auckland, New Zealand,.
22. Chong Min Koo, Mi Jung Kim, Min Ho Choi, Sang Ouk Kim, and In Jae Chung (2003). Mechanical and Rheogical Properties of the Maleated Polypropylene-layered Silica Nanocomposites with different Morphology. *Journal Application Polymer*, Vol. 88. No. 6, p 1522-1535,.
23. Utracki L. A. (2005). Processing Polymeric Nanocomposites, <http://www.plasticstrends.net>
24. Kato M., Matshushita, M., dan Fukumori K (2004) Polymer Engineering Science, vol 44, no. 7, p. 1205-1211
25. Tim A. Oswald (1998). Polymer Processing *Fundamentals*, Hanser Publishers, Munich, p. 95-113.
26. Makoto Yoshigawa, et. al. (2000). Mixing Mechanism of Three-Tip Kneading Block in Twin Screw Extruders. *Polymer Engineering and Science*, Vol. 40, no. 1, p. 168-178,
27. Lee Y. H., Chull B. Park, M. Sain, M. Komtopoulou, and Wenge Zheng (2006) Effect of Clay Dispersion and Content on the Rheological, Mechanical Properties, and Flame Retardant of HDPE/Clay Nanocomposites. *Journal Application Polymer Science*.
28. Lucilene Betega de Paiva, Ana Rita Morales, and Thiago Ribeiro Guimaes (2006). Structural and Optical Properties of Polypropylene-Montmorillonite Nanocomposites. *Elsiver*. Brazil.
29. Navita B, M. I. Sarwar, M. Ishaq, and Zahoor Ahmad (2007). Mechanical and Thermal Properties of Nano-Composite of Poly(Vinyl Chloride) and Co-Poly(Vinyl Chloride-Vinyl Alcohol-Vinyl Acetate)

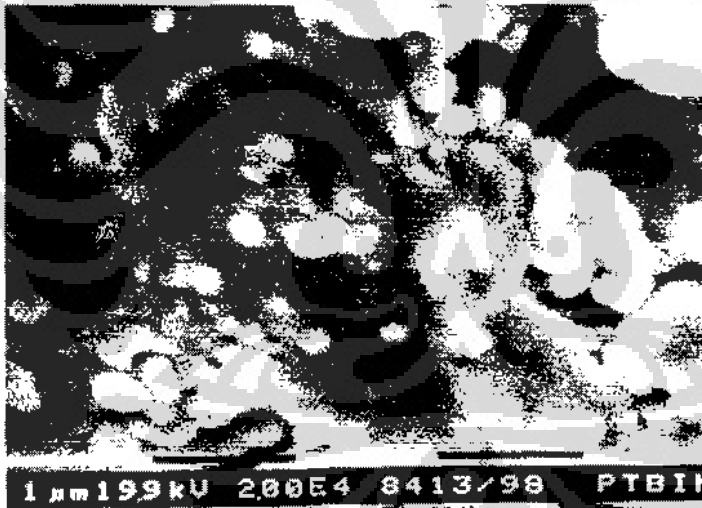
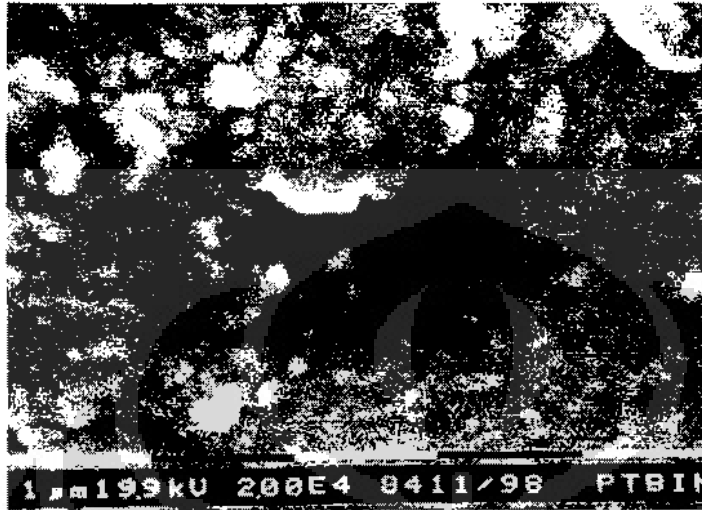
- with Montmorillonite. *Polymer and Polymer Composites*, Vol. 15 (4), p. 313-319.
30. Belluci F., Camono G., Frache A., Ristori V., Sorrentino L., Iannace S., Bian X., Guardasole M., and Paccaro S. (2006). Effect of Organoclay Impurities on Mechanical Properties of EVA-layered Silica Nanocomposites. *e-Polymer*, No. 014.
 31. Sayed Javad Ahmadi, Huang Yudong, and Wei Lie (2004). Synthesis of EPDM/Organoclay Nanocomposites: Effect of Clay Exfoliation on Structure and Physical Properties. *Iranian Polymer Journal*, No. 13 (5).
 32. Ardi Dortmans, Lawrence F. Batenburg, Theodorus P. M. Koster, Oel G. Nelissen, and Hatmurt Fischer (2002). Nanocomposites Material: From Lab-scale experiments to Prototypes. *e-Polymer*, No. 10.
 33. Andrea Sorrentino, and Roberto Pantani (2006). Injection Molding of Syndiotactic Polystyrene/Clay Nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, No. 46 (12), p. 1768.
 34. Farhad Sadeghi and Abdellah Ajji (2009). Study of Crystal Structure of (Polyvinylidene/Clay) Nanocomposite Films: Effect of Process Conditions and Clay Type. *Polymer Engineering and Science*, Vol. 49.
 35. Nguyen Thac Kim, Thai Hoang, Phan Quang Thai and Nguyen The Anh (2006). Study on the Structure and Properties of Polypropylene/Clay Nanocomposites. *Advances in Natural Sciences*, Vol. 7, No 1-2, p. 49-55.
 36. Wang Y., Chen F.B., and Wu K.C. (2004), Twin Screw Extrusion Compounding of Polypropylene/Organoclay Nanocomposites Modified by Maleated Polypropylene, *Journal Application Polymer Science*, Vol. 93, pp. 100-112, , Wiley Periodicals, Inc.
 37. Wang Y., Chen F.B., Wu K.C., and J. C. Wang (2006). Shear Rheology and Melt Compounding of Compatibilized-Polypropylene Nanocomposites: Effect of Compatibilizer Molecular Weight. *Polymer Engineering and Science*, Vol. 46, No. 3, p. 289, .

38. Cahyo C. Wibowo, Chandra Liza, Johan A. Nasiri, Rachmat Wijaya, Syuhada Andiman dan Saeful Rohman (2006). Structure Stability and Property Relationship of Polypropylene Layered Silicate Nanocomposite, *The 9th International Conference Quality in Research (QIR) 2006 Proceeding*. Universitas Indonesia.
39. Standar Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D 638 - 2008.
40. Plastics – Determination of Charpy impact strength – Part 1: Non – instrumented impact test, ISO/DIS 179-1:1997.
41. Plastics – Determination of hardness, Part 1. Ball Indentation Methods, ISO 2039-1:2001.
42. Determination of Temperature of Deflection Under Load, Part 1: Plastics and Ebonite, 2004. ISO 75:2004,
43. Taber Abrasion, ASTM D4060
44. UL Standard for Safety for Test for Flammability of Plastic Materials for Part in Devices and Appliances, UL 94, Fifth Edition, 1996.
45. Standar Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetric, ASTM E 1131–2008.

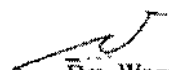


LAMPIRAN-LAMPIRAN

HASIL ANALISIS/UJI
TEST/ANALYSIS RESULT



Tangerang, 11 Juni 2009
Penyelia Uji Struktur Mikro,

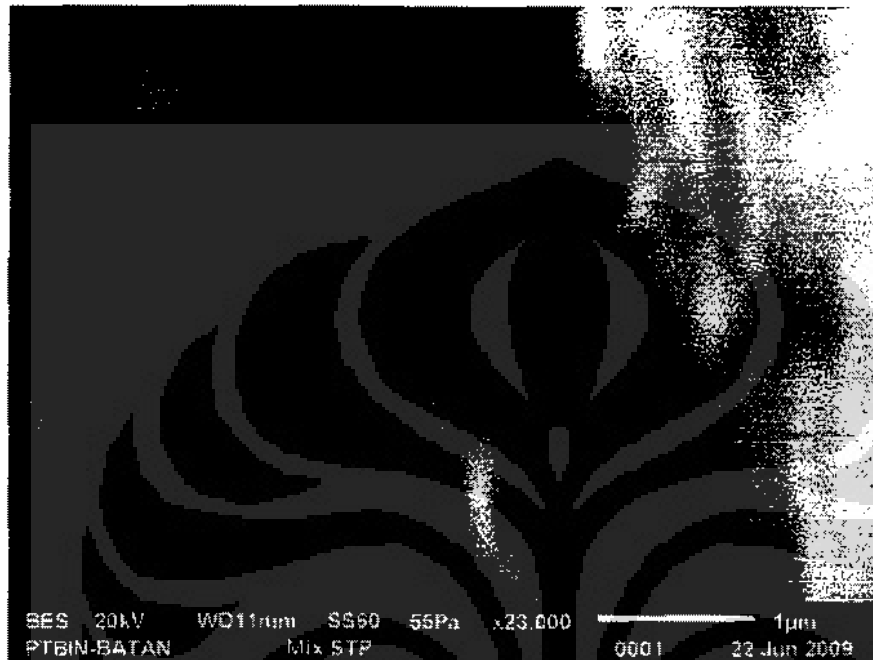

Drs. Wagiyono

Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji dan dilarang keras untuk menggandakan sertifikat ini kecuali seluruhnya tanpa persetujuan tertulis dari LUMBS.

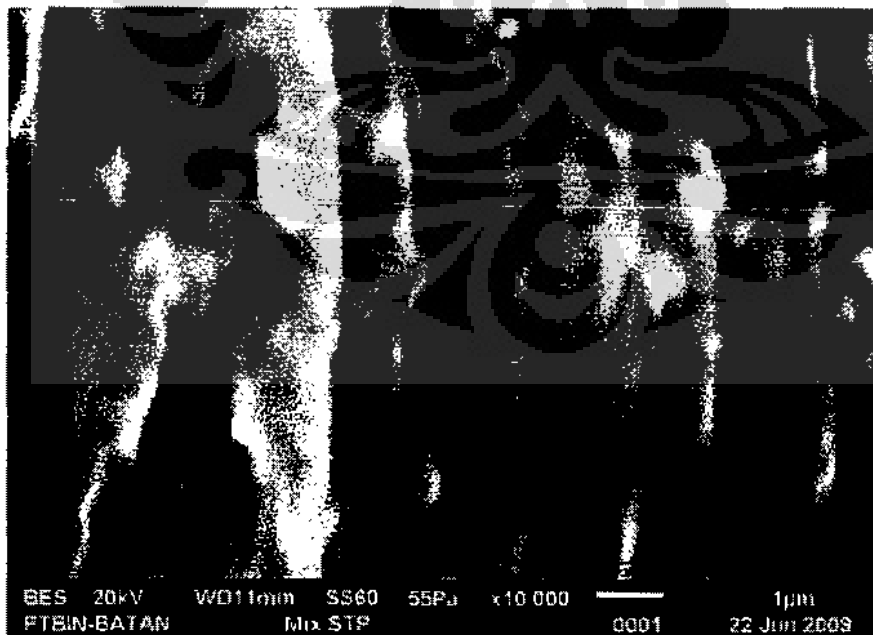
This test result related to the sample(s) submitted only and the certificate can not be reproduced in any way, except in full context and with the prior approval in writing from LUMBS.

HASIL ANALISIS/UJI
TEST/ANALYSIS RESULT

Nanokomposit mix STP (*Screw pendek*)



Pembesaran 23.000 kali



Pembesaran 10.000 kali

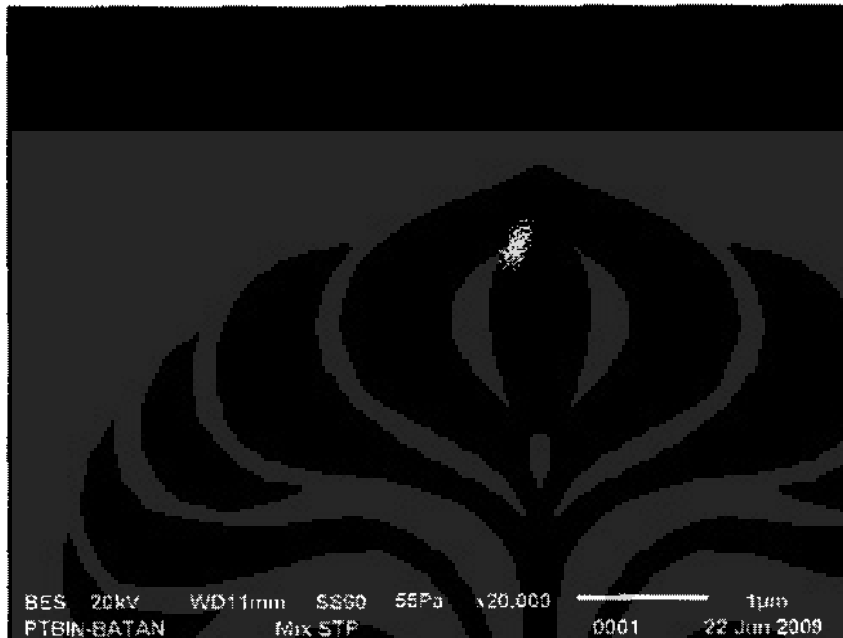
Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji dan dilarang keras untuk menggandakan sertikat ini kecuali seluruhnya tanpa persetujuan tertulis dari LUMBS.

This test result related to the sample(s) submitted only and the certificate can not be reproduced in any way,

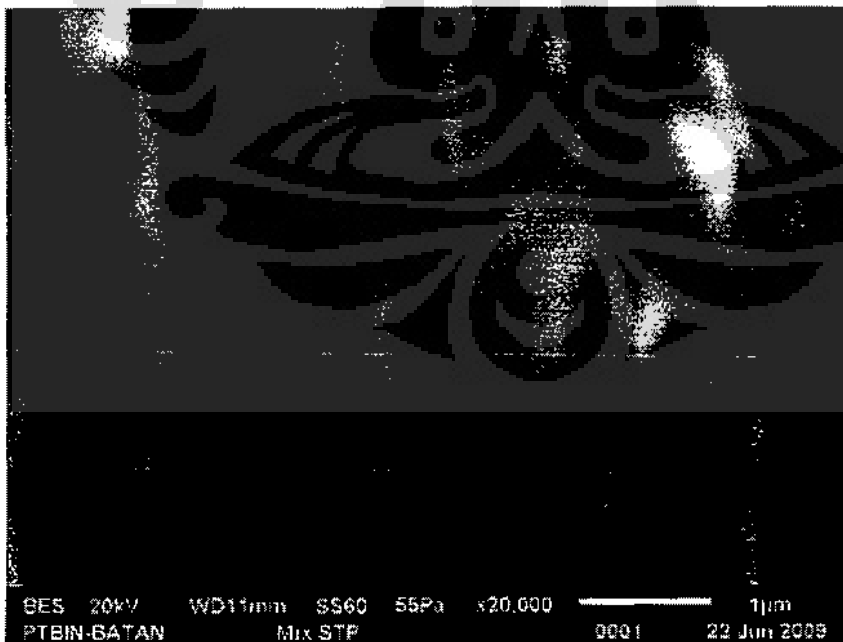
except in full context and with the prior approval in writing from LUMBS.

HASIL ANALISIS/UJI
TEST/ANALYSIS RESULT

Nanokomposit mix STP (*Screw pendek*)



Pembesaran 20.000 kali



Pembesaran 20.000 kali

Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji dan dilarang keras untuk menggandakan sertikat ini kecuali seluruhnya tanpa persetujuan tertulis dari LUMBS.

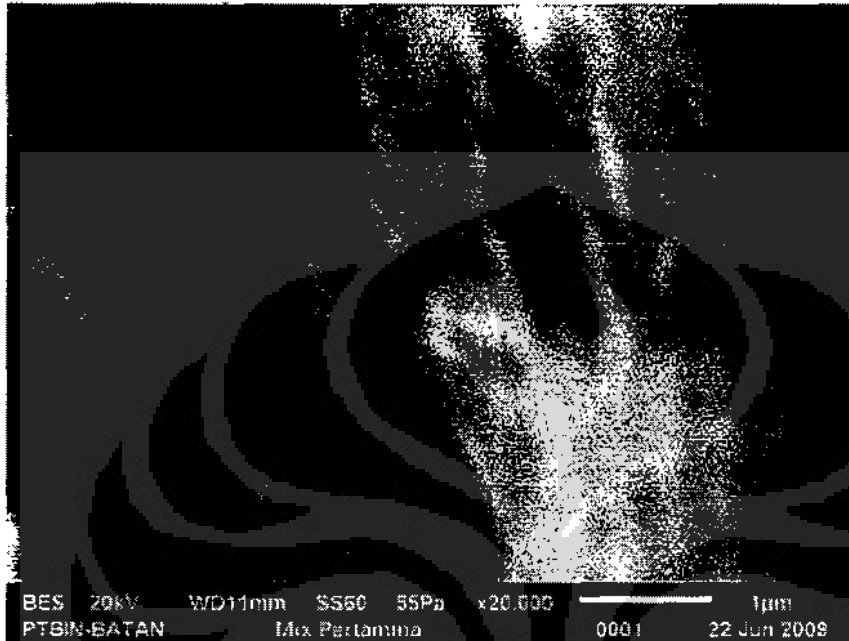
This test result related to the sample(s) submitted only and the certificate can not be reproduced in any way.

except in full context and with the prior approval in writing from LUMBS.

Fabrikasi Nanokomposit..., Saeful Rohman, FT UI, 2009

HASIL ANALISIS/UJI
TEST/ANALYSIS RESULT

Nanokomposit mix PERTAMINA (*Screw panjang*)



Pembesaran 20.000 kali



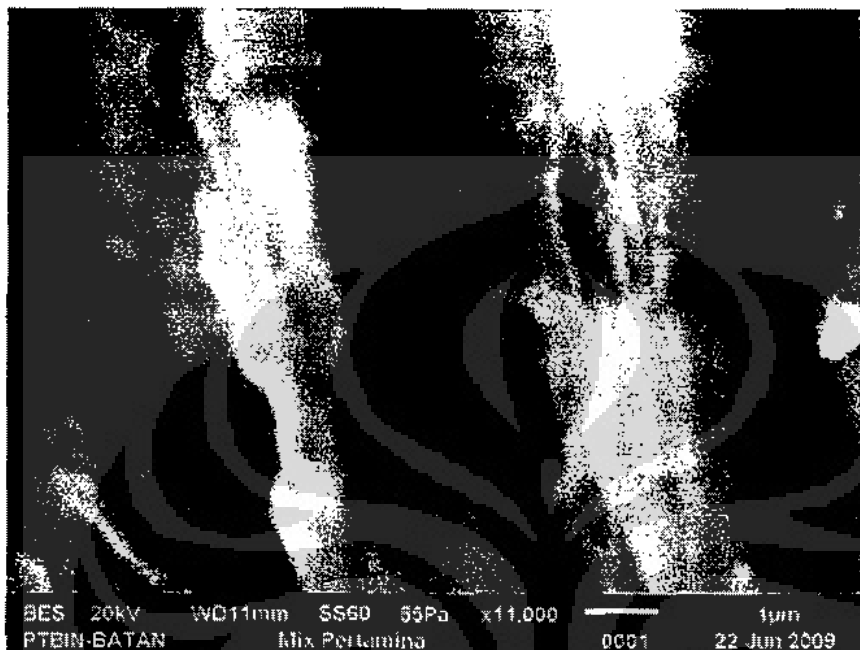
Pembesaran 10.000 kali

Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji dan diarang keras untuk menggandakan sertifikat ini kecuali seluruhnya tanpa persetujuan tertulis dari LUMBS.

This test result related to the sample(s) submitted only and the certificate can not be reproduced in any way, except in full context and with the prior approval in writing from LUMBS.

HASIL ANALISIS/UJI
TEST/ANALYSIS RESULT

Nanokomposit mix PERTAMINA (*Screw panjang*)



Pembesaran 11.000 kali



Pembesaran 10.000 kali

Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji dan dilarang keras untuk menggandakan sertifikat ini kecuali seuruhnya tanpa persetujuan tertulis dari LUMBS.

This test result related to the sample(s) submitted only and the certificate can not be reproduced in any way,

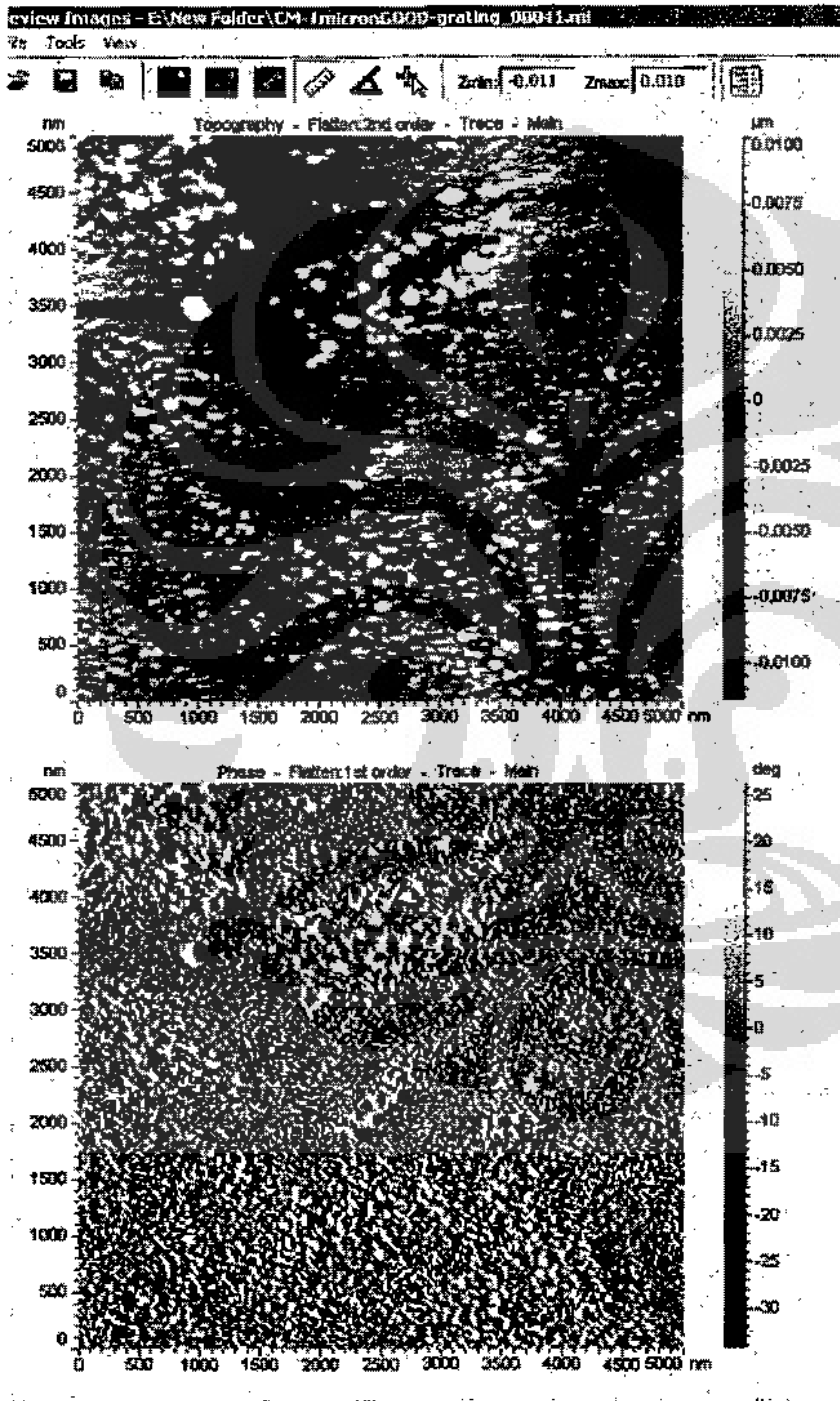
except in full context and with the prior approval in writing from LUMBS.

Fabrikasi Nanokomposit..., Saeful Rohman, FT UI, 2009

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix STP/Screw Pendek

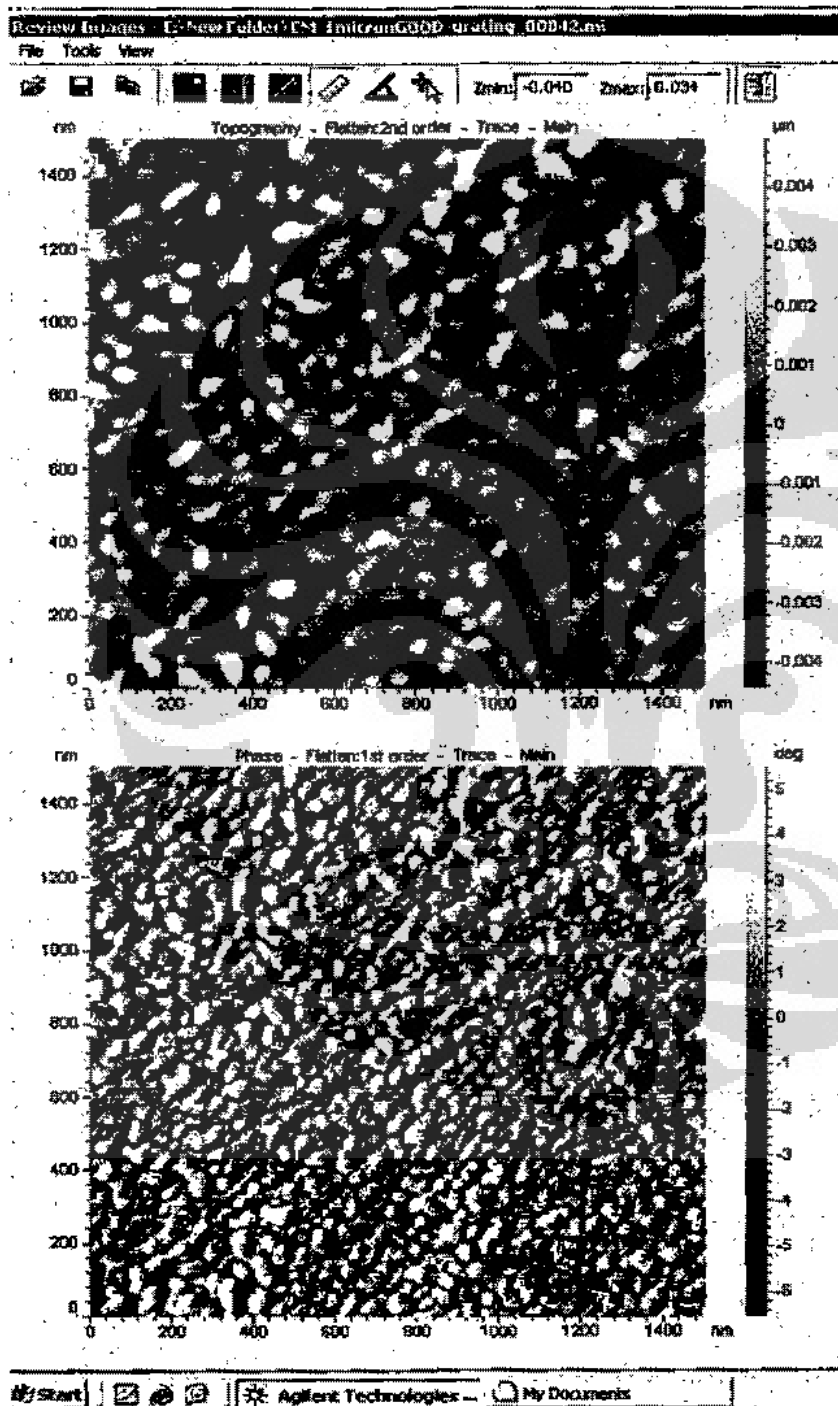


Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix STP/Screw Pendek

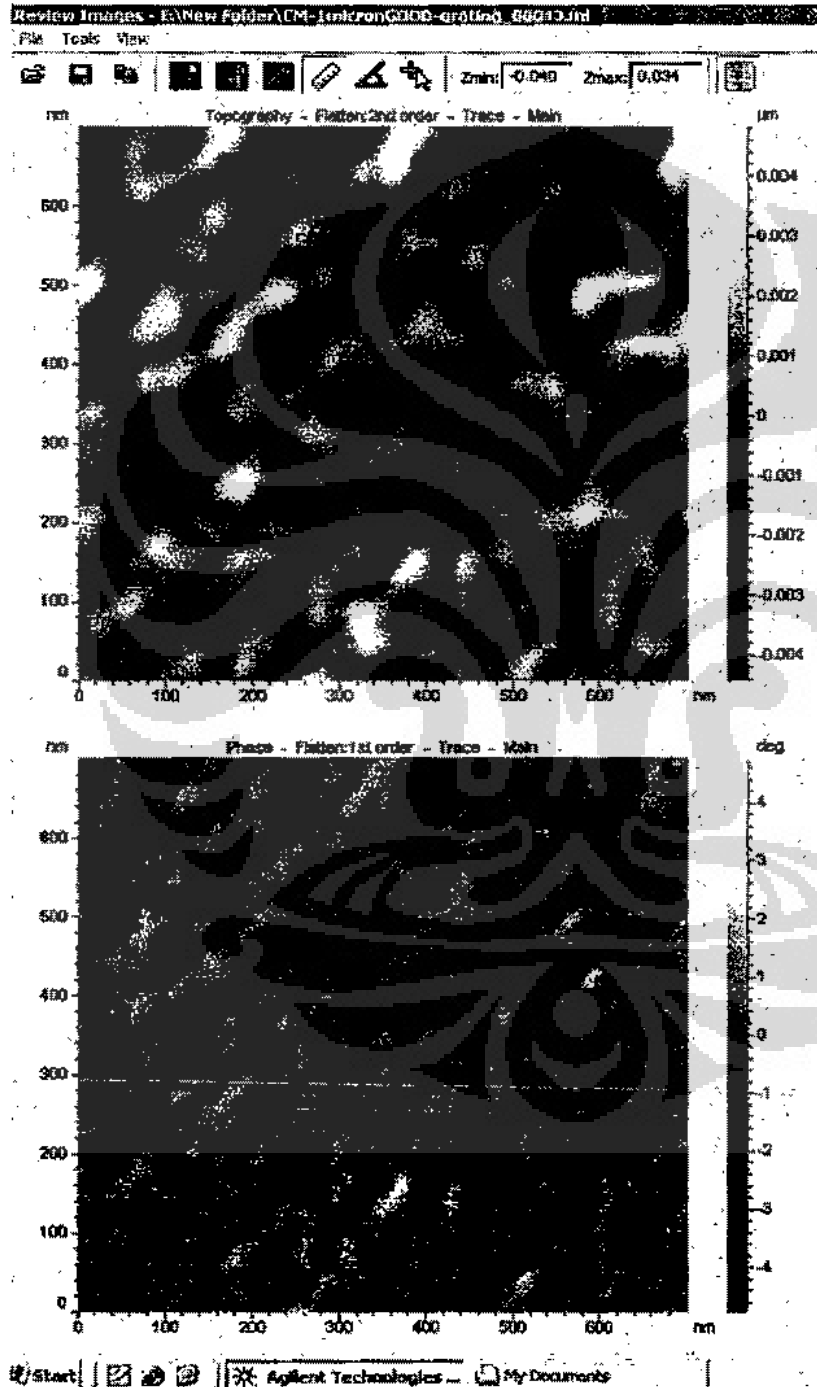


Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix STP/Screw Pendek

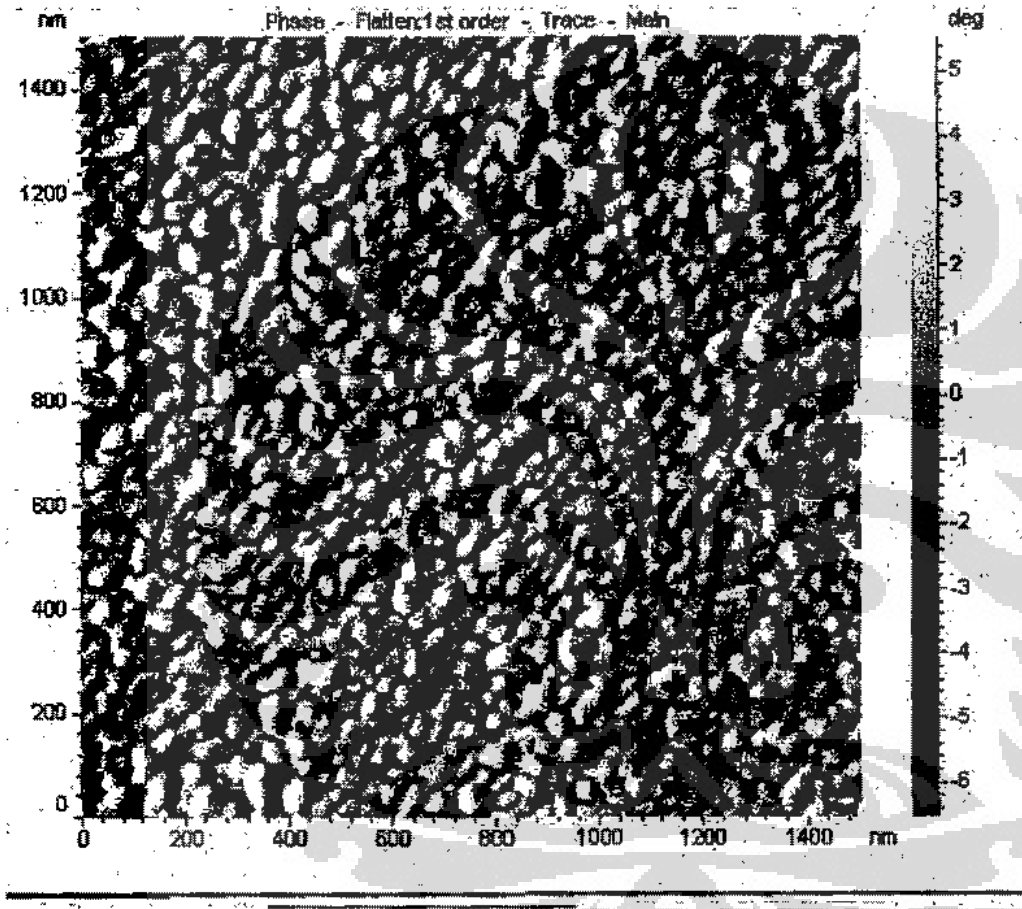


Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix STP/Screw Pendek

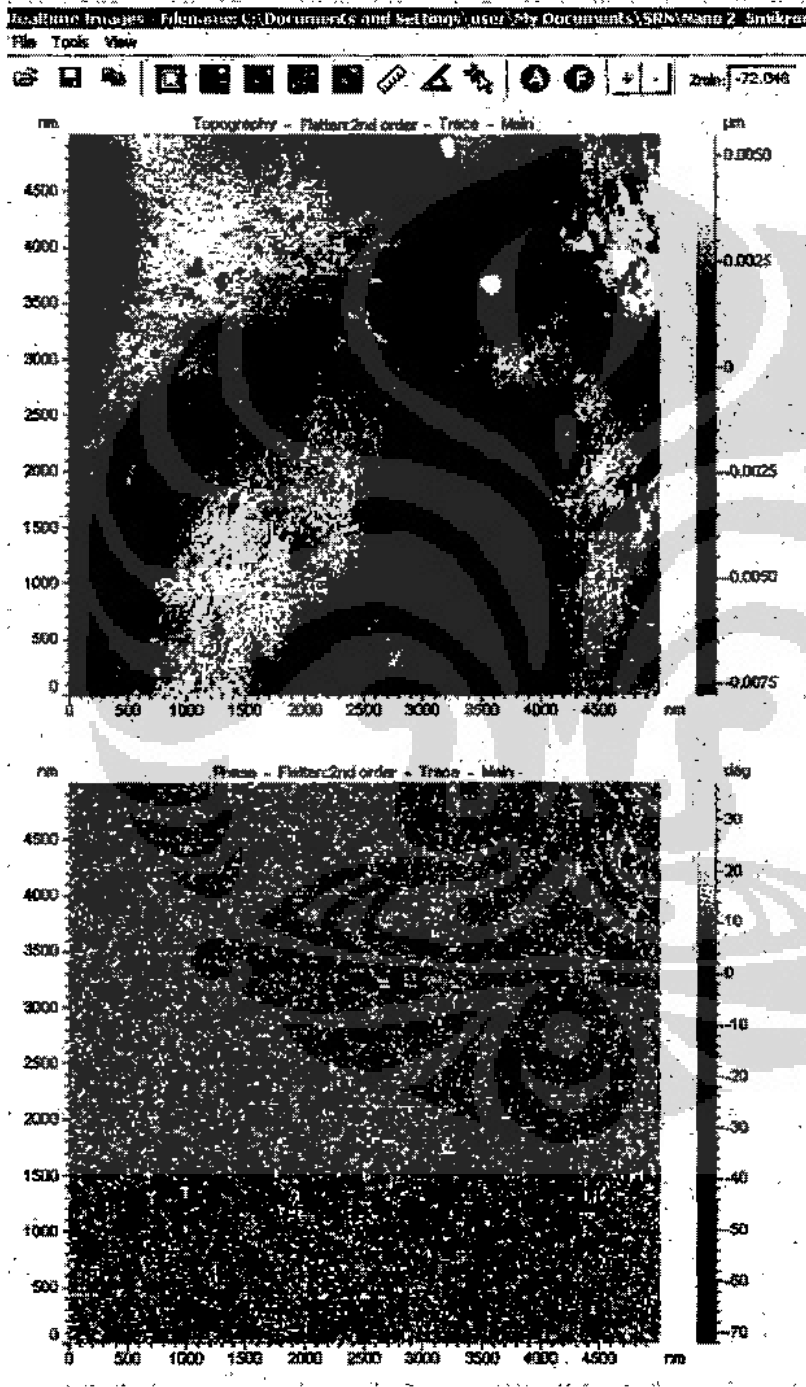


Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix Pertamina/Screw Panjang

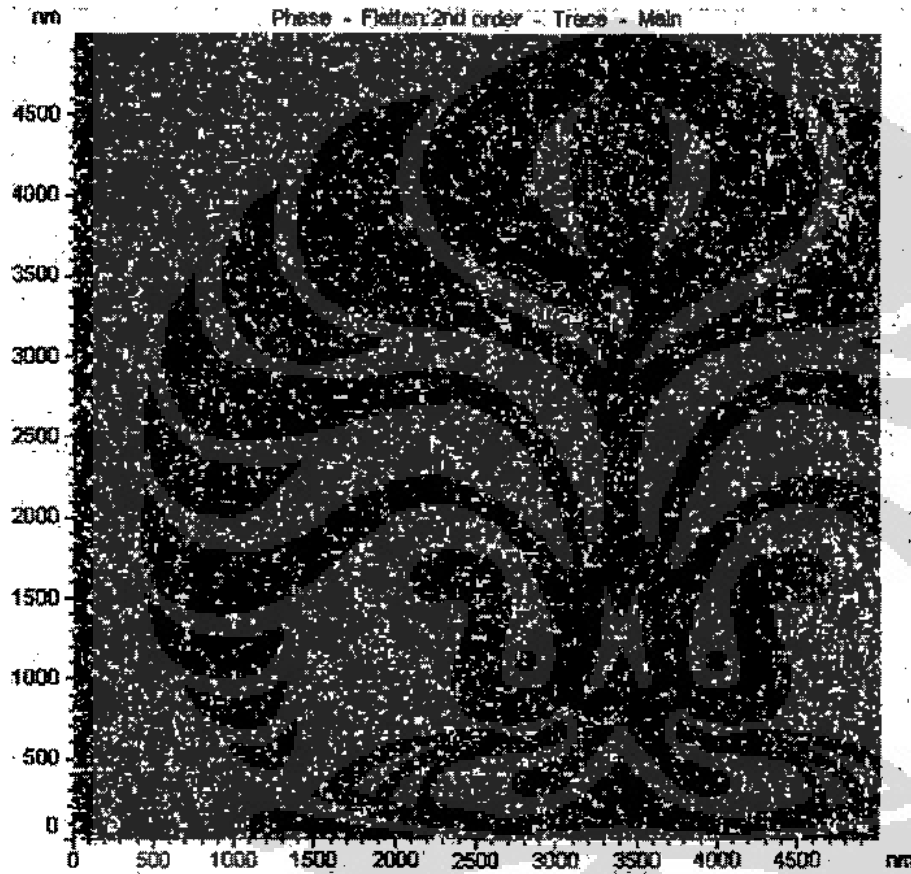


Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

HASIL ANALISIS AFM-SPM

23 - 06 - 2009

Nanokomposit Mix Pertamina/Screw Panjang



Hasil analisis adalah sample uji yang dikirim ke STP oleh customer

Test Certificate

Plastics Tensile Test

Order No.....J409070
 Test standard.....ASTM D638 I
 Tester.....abd

Material.....Nano komposit mix 1x pertamina
 Tested on.....2009-06-10
 Kondisi Uji.....22.0oC , RH 60.5%

Testing machine.....AGS-G
 Extension.....0.01 N
 Gage length.....115 mm
 Test speed.....0 % -> 5 mm/min

Factory.....J409070ptt
 Parameter set.....ASTM D638 I1

Legend

0.....Batch number
Thickness
Width
E-Modulus
Tensile strength

"B.....Strain at Break
 "Y.....Yield stress
 "Y.....Yield strain
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	"Y MPa	"Y %	Comment
1	NK mix 1x pert-1	3.530	13.30	0.625	27.96	11.37	27.96	11.28	
2	NK mix 1x pert-2	3.480	13.51	0.795	27.94	10.05	27.94	9.941	
3	NK mix 1x pert-3	3.560	13.28	0.787	26.81	8.780	26.81	8.701	
4	NK mix 1x pert-4	3.540	13.40	0.780	25.82	7.946	n.a.	n.a.	
5	NK mix 1x pert-5	3.530	13.46	0.790	29.14	12.25	29.14	12.05	
min:		3.528	13.39	0.755	27.53	10.08	27.96	10.49	
imum:		3.480	13.28	0.625	25.82	7.946	26.81	8.701	
imum:		3.560	13.51	0.795	29.14	12.25	29.14	12.05	
dev.:		0.029	0.099	0.073	1.264	1.776	0.951	1.479	
(1.95) %:		1.038	0.923	12.01	5.698	21.88	5.413	22.42	
res:		5	5	5	5	5	4	4	

Test Certificate

Plastics Tensile Test

Order No.....J409070
 Standard.....ASTM D638 I
 Tester.....abd

Material.....PP+nanoclay mix TSE STP
 Tested on.....2009-04-08
 Kondisi Uji.....21.60C , RH 60.5%

Testing machine.....AGS-G
 Extension.....0.01 N
 Gage length.....115 mm
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min

Reference.....J409070 pte PP nanoclay
 Parameterset.....ASTM D638 t1

Legend

Lot.....Batch number
 Thickness
 Width
 E-Modulus
 Tensile strength

σ_yYield stress
 ϵ_yYield strain
 ϵ_BStrain at Break
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	σ_M MPa	σ_y MPa	ϵ_y %	ϵ_B %	Comment
8	PP+nanoclay -2	4.030	12.71	0.753	29.02	n.a.	n.a.	9.064	
9	PP+nanoclay -3	4.020	12.77	0.729	28.79	28.79	9.290	9.377	
10	PP+nanoclay -4	3.980	13.35	0.732	29.00	n.a.	n.a.	8.919	
11	PP+nanoclay -5	3.580	13.65	0.717	32.21	32.21	15.92	20.19	
12	PP+nanoclay -6	3.580	13.35	0.784	31.89	31.89	14.49	15.05	
Mean:		3.838	13.17	0.743	30.36	30.96	13.23	12.52	
Minimum:		3.580	12.71	0.717	28.79	28.79	9.290	8.919	
Maximum:		4.030	13.65	0.784	32.21	32.21	15.92	20.19	
Std.dev.:		0.236	0.408	0.026	1.602	1.889	3.489	5.000	
Cv(0.95) %:		7.642	3.850	4.400	6.552	15.16	65.50	49.58	
Values:		5	5	5	5	3	3	5	

Test Certificate

Plastics Tensile Test

Order No.....J409070
 Test standard.....ASTM D638 I
 Tester.....abd

Material.....Nano komposit mix 2x pertamina
 Tested on.....2009-06-10
 Kondisi Uji.....22.0oC , RH 60.5%

Testing machine.....AGS-G
 Extension.....0.01 N
 Gage length.....115 mm
 Test speed 1.....0 % → 5 mm/min

Factory.....J409070ptt
 Parameterset.....ASTM D638 t1

Legend

o.....Batch number
Thickness
Width
E-Modulus
Tensile strength

"B.....Strain at Break
 "Y.....Yield stress
 "Y.....Yield strain
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	"Y MPa	"Y %	Comment
6	NK mix 2x pert-1	3.490	13.40	0.843	28.94	10.84	28.94	10.74	
7	NK mix 2x pert-2	3.510	13.52	0.824	28.29	10.19	28.29	10.14	
8	NK mix 2x pert-3	3.450	13.38	0.833	29.14	12.71	29.14	11.62	
9	NK mix 2x pert-4	3.500	13.24	0.849	29.16	12.34	29.16	11.28	
10	NK mix 2x pert-5	3.480	13.13	0.865	28.57	9.232	n.a.	n.a.	
Mean:		3.486	13.33	0.843	28.82	11.06	28.88	10.95	
Minimum:		3.450	13.13	0.824	28.29	9.232	28.29	10.14	
Maximum:		3.510	13.52	0.865	29.16	12.71	29.16	11.62	
1 dev.:		0.023	0.151	0.016	0.379	1.458	0.407	0.648	
(0.95) %:		0.820	1.408	2.307	1.634	16.37	2.244	9.413	
Values:		5	5	5	5	5	4	4	



IMPACT TEST REPORT

Date of testing : 10-Jun-09
 Order Number : J409070
 Order from :
 Material Tested : PP Original

 Humidity : 61,0 %
 Temp. : 22,2 °C

 Methode : ISO 179/1eU Determination of Charpy impact properties
 Methode of tested : Notch/ Unnotched/ edgewise/ flatwise

 Velocity of Impact : 2,9 m/sec²
 Pendulum Energy : 4 J
 Correction Energy : 0,009 J
 Span Length : 62 mm

 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygrograph : Opus

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Impact Charpy Strength (kJ/m ²)	Type of failure
1	10,11	3,61	0,633	0,624	17,375	C
2	9,65	3,49	0,525	0,516	14,155	C
3	9,67	3,56	0,554	0,545	14,957	C
4	9,83	3,60	0,582	0,573	15,743	C
5	10,06	3,61	0,545	0,536	15,386	C
6	10,24	3,58	0,513	0,504	14,559	C
7	10,15	3,57	0,527	0,518	14,597	C
8	10,17	3,56	0,516	0,507	14,284	C
9	9,82	3,59	0,603	0,594	16,991	C
10	6,65	3,51	0,562	0,553	23,692	C
Mean					16,174	
Standard Deviation					2,861	
Standard Deviation (%)					18%	

Operator : abd

kode	Keterangan kerusakan
C	Patah, spesimen patah menjadi dua atau lebih pecahan
H	Palah engsel, spesimen tidak patah tetapi masih saling bersatu karena lapisan tipis dalam bentuk engsel tanpa mempunyai
P	Patah sebagian, spesimen tidak patah tapi tidak sesuai dengan kriteria H
NB	Tidak patah



IMPACT TEST REPORT

Date of testing : 10-Jun-09
 Order Number : J409070
 Order from :
 Material Tested : PP Clay Alam

 Humidity : 61,0 %
 Temp. : 22,2 °C

 Methode : ISO 179/1eU Determination of Charpy impact properties
 Methode of tested : Notch/ Unnotched/ edgewise/ flatwise

 Velocity of Impact : 2,9 m/sec²
 Pendulum Energy : 4 J
 Correction Energy : 0,009 J
 Span Length : 62 mm

 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : Opus

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Impact Charpy Strength (kJ/m ²)	Type of failure
1	9,98	3,87	0,521	0,512	13,256	C
2	9,99	3,89	0,525	0,516	13,278	C
3	10,07	3,91	0,554	0,545	13,842	C
4	10,15	3,86	0,602	0,593	15,136	C
5	10,12	3,88	0,585	0,576	14,669	C
6	10,04	3,92	0,518	0,509	12,933	C
7	9,98	3,89	0,534	0,525	13,523	C
8	10,07	3,90	0,616	0,607	15,456	C
9	10,16	3,90	0,551	0,542	13,679	C
10	9,89	3,92	0,562	0,553	14,264	C
Mean					14,004	
Standard Deviation					0,850	
Standard Deviation (%)					6%	

Operator : abd

Kode	Keterangan kerusakan
C	Patah, spesimen patah menjadi dua atau lebih pecahan
H	Patah ongsel, spesimen tidak patah tetapi masih saling bersatu karena lapisan tipis dalam bentuk ongsel tanpa mempunyai
P	Patah sebagian, spesimen tidak patah tapi tidak sesuai dengan kriteria H
NB	Tidak patah



IMPACT TEST REPORT

Date of testing : 10-Jun-09
 Order Number : J409070
 Order from :
 Material Tested : Nano komposit mix STP

 Humidity : 61,0 %
 Temp. : 22,2 °C

 Methode : ISO 179/1eU Determination of Charpy impact properties
 Methode of tested : Notch/ Unnotched/ edgewise/ flatwise

 Velocity of Impact : 2,9 m/sec²
 Pendulum Energy : 4 J
 Correction Energy : 0,009 J
 Span Length : 62 mm

 Equipment : Impact tool : Resili Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : Opus

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Impact Charpy Strength (kJ/m ²)	Type of failure
1	10,16	3,57	0,585	0,576	15,880	C
2	10,04	3,58	0,521	0,512	14,245	C
3	10,15	3,59	0,654	0,645	17,701	C
4	10,11	3,60	0,522	0,513	14,095	C
5	9,96	3,61	0,604	0,595	16,548	C
6	9,98	3,58	0,658	0,649	18,165	C
7	9,83	3,61	0,504	0,495	13,949	C
8	10,17	3,59	0,546	0,537	14,708	C
9	9,82	3,56	0,551	0,542	15,504	C
10	9,95	3,59	0,544	0,535	14,977	C
Mean					15,577	
Standard Deviation					1,490	
Standard Deviation (%)					10%	

Operator : abd

kode	Keterangan kerusakan
C	Patah, spesimen patah menjadi dua atau lebih pecahan
H	Patah engsel, spesimen tidak patah tetapi masih saling bersatu karena lapisan tipis dalam bentuk engsel tanpa mempunyai
P	Patah sebagian, spesimen tidak patah tapi tidak sesuai dengan kriteria H
NB	Tidak patah



IMPACT TEST REPORT

Date of testing : 10-Jun-09
 Order Number : J409070
 Order from :
 Material Tested : Nano komposit mix 1x pertamina

Humidity : 61,0 %
 Temp. : 22,2 °C

Method : ISO 179/1eU Determination of Charpy impact properties
 Methode of tested : Notch/ Unnotched/ edgewise/ flatwise

Velocity of Impact : 2,9 m/sec²
 Pendulum Energy : 4 J
 Correction Energy : 0,009 J
 Span Length : 62 mm

Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : Opus

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Impact Charpy Strength (kJ/m ²)	Type of failure
1	10,06	3,57	0,599	0,590	16,428	C
2	10,24	3,56	0,575	0,566	15,526	C
3	10,15	3,59	0,654	0,645	17,701	C
4	10,11	3,60	0,464	0,455	12,501	C
5	9,85	3,61	0,640	0,631	17,745	C
6	9,97	3,58	0,458	0,449	12,580	C
7	9,83	3,61	0,524	0,515	14,513	C
8	10,17	3,49	0,516	0,507	14,264	C
9	9,87	3,56	0,551	0,542	15,425	C
10	9,87	3,51	0,605	0,596	17,204	C
Mean					15,391	
Standard Deviation					1,930	
Standard Deviation (%)					13%	

Operator : abd

kode	Keterangan kerusakan
C	Patah, spesimen patah menjadi dua atau lebih pecahan
H	Patah engsel, spesimen tidak patah tetapi masih saling bersatu karena lapisan tipis dalam bentuk engsel tanpa mempunyai
P	Patah sebagian, spesimen tidak patah tapi tidak sesuai dengan kriteria H
NB	Tidak patah



IMPACT TEST REPORT

Date of testing : 10-Jun-09
 Order Number : J409070
 Order from :
 Material Tested : Nano komposit mix 2x pertamina

Humidity : 61,0 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 179/1eU Determination of Charpy impact properties
 Methode of tested : Notch/ Unnotched/ edgewise/ flatwise

Velocity of Impact : 2,9 m/sec²
 Pendulum Energy : 4 J
 Correction Energy : 0,009 J
 Span Length : 62 mm

Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygrograph : Opus

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Impact Charpy Strength (kJ/m ²)	Type of failure
1	10,75	3,91	0,566	0,557	13,252	C
2	9,75	3,92	0,660	0,651	17,033	C
3	10,10	3,73	0,692	0,683	18,130	C
4	10,30	3,81	0,623	0,614	15,646	C
5	10,17	3,95	0,657	0,648	16,131	C
6	10,36	3,72	0,611	0,602	15,620	C
7	10,73	3,94	0,714	0,705	16,676	C
8	10,20	3,93	0,596	0,587	14,644	C
9	10,06	3,99	0,611	0,602	14,998	C
10	10,60	3,87	0,630	0,621	15,138	C
Mean					15,727	
Standard Deviation					1,364	
Standard Deviation (%)					9%	

Operator : abd

Kode	Keterangan kerusakan
C	Patah, spesimen patah menjadi dua atau lebih pecahan
H	Patah engsel, spesimen tidak patah tetapi masih saling beratu karena lapisan tipis dalam bentuk engsel tanpa mempunyai
P	Patah sebagian, spesimen tidak patah tapi tidak sesuai dengan kriteria H
NB	Tidak patah

BALL INDENTATION HARDNESS REPORT

Date of testing : 10/6/2009
 Order Number : J409070
 Operator : abd
 Customer :
 Material Tested : PP Original

Humidity : 61 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 2039-1
 Methode of tested : Ball Indentation Method

Equipment Type : EMCO TEST

Thickness : 3,56 mm
 Reading time : 30 s
 Correction Value : 0,01 mm
 Load : 357,7 N

Number of Run	Depth of Indentation (h1), mm	Corrected Depth of Indentation (h), mm	correct or incorrect	Ball Indentation Hardness (N/mm ²)
1	0,280	0,270	correct	83
2	0,275	0,265	correct	85
3	0,275	0,265	correct	85
4	0,275	0,265	correct	85
5	0,270	0,260	correct	87
6	0,265	0,255	correct	89
7	0,275	0,265	correct	85
8	0,275	0,265	correct	85
9	0,275	0,265	correct	85
10	0,270	0,260	correct	87
Mean				86
Standard Deviation				1,65
Standard Deviation (%)				1,92

BALL INDENTATION HARDNESS REPORT

Date of testing : 10/6/2009
 Order Number : J409070
 Operator : abd
 Customer :
 Material Tested : Nano komposit Clay Alam

Humidity : 61 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 2039-1
 Methode of tested : Ball Indentation Method

Equipment Type : EMCO TEST

Thickness : 3,56 mm
 Reading time : 30 s
 Correction Value : 0,01 mm
 Load : 357,7 N

Number of Run	Depth of Indentation (h ₁), mm	Corrected Depth of Indentation (h), mm	correct or incorrect	Ball Indentation Hardness (N/mm ²)
1	0,245	0,235	correct	98
2	0,245	0,235	correct	98
3	0,250	0,240	correct	96
4	0,250	0,240	correct	96
5	0,245	0,235	correct	98
6	0,245	0,235	correct	98
7	0,255	0,245	correct	93
8	0,250	0,240	correct	96
9	0,255	0,245	correct	93
10	0,265	0,255	correct	89
Mean				96
Standard Deviation				2,99
Standard Deviation (%)				3,13

BALL INDENTATION HARDNESS REPORT

Date of testing : 10/6/2009
 Order Number : J409070
 Operator : abd
 Customer :
 Material Tested : Nano komposit mix STP

Humidity : 61 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 2039-1
 Methode of tested : Ball Indentation Method

Equipment Type : EMCO TEST

Thickness : 3,56 mm
 Reading time : 30 s
 Correction Value : 0,01 mm
 Load : 357,7 N

Number of Run	Depth of Indentation (h1), mm	Corrected Depth of Indentation (h), mm	correct or incorrect	Ball Indentation Hardness (N/mm ²)
1	0,265	0,255	correct	89
2	0,265	0,255	correct	89
3	0,265	0,255	correct	89
4	0,255	0,245	correct	93
5	0,260	0,250	correct	91
6	0,265	0,255	correct	89
7	0,265	0,255	correct	89
8	0,260	0,250	correct	91
9	0,265	0,255	correct	89
10	0,265	0,255	correct	89
Mean				90
Standard Deviation				1,40
Standard Deviation (%)				1,56

BALL INDENTATION HARDNESS REPORT

Date of testing : 10/6/2009
 Order Number : J409070
 Operator : abd
 Customer :
 Material Tested : Nano komposit mix pertamina 1X

Humidity : 61 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 2039-1
 Methode of tested : Ball Indentation Method

Equipment Type : EMCO TEST

Thickness : 3,56 mm
 Reading time : 30 s
 Correction Value : 0,01 mm
 Load : 357,7 N

Number of Run	Depth of Indentation (h1), mm	Corrected Depth of Indentation (h), mm	correct or incorrect	Ball Indentation Hardness (N/mm ²)
1	0,265	0,255	correct	89
2	0,255	0,245	correct	93
3	0,260	0,250	correct	91
4	0,260	0,250	correct	91
5	0,260	0,250	correct	91
6	0,260	0,250	correct	91
7	0,265	0,255	correct	89
8	0,260	0,250	correct	91
9	0,265	0,255	correct	89
10	0,255	0,245	correct	93
Mean				91
Standard Deviation				1,48
Standard Deviation (%)				1,63

BALL INDENTATION HARDNESS REPORT

Date of testing : 10/6/2009
 Order Number : J409070
 Operator : abd
 Customer :
 Material Tested : Nano komposit mix pertamina 2X

Humidity : 61 %
 Temp. : 22,2 °C

Methode : ISO 2039-1
 Methode of tested : Ball Indentation Method

Equipment Type : EMCO TEST

Thickness : 3,45 mm
 Reading time : 30 s
 Correction Value : 0,01 mm
 Load : 357,7 N

Number of Run	Depth of Indentation (h1), mm	Corrected Depth of Indentation (h), mm	Correct or incorrect	Ball Indentation Hardness (N/mm ²)
1	0,260	0,250	correct	91
2	0,255	0,245	correct	93
3	0,260	0,250	correct	91
4	0,260	0,250	correct	91
5	0,260	0,250	correct	91
6	0,260	0,250	correct	91
7	0,260	0,250	correct	91
8	0,260	0,250	correct	91
9	0,260	0,250	correct	91
10	0,255	0,245	correct	93
Mean				91
Standard Deviation				0,84
Standard Deviation (%)				0,92

Test Result
Abrasion Testing

Order no	J4090070	type of wheel	H-18
Testing standard		loading	500g
Tester	yuro	rpm	72
Testing machine	abrasion test	tested on	4-5/6/09
Testing condition	23C,50%RH	cycle	1000cycles

Sample Name : PP-Original

no	initial weight(g)	last weight(g)	loss of mass(g)	loss of mass(mg/ln2)
1	17,2678	17,1259	0,1419	35,48
2	16,8906	16,7395	0,1511	37,77
3	17,0339	16,8871	0,1468	36,70
Average	17,0641	16,9175	0,1466	36,65
Stdev	0,1904	0,1950	0,0046	1,15

Sample Name : PP-Cnat

no	initial weight(g)	last weight(g)	loss of mass(g)	loss of mass(mg/ln2)
1	17,6464	17,5469	0,0995	24,87
2	17,7192	17,6131	0,1061	26,53
3	17,5320	17,4405	0,0915	22,88
Average	17,6325	17,5335	0,0990	24,76
Stdev	0,0944	0,0871	0,0073	1,83

Sample Name : PP-Cstp

no	initial weight(g)	last weight(g)	loss of mass(g)	loss of mass(mg/ln2)
1	14,6092	14,5054	0,1038	25,95
2	14,9882	14,9002	0,0880	22,00
3	14,5738	14,4640	0,1098	27,45
Average	14,7237	14,6232	0,1005	25,13
Stdev	0,2297	0,2408	0,0113	2,62

Sample Name : PP-Cpm1

no	initial weight(g)	last weight(g)	loss of mass(g)	loss of mass(mg/ln2)
1	17,6164	17,5057	0,1107	27,67
2	17,9001	17,7863	0,1138	28,45
3	18,3845	18,2827	0,1018	25,45
Average	17,9670	17,8582	0,1088	27,19
Stdev	0,3884	0,3935	0,0062	1,56

Sample Name : PP-Cpm2

no	initial weight(g)	last weight(g)	loss of mass(g)	loss of mass(mg/ln2)
1	18,3903	18,2882	0,1021	25,53
2	17,8549	17,7523	0,1026	25,65
3	17,5591	17,4468	0,1123	28,08
Average	17,9348	17,8291	0,1057	26,42
Stdev	0,4213	0,4259	0,0058	1,44

Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 09-06-2009
Order Number	: J10400 70 Nanokomposit
Description of Sample	: PP Original
Standard Method	: TI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 ^{*)}
Responsible Person	: SWA/DRS
Conditioning	: 23°C, RH 50%
Specimen Preparation	: -
Start Temperature	: 23,6
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise ^{*)}
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa ^{*)}

^{*)} 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	23,6	-			
6	35,6	12,0			
12	45,6	10,0			
18	58,8	13,0			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					


III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) ^{**) [N]}	Massload (m _w) ^{****) [g]}
1.	3,75	10,2	64,0	2,69	274,15
2.	3,75	10,2	64,0	2,69	274,15

III. Result

No.	Deflection [mm]	Temperature [°C]
1.	0,36	61,0
2.	0,36	61,2
Mean Value		61,10 ± 10

<sup>**) F = 2abh²/3L Flatwise
F = 2ahb²/3L Edgewise
<sup>****) m = F/9.81 m = total mass
m = m_w + m_r m_r = mass of rod</sup></sup>

Penguji: 

Pemeriksa: Dasep R



Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 09-06-2009
Order Number	: J10400 70 Nanokomposit
Description of Sample	: PP Clay Alam
Standard Method	: TI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 ^{*)}
Responsible Person	: SWA/DRS
Conditioning	: 23°C, RH 50%
Specimen Preparation	: -
Start Temperature	: 24,2
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise ^{*)}
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa ^{*)}

^{*)} 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	24,2	-			
6	35,0	12,0			
12	45,2	10,0			
18	58,5	13,0			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) ^{**) [N]}	Massload (m _w) ^{***) [g]}
1.	3,65	10,2	64,0	2,66	274,04
2.	3,65	10,2	64,0	2,66	274,04

III. Result

No.	Deflection [mm]	Temperature [°C]
1.	0,36	59,5
2.	0,36	59,4
Mean Value		59,45 ± 1,0

<sup>**) F = 2cbh²/3L Flatwise
F = 2chb²/3L Edgewise
<sup>***) m = F/9.81 m = total mass
m = m_w + m_r m_r = mass of rod</sup></sup>

Penguji:

Pemeriksa: Dasep R



Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 09-06-2009
Order Number	: J10400 70 Nanokomposit
Description of Sample	: Nanokomposit mix STP (screw pendek)
Standard Method	: TI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 ^{*)}
Responsible Person	: SWA/DRS
Conditioning	: 23°C, RH 50%
Specimen Preparation	: -
Start Temperature	: 24,0
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise ^{*)}
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa ^{*)}

^{*)} 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	24,0	-			
6	37,5	12,5			
12	47,2	10,5			
18	59,5	13,0			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) ^{**) [N]}	Massload (m _w) ^{****) [g]}
1.	3,65	10,2	64,0	2,65	276,33
2.	3,65	10,2	64,0	2,65	276,33

III. Result

No.	Deflection [mm]	Temperature [°C]
1.	0,36	61,5
2.	0,36	61,7
Mean Value		61,6 ± 2,0

^{**) F = 2obh²/3L Flatwise}

F = 2ohb²/3L Edgewise

^{****) m = F/9.81 m = total mass}

h m = m_w + m_r m_r = mass of rod

Penguji:

Pemeriksa: Dasep R



No. Form	: LK-07
Edisi/revisi	: A / 0
Tgl. Revisi	:
Halaman	: 1 dari 1

Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 09-06-2009
Order Number	: J10400 70 Nanokomposit
Description of Sample	: Nanokomposit mix Pertamina 1x (screw panjang)
Standard Method	: TI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 ^{*)}
Responsible Person	: SWA/DRS
Conditioning	: 23°C, RH 50%
Specimen Preparation	: -
Start Temperature	: 24,5
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise ^{*)}
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa ^{*)}

^{*)} 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	24,5	-			
6	36,6	11,5			
12	37,6	11,0			
18	49,2	12,6			
Average of Heating Rate [°C/6min] =					

III. Dimension of Sample

No.	Thickness (h) [mm]	Width (b) [mm]	Support Span (L) [mm]	Load (F) ^{**) [N]}	Massload (m _w) ^{****) [g]}
1.	4,13	10,30	64,0	3,29	335,79
2.	4,10	10,33	64,0	3,26	332,54

III. Result

No.	Deflection [mm]	Temperature [°C]
1.	0,33	63,3
2.	0,33	63,7
Mean Value		63,5 ± 2,0

^{**) F = 2σbh²/3L Flatwise}

F = 2σhb²/3L Edgewise

^{****) m = F/9.81 m = total mass}

m = m_w + m_r m_r = mass of rod

Penguji:

Pemeriksa: Dasep R



Measurement of Heat Deflection Temperatur

I. General

Date	: 09-06-2009
Order Number	: J10400 70 Nanokomposit
Description of Sample	: Nanokomposit mix Pertamina 2x (screw panjang)
Standard Method	: TI-029 (ISO 75) / ASTM D 648 ^{*)}
Responsible Person	: SWA/DRS
Conditioning	: 23°C, RH 50%
Specimen Preparation	: -
Start Temperature	: 24,2
Heating Rate	: 120 ± 10 °C/h
Position	: Edgewise/Flatwise ^{*)}
Nominal Surface Stress	: 1,8 MPa/0,45 MPa/8,00 MPa ^{*)}

^{*)} 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	24,2	-			
6	36,1	11,9			
12	46,4	10,3			
18	57,9	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) ^{**)} [N]	Massload (m _w) ^{***)} [g]
1.	3,70	10,18	64,0	2,61	266,37
2.	3,75	9,80	64,0	2,61	266,22

III. Result

No.	Deflection [mm]	Temperature [°C]
1.	0,36	65,4
2.	0,36	65,3
Mean Value		65,35 ± 1,0

$$**) F = 2\sigma b h^2 / 3L \quad \text{Flatwise}$$

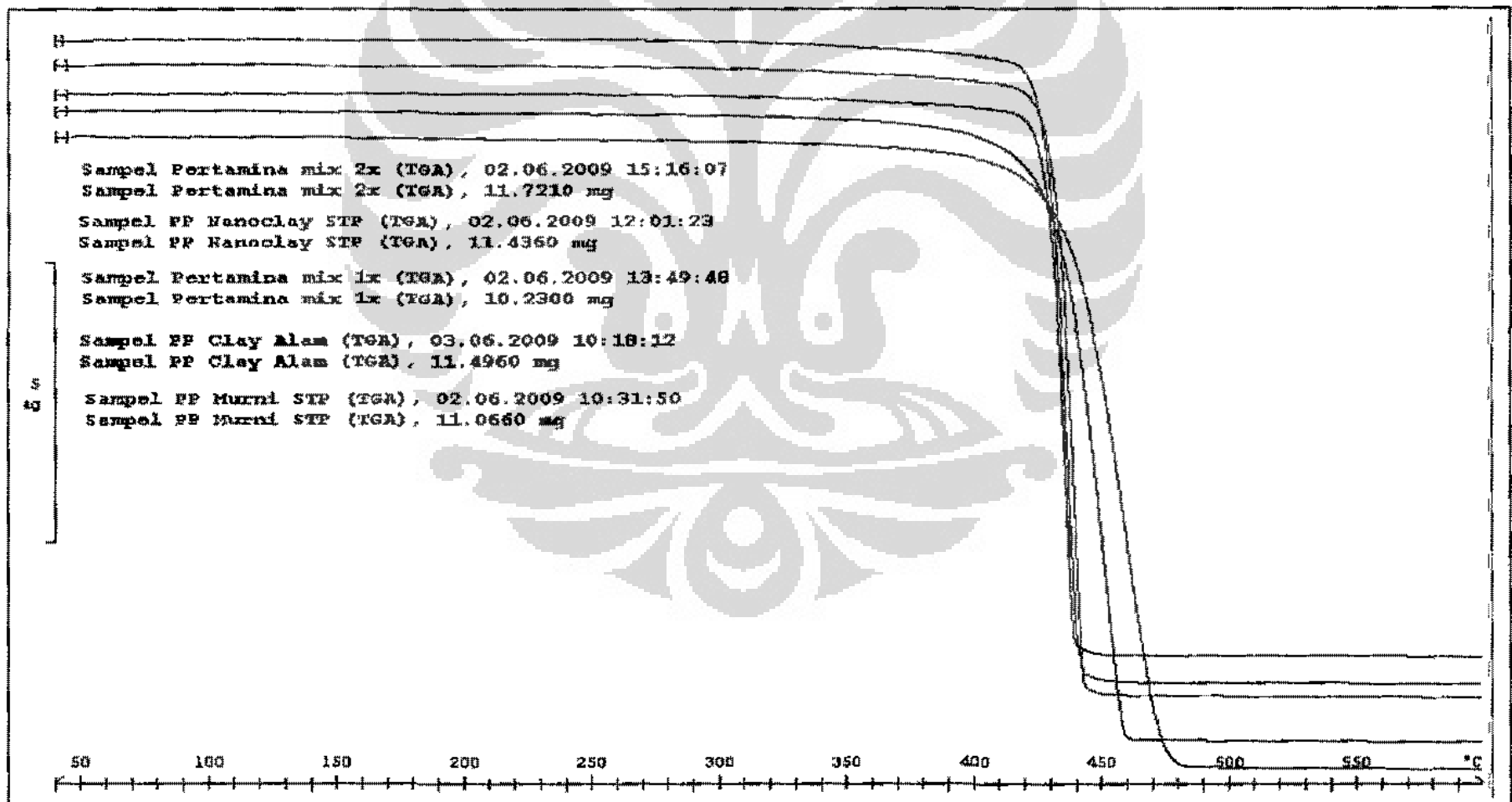
$$F = 2\sigma h b^2 / 3L \quad \text{Edgewise}$$

$$***) m = F / 9.81 \quad m = \text{total mass}$$

$$m = m_w + m_r \quad m_r = \text{mass of rod}$$

Penguji:

Pemeriksa: Dasep R

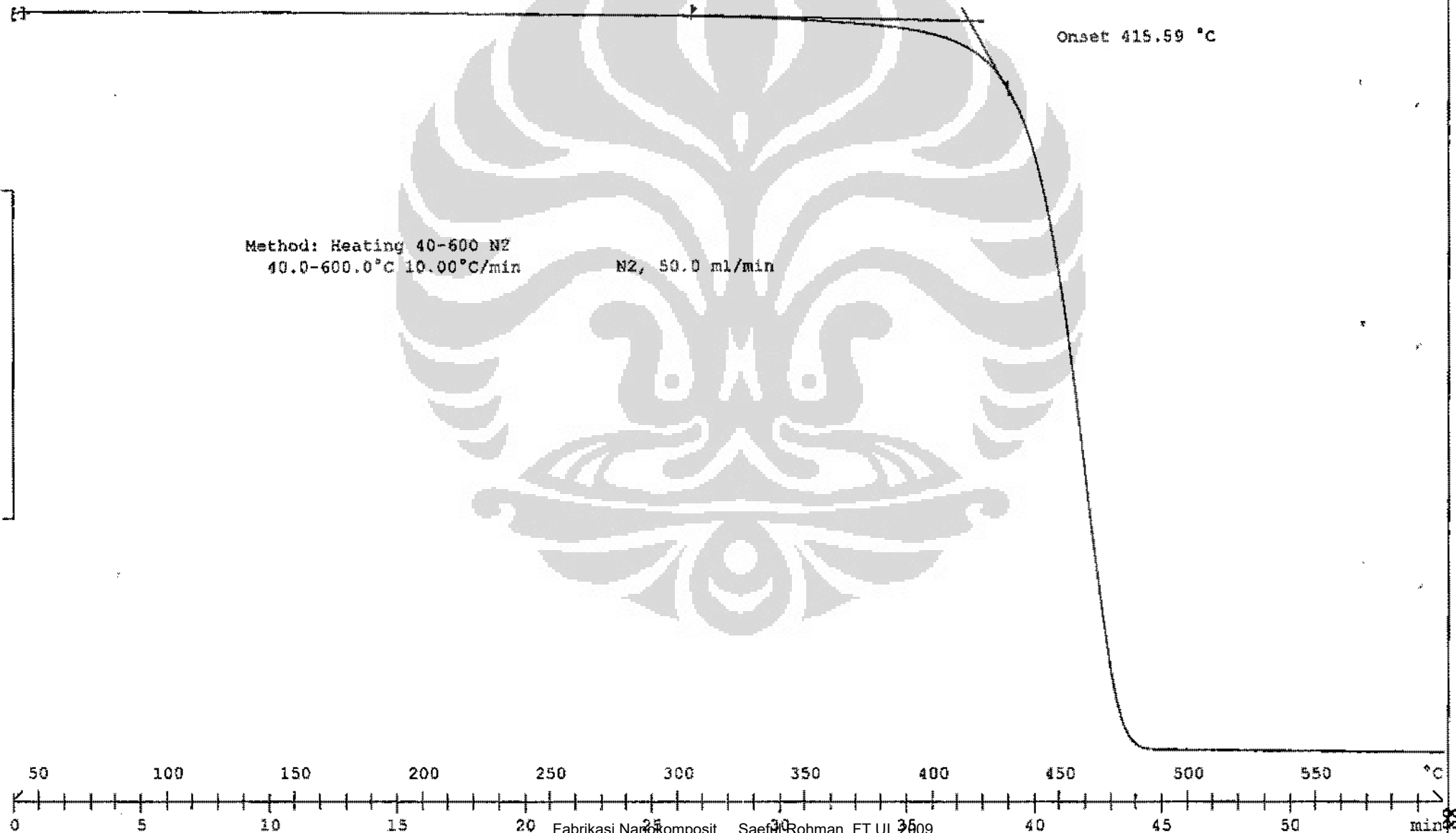


J4090070 Sampel PP Murni STP (TGA)

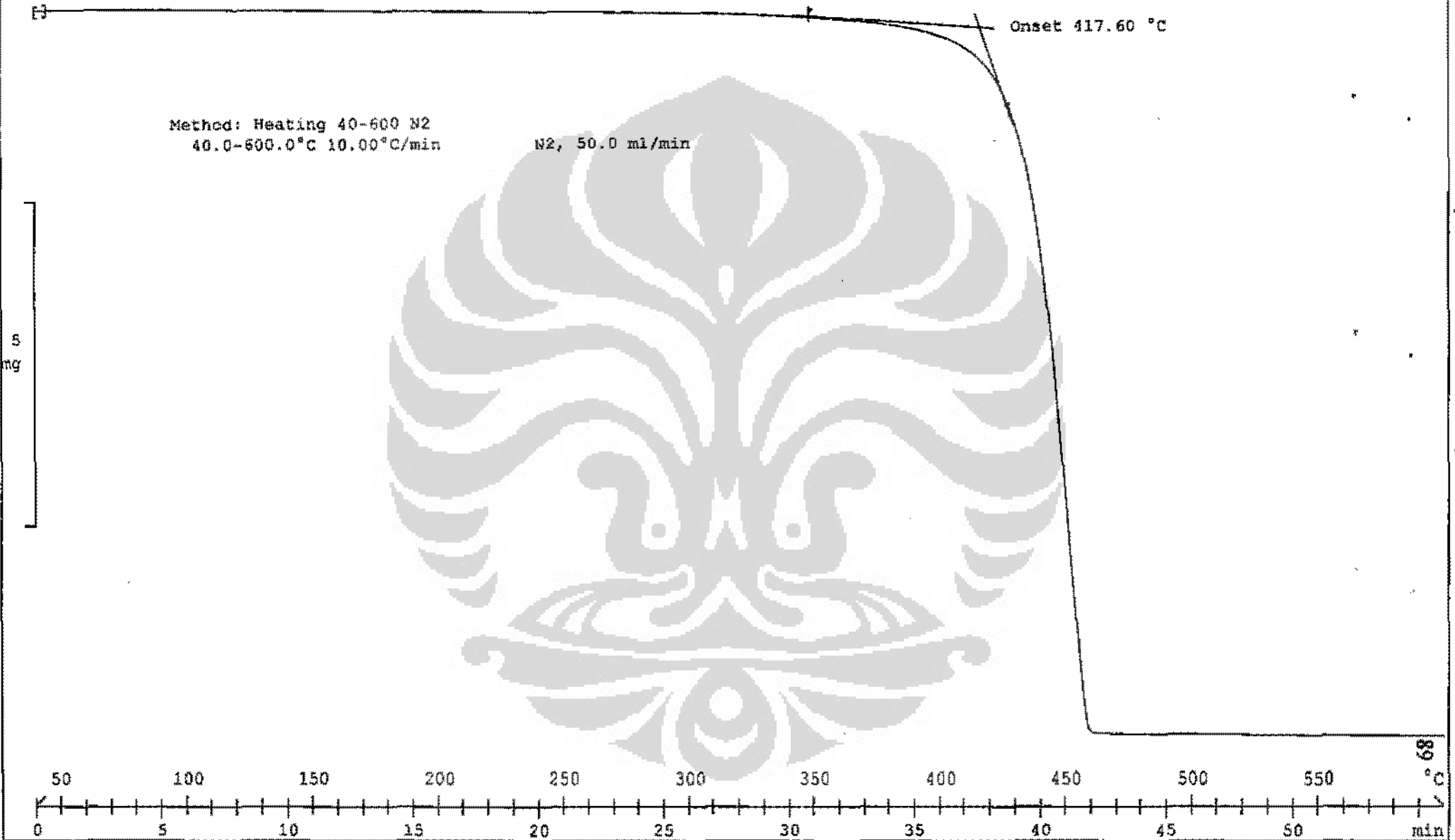
02.06.2009 14:33:42

Sampel PP Murni STP (TGA), 02.06.2009 10:31:50

Sampel PP Murni STP (TGA), 11.0660 mg

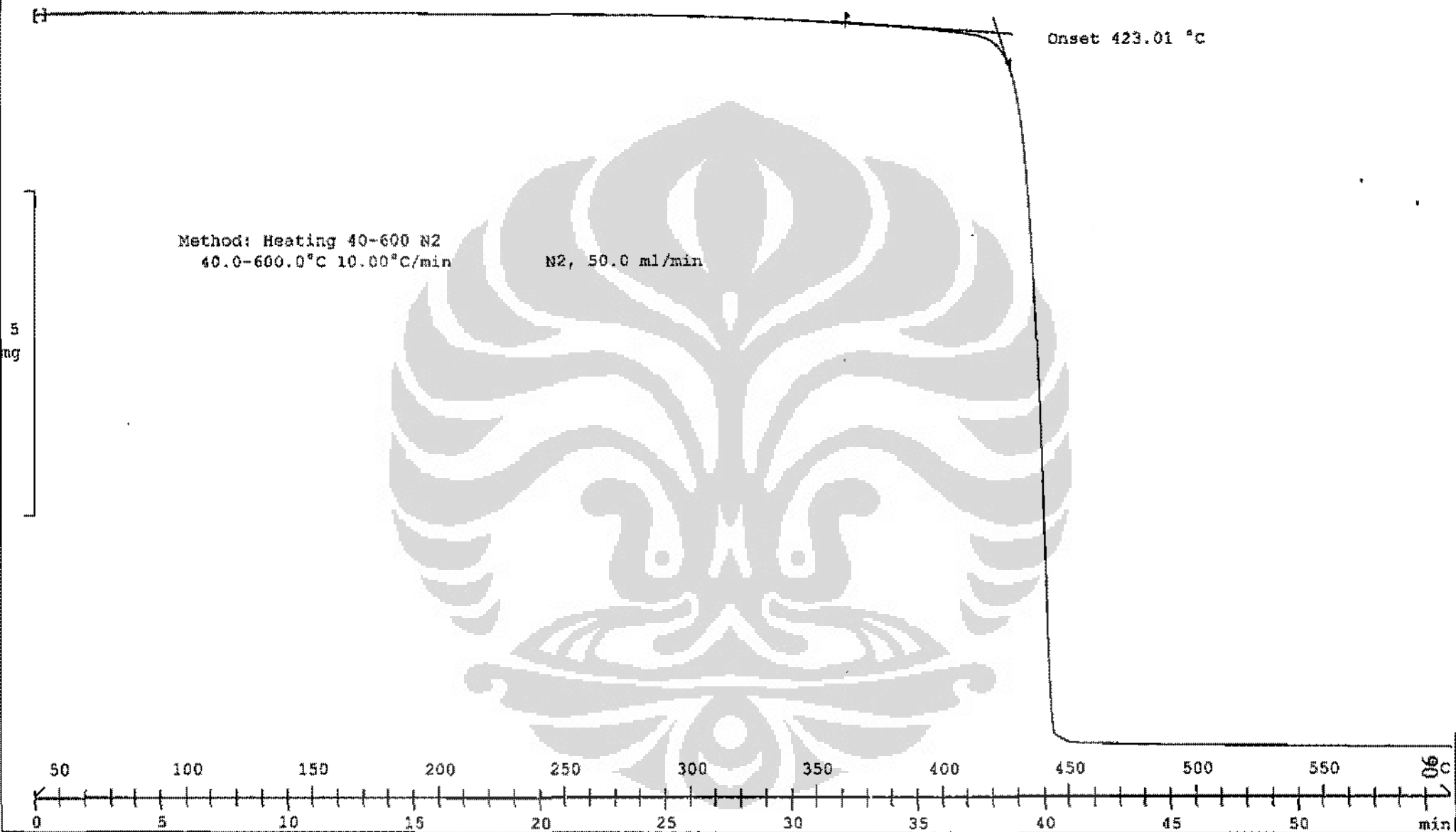


Sampel PP Clay Alam (TGA), 03.06.2009 10:18:12
Sampel PP Clay Alam (TGA), 11.4960 mg



Sampel PP Nanoclay STP (TGA), 02.06.2009 12:01:23

Sampel PP Nanoclay STP (TGA), 11.4360 mg

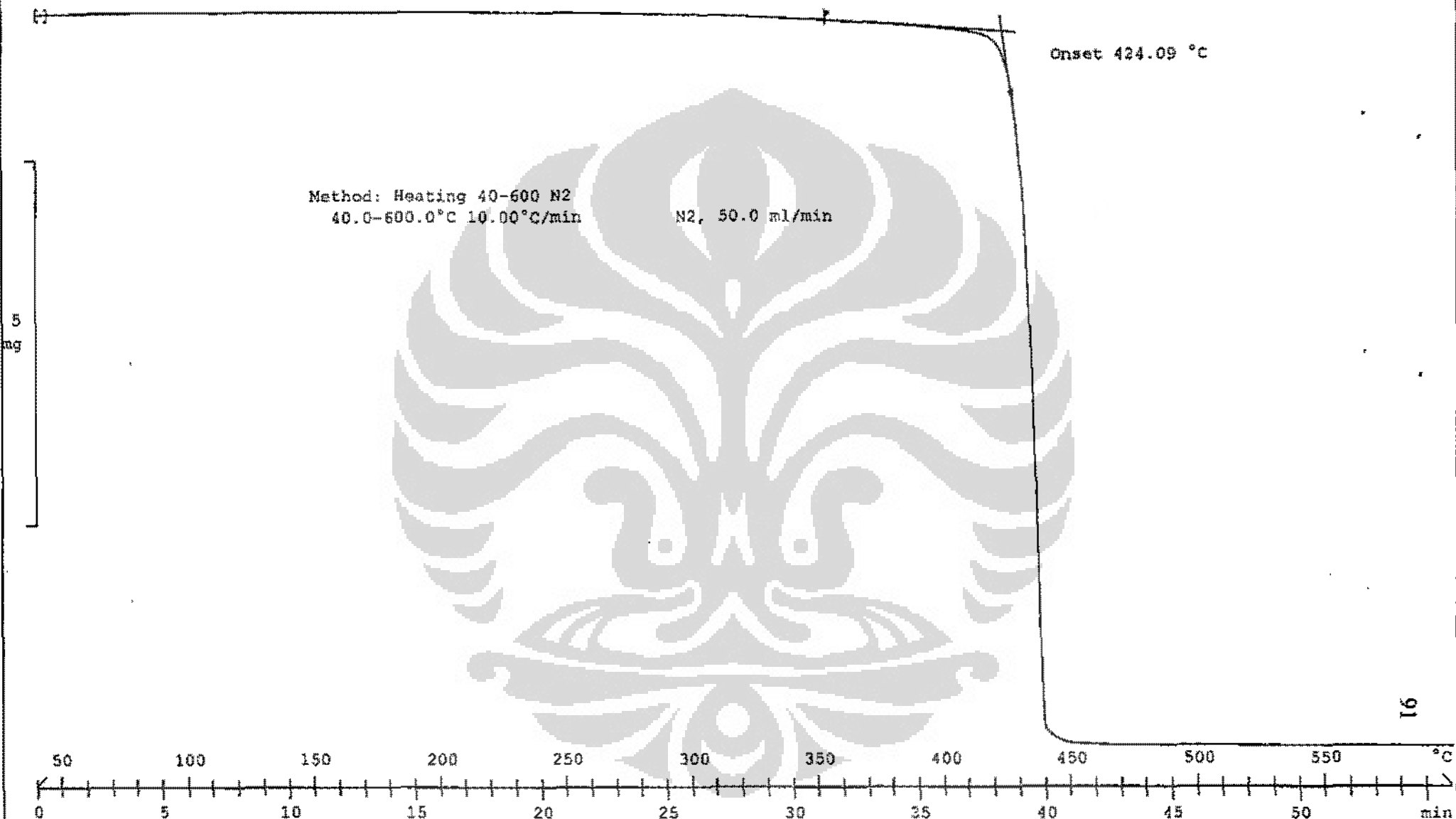


Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR® System

Sampel Pertamina mix 1x (TGA), 02.06.2009 13:49:48

Sampel Pertamina mix 1x (TGA), 10.2300 mg



Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR^e System

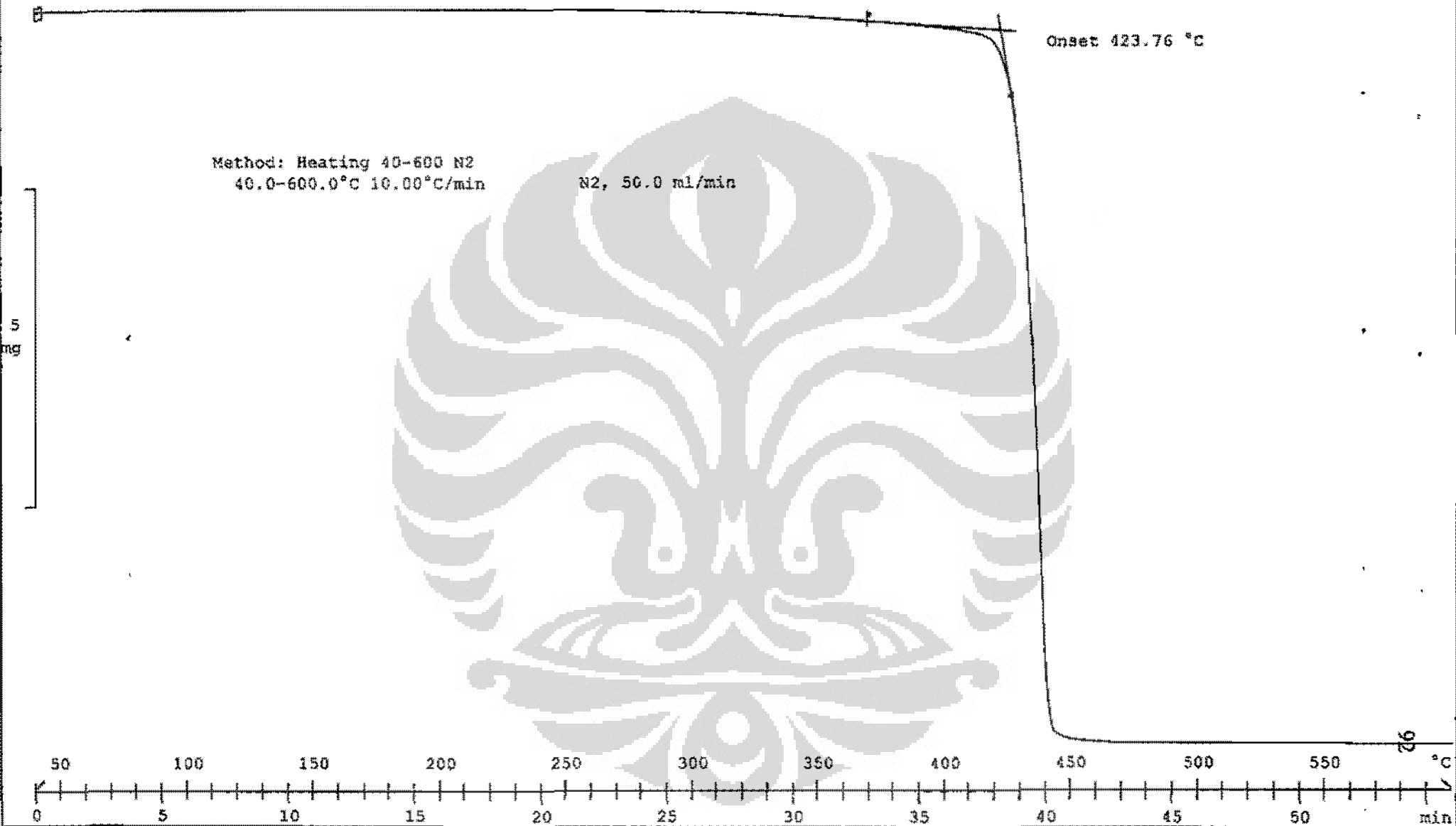
Sampel Pertamina mix 2x (TGA), 02.06.2009 15:16:07

Sampel Pertamina mix 2x (TGA), 11.7210 mg

Method: Heating 40-600 N2
40.0-600.0°C 10.00°C/min

N2, 50.0 ml/min

Onset 423.76 °C



Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR^e System



Sentra Teknologi Polimer

FLAMMABILITY OF PLASTIC MATERIAL TEST UL - 94 REPORT

Date of testing : 06/08/2009
 Order Number : SRN
 Operator : Dasep
 Material Tested : PP Original
 Preparation : Hotpress
 Methode : UL - 94
 Methode of tested : Test for Flammability of Plastic Material
 Equipment Type : -
 Horizontal Burning Test (HB)

Number of Run	Specimen Dimension			Flame front passed mm		Linier burning rate
	Length	Width	Thickness	L & t flaming		
	mm	mm	mm	L, mm	t, sec	mm/min
1	125/75	13,5	3,5	75	116	38,8
2	125/75	13,5	3,5	75	113	39,6
3	125/75	13,5	3,5	75	115	39,1
4	125/75	13,5	3,5	75	114	39,5
5	125/75	13,5	3,5	75	112	40,2
Mean						39,2
Max. value						39,6
Min. value						38,8
Standard Deviation						0,5
Standard Deviation (%)						1,3

Tester:

Dasep Rusmana



Sentra Teknologi Polimer

FLAMMABILITY OF PLASTIC MATERIAL TEST UL - 94 REPORT

Date of testing : 06/08/2009
 Order Number : SRN
 Operator : Dasep
 Material Tested : PP Clay Alam
 Preparation : Hotpress
 Methode : UL - 94
 Methode of tested : Test for Flammability of Plastic Material
 Equipment Type : -
 Horizontal Burning Test (HB)

Number of Run	Specimen Dimension			Flame front passed mm		Linear burning rate mm/min
	Length	Width	Thickness	L & t flaming		
	mm	mm	mm	L, mm	t, sec	
1	125/75	13,5	3,5	75	127	35,4
2	125/75	13,5	3,5	75	126	34,7
3	125/75	13,5	3,5	75	126	35,7
4	125/75	13,5	3,5	75	122	36,9
5	125/75	13,5	3,5	75	124	36,3
Mean						35,6
Max. value						35,7
Min. value						35,4
Standard Deviation						0,2
Standard Deviation (%)						0,5

Tester:

Dasep Rusmana



Sentra Teknologi Polimer

FLAMMABILITY OF PLASTIC MATERIAL TEST UL - 94 REPORT

Date of testing : 09/08/2009
 Order Number : SRN
 Operator : Dasep
 Material Tested : Mixing 2x STP (screw pendek)
 Preparation : Hotpress
 Methode : UL - 94
 Methode of tested : Test for Flammability of Plastic Material
 Equipment Type : -

Horizontal Burning Test (HB)

Number of Run	Specimen Dimension			Flame front passed mm		Linear burning rate mm/min
	Length	Width	Thickness	L & t flaming		
	mm	mm	mm	L, mm	t, sec	
1	125/75	13,5	3,5	75	123	36,6
2	125/75	13,5	3,5	76	124	36,3
3	125/75	13,5	3,5	76	122	36,9
4	125/75	13,5	3,5	75	125	36,0
5	125/75	13,5	3,5	75	126	35,7
Mean						35,6
Max. value						36,9
Min. value						36,3
Standard Deviation						0,3
Standard Deviation (%)						0,8

Tester:

Dasep Rusmana



Sentra Teknologi Polimer

FLAMMABILITY OF PLASTIC MATERIAL TEST UL - 94 REPORT

Date of testing : 06/08/2009
 Order Number : SRN
 Operator : Dasep
 Material Tested : Miring 1x Pertamina
 Preparation : Hotpress
 Methode : UL - 94
 Methode of tested : Test for Flammability of Plastic Material
 Equipment Type : -
 Horizontal Burning Test (HB)

Number of Run	Specimen Dimension			Flame front passed mm		Liner burning rate mm/min
	Length	Width	Thickness	L & t flaming		
	mm	mm	mm	L, mm	t, sec	
1	125/75	13,5	3,5	75	120	37,5
2	125/75	13,5	3,5	75	120	37,5
3	125/75	13,5	3,5	75	123	36,6
4	125/75	13,5	3,5	75	125	36,0
5	125/75	13,5	3,5	75	127	35,4
Mean						37,2
Max. value						37,5
Min. value						36,6
Standard Deviation						0,5
Standard Deviation (%)						1,4

Tester:

Dasep Rusmana



Sentra Teknologi Polimer

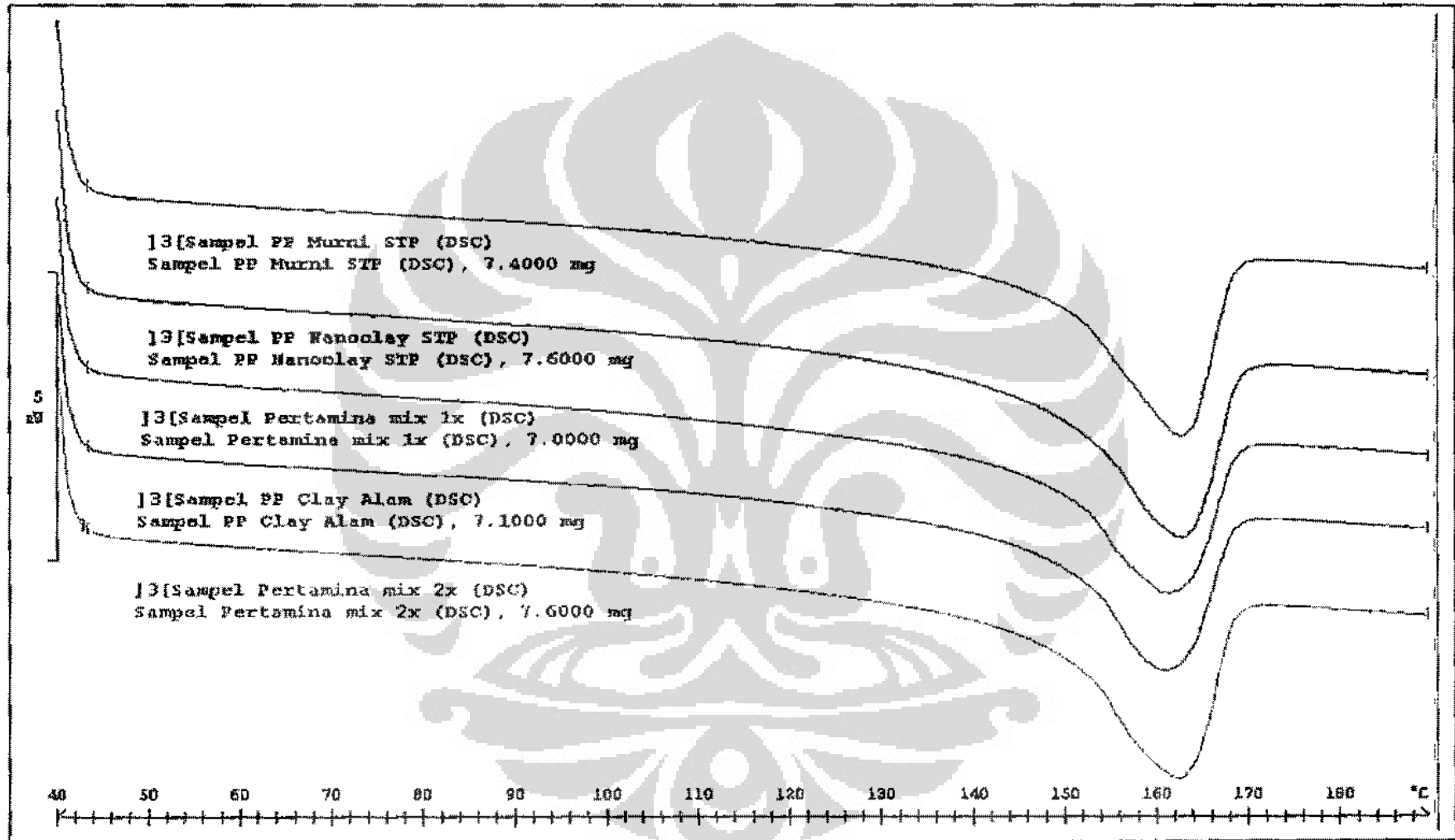
FLAMMABILITY OF PLASTIC MATERIAL TEST UL - 94 REPORT

Date of testing : 06/08/2009
 Order Number : SRN
 Operator : Dasep
 Material Tested : Miding 2x Pertamina
 Preparation : Hotpress
 Methode : UL - 94
 Methode of tested : Test for Flammability of Plastic Material
 Equipment Type : -
 Horizontal Burning Test (HB)

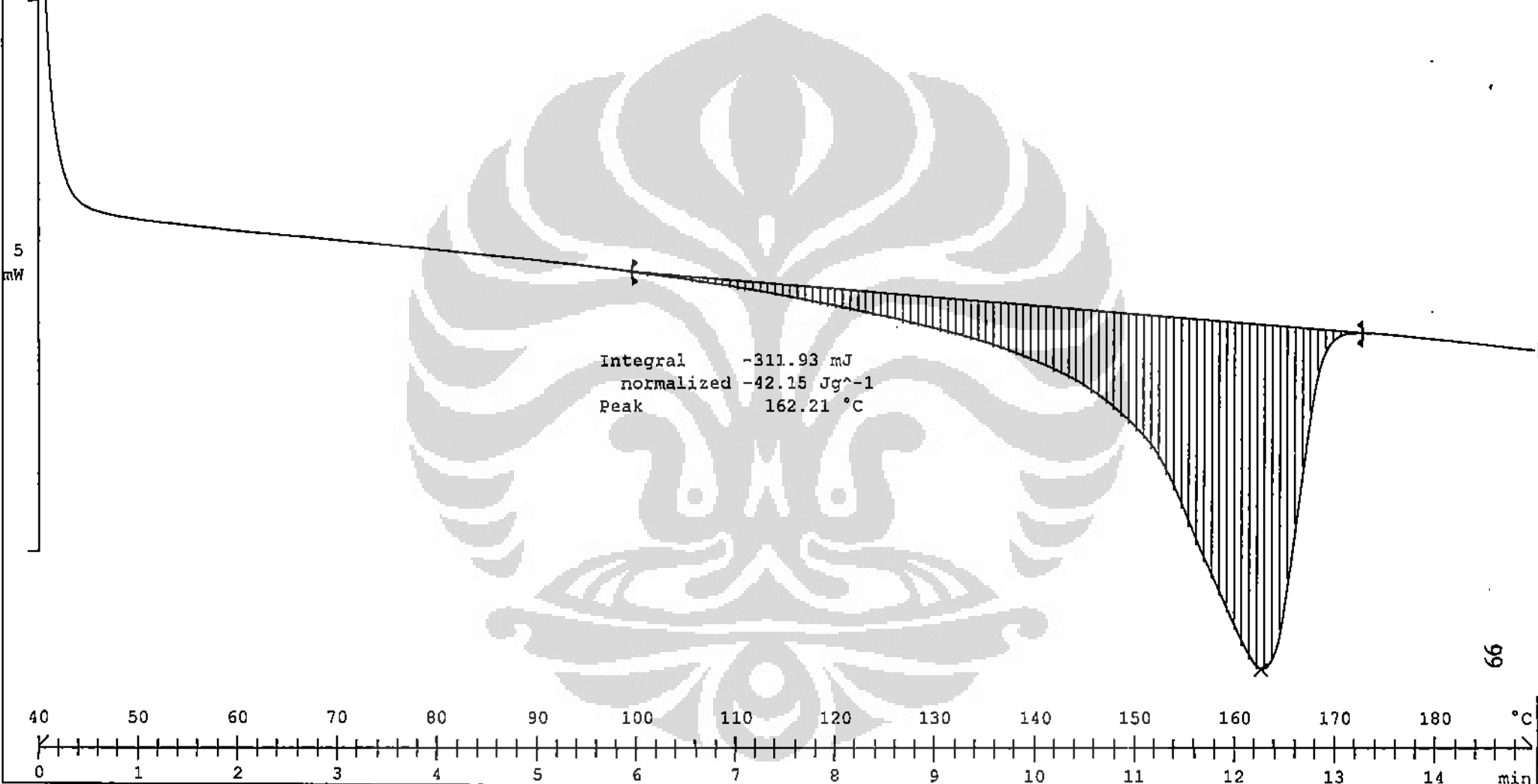
Number of Run	Specimen Dimension			Flame front passed mm		Liner burning rate mm/min
	Length	Width	Thickness	L & t flaming		
	mm	mm	mm	L, mm	t, sec	
1	125/75	13,5	3,5	75	126	35,7
2	125/75	13,5	3,5	75	125	36,0
3	125/75	13,5	3,5	75	124	36,3
4	125/75	13,5	3,5	75	125	36,0
5	125/75	13,5	3,5	75	127	35,4
Mean						36,0
Max. value						36,3
Min. value						35,7
Standard Deviation						0,3
Standard Deviation (%)						0,8

Tester:

Dasep Rusmana



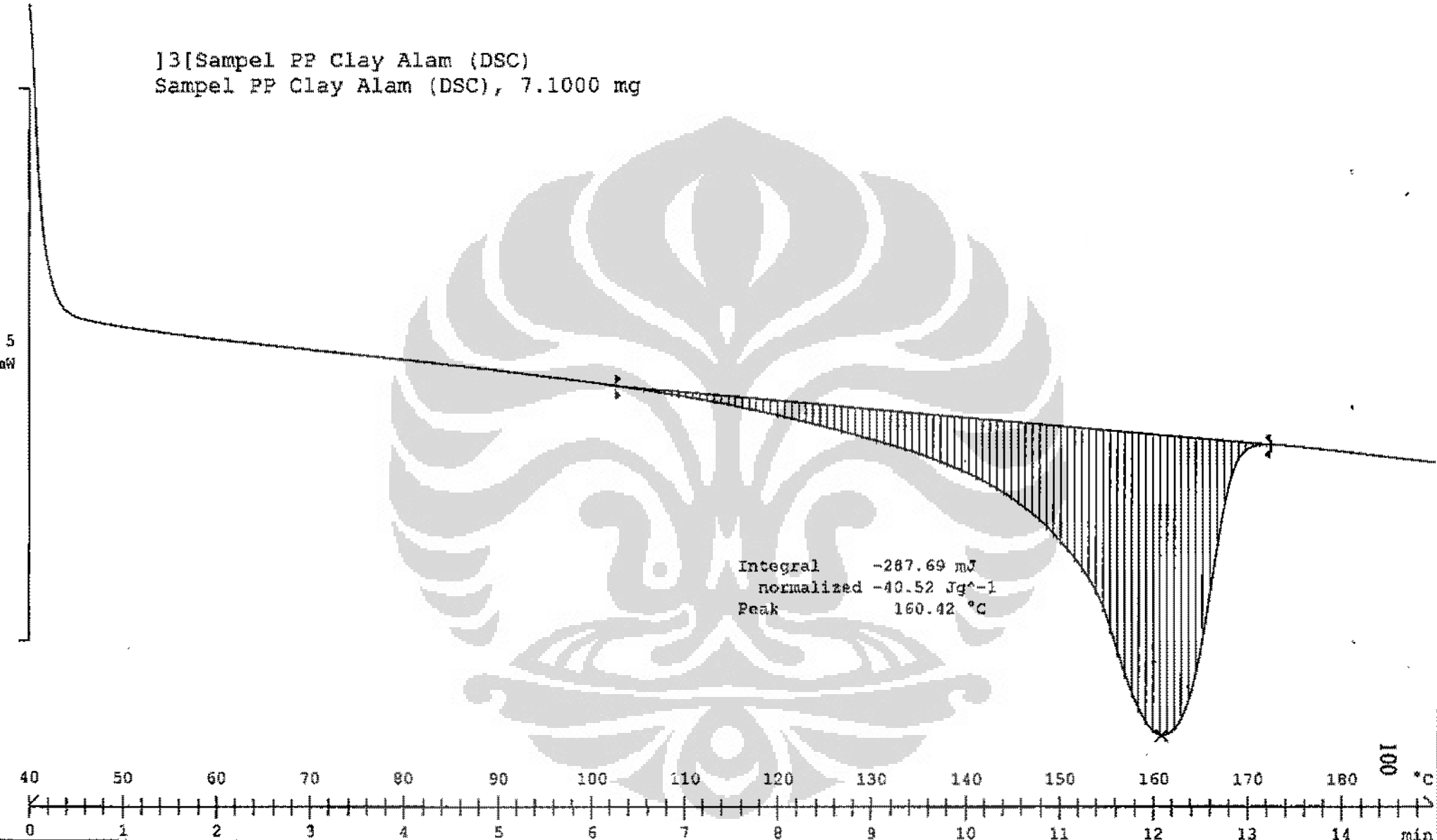
]3[Sampel PP Murni STP (DSC)
Sampel PP Murni STP (DSC), 7.4000 mg



Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR^e System

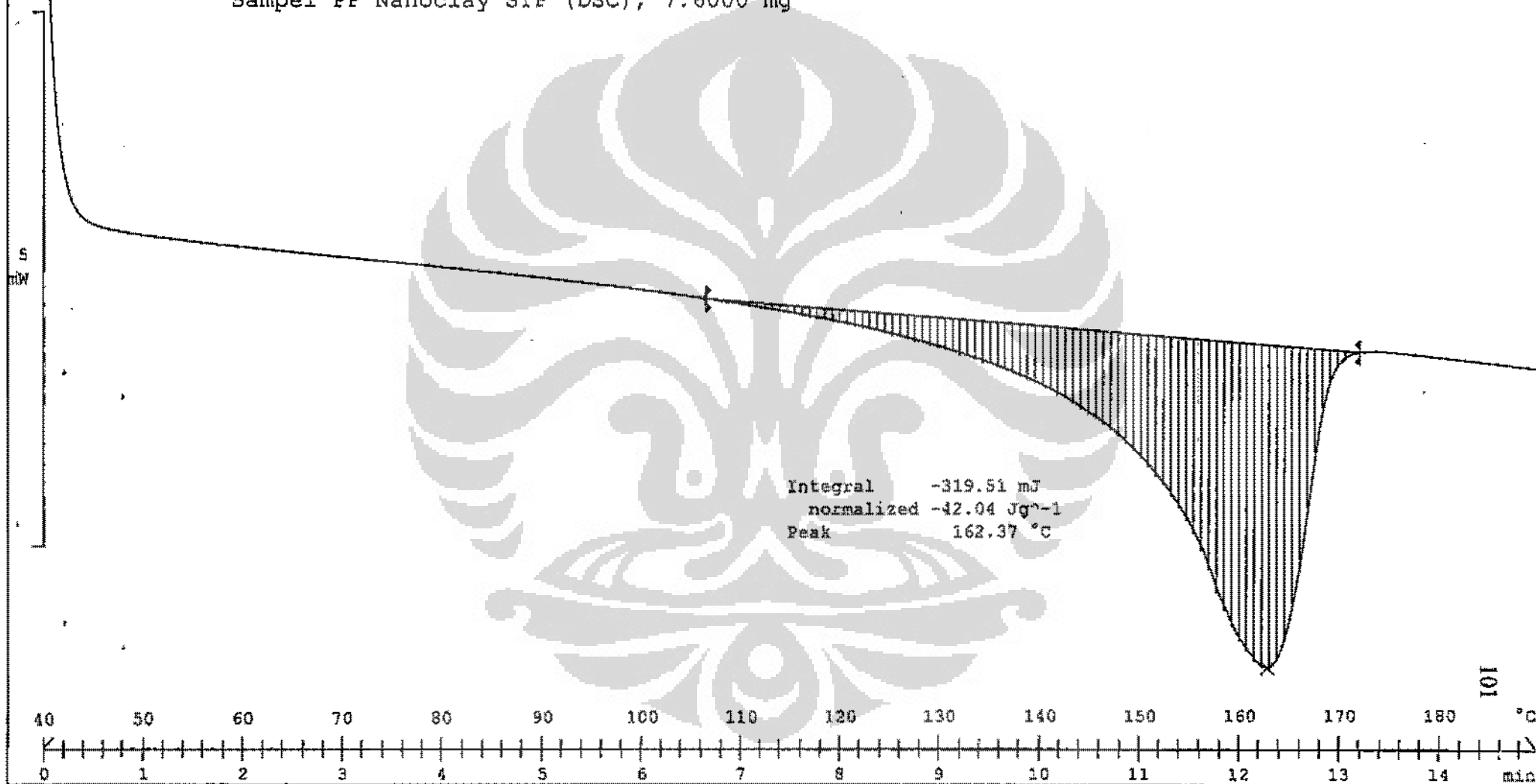
]3[Sampel PP Clay Alam (DSC)
 Sampel PP Clay Alam (DSC), 7.1000 mg



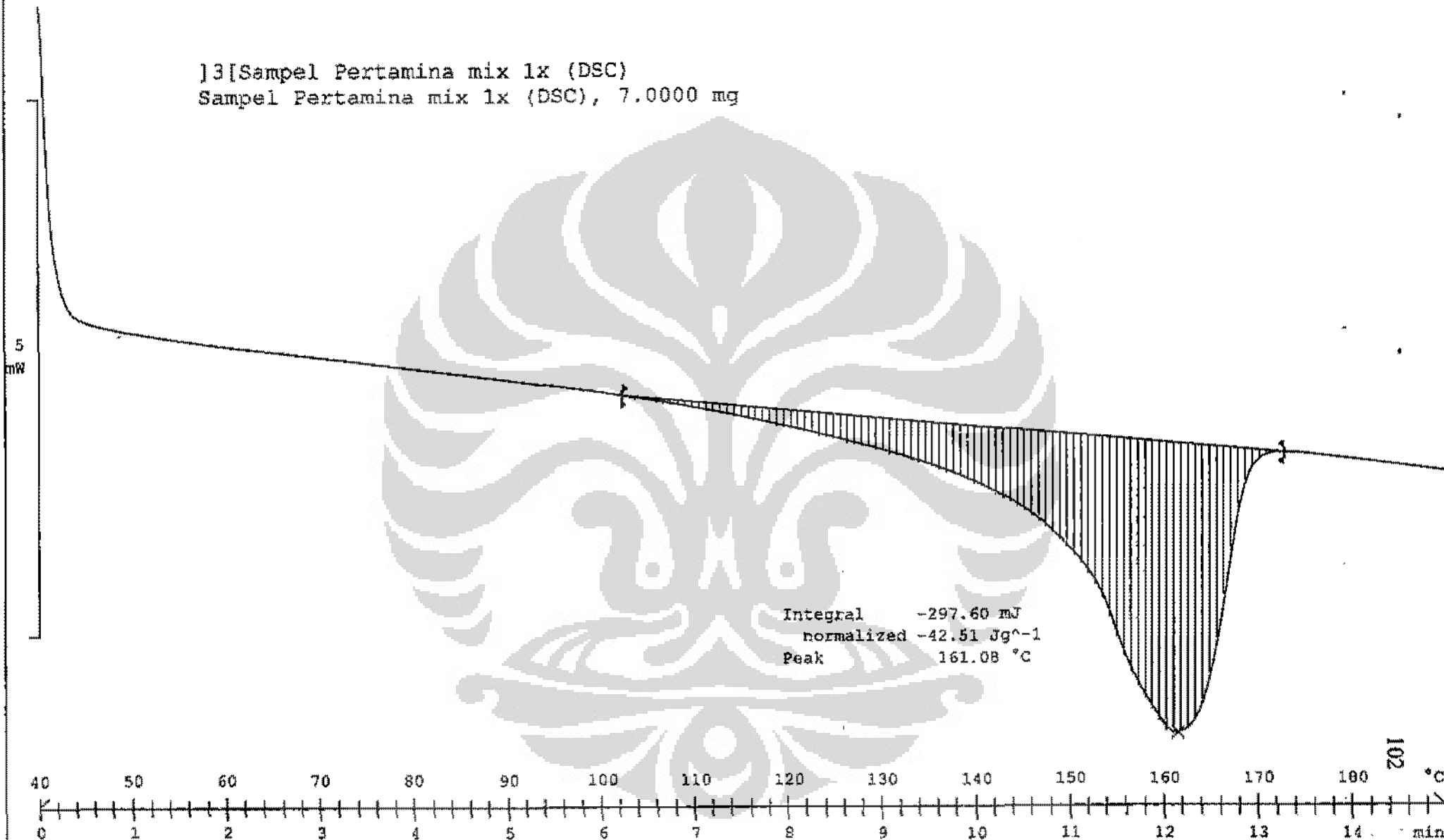
Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR[®] System

]3[Sampel PP Nanoclay STP (DSC)
Sampel PP Nanoclay STP (DSC), 7.6000 mg

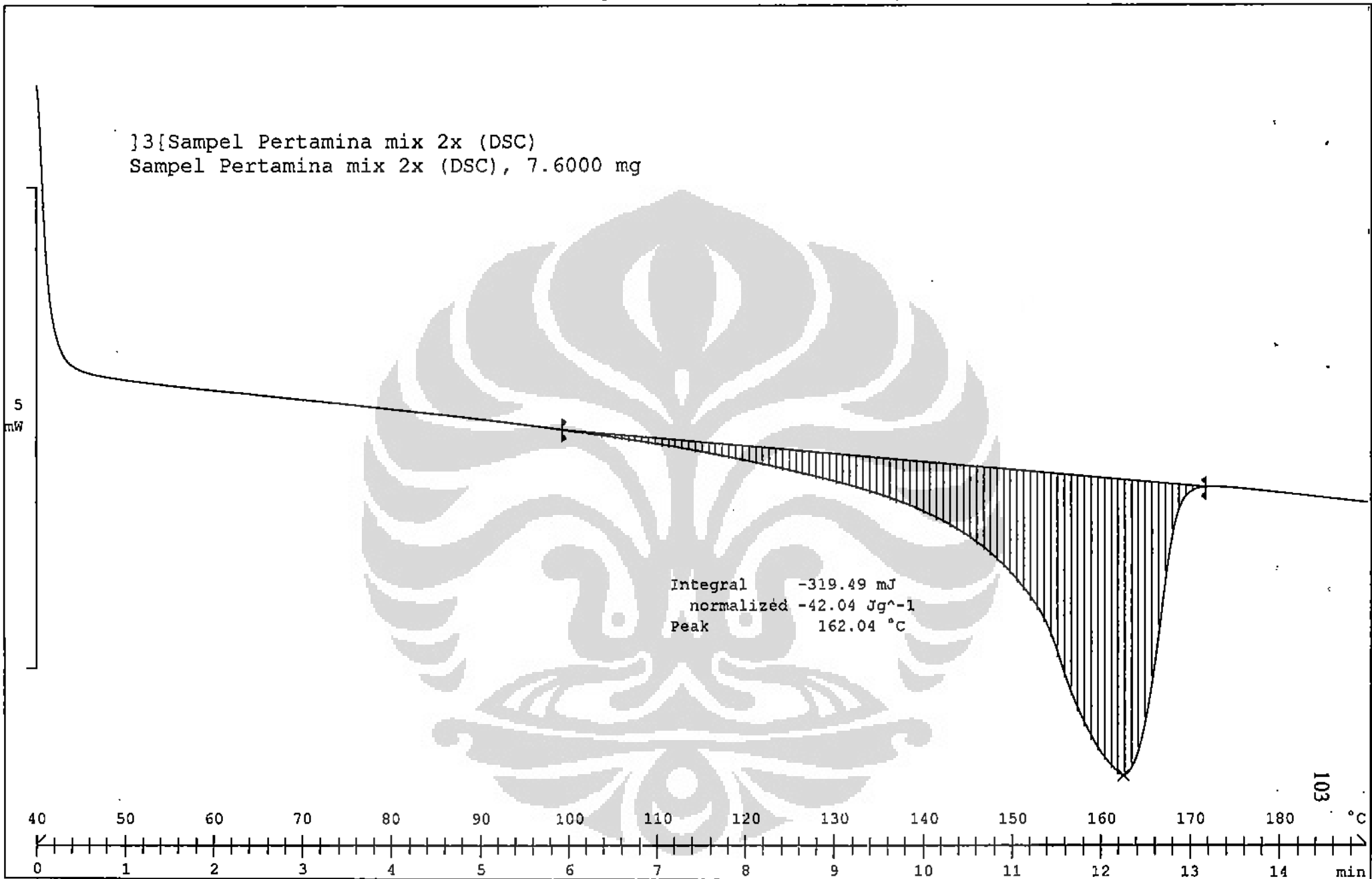


]3[Sampel Pertamina mix 1x (DSC)
Sampel Pertamina mix 1x (DSC), 7.0000 mg



Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR[®] System



Sentra Teknologi Polimer: METTLER

METTLER TOLEDO STAR^e System

P-801 Nanomer® Products for Polyolefin Nanocomposites

General Description:

Nanomer® nanoclays are high purity, surface compatibilized montmorillonites, suitable for use in a wide variety of plastics. This Technical Datasheet describes patented Nanomer grades specifically designed for polyolefin applications.

Incorporation of Nanomer nanoclay into polyolefin improves physical performance properties and flame resistance. The loading level is commonly in the range of 4-6wt% for mechanical improvement, and 1-4 wt% for flame retardation. Nanomers are very effective in flame retardation when combined with traditional flame retardants.

Product Information:

For use in polyolefins Nanomer grades are based on two different clay surface treatment chemistries. The I.30 series utilizes primary amine chemistry and the I.44 series is based on quaternary ammonium chemistry. The I.30 series offers excellent thermal stability as well as high electrochemical stability. The I.44 series offers easy processing and excellent property balance. The I.31PS and I.44PS grades are derivatives containing silane modification. Silane coupling agents enable trouble-free Nanomer dispersion under mild shearing conditions and better silicate layer stability. Processing temperature limits for the I.30 and I.44 series are 540 F (280°C) and 460 F (240°C), respectively. I.44PT features better heat stability than standard I.44P, particularly in long residence time processing.

Table 1. Nanomer® Products for Polyolefin Nanocomposites

Product	Dispersion	Heat Stability	Mechanical	FR	Electrochemical
I.30P	Good	Excellent	Yes	Yes	Excellent
I.31PS	Excellent	Excellent	Yes	Yes	Excellent
I.44P	Excellent	Good	Yes	Yes	Good
I.44PS	Excellent	Good	Yes	Yes	Good
I.44PT	Excellent	Excellent	Yes	Yes	Good

Product Characteristics:

These products are fine free flowing powders. Typically, they have mean particle sizes in the range of 15-20 µm. Each standard package contains 20-kg of the product. Nanocor can also pack products in bulk bags in 400-kg or 600-kg sizes, upon customer request.

Processing Recommendations:

High shear processing equipment is recommended for incorporating Nanomer nanoclays into polyolefin resins. Because polyolefins are hydrophobic, a compatibilizer such as Ma-g-PP or Ma-g-PE is also recommended. Alternatively, Nanomer masterbatch products, available under the nanoMax™ trademark, can be used for easy incorporation. For detailed information on nanoMax refer to Nanocor Technical Data Sheets P-802 and P-804.

Performance Properties:

Low addition levels of Nanomer nanoclays create significant improvements in mechanical properties. Table 2 reports the mechanical performance data on Nanomer I.44P, which was incorporated into PP and TPO matrices.



in the TPO formulation, a reactor grade TPO was used for both control and nano-filled. As the chart indicates, Nanomers increase stiffness and heat stability while maintaining impact strength.

Table 2. Mechanical Properties - Homo-PP and TPO with 6 wt% Nanomer® Loading

Nanomer® Loading Level (wt %)	Resin	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Improvement (%)	HDT (C)	Impact Strength (ft-lb/in)
0	TPO	22	820	/	73	9.8
6	TPO	30	1300	60%	93	9.8
0	HPP	35	1180	/	88	0.5
6	HPP	46	1780	50%	109	0.5

Nanomer I.44P was also incorporated into a brominated FR system through compounding. Table 3 lists the performance of this FR combination. Formula 2 provides an example of the mechanical benefit for Nanomer incorporation while improving the FR rating from V-1 to V-0 in UL94 testing. Formulas 3 and 4 provide information on reduction of brominated compounds, while maintaining V-0 and mechanical properties. One will also observe significant reduction in blooming of brominated compounds in the nanocomposite formulation using accelerated heat aging tests.

Table 3. Flame Retardation of Brominated Compounds and Nanomer Combination

Components	Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4
DECA (wt%)	25	25	22	22
ATO (wt%)	6	6	6	6
Nanomer I.44P (wt%)	0	6	4	6
UL-94 rating	V1	V-0	V-0	V-0
Flex Strength (MPa)	46	51	52	53
Flex Modulus (MPa)	1810	2570	2490	2740

Nanomer I.44P was incorporated into a non-Hal FR compound using EVA as the matrix resin. In a typical $Mg(OH)_2$ filled system, 65wt% $Mg(OH)_2$ is needed to achieve a V-0 rating. For such a highly filled system, it is difficult to achieve filler dispersion and processing speeds for downstream fabrication are significantly reduced due to surface defects. Formulas 3 and 4 demonstrate the benefit of Nanomer in this FR formulation. With incorporation of just 3% Nanomer I.44P, $Mg(OH)_2$ can be reduced to 60% and 55% respectively while maintaining the fire rating and increasing fabrication speeds.

Table 4. Flame Retardation of $Mg(OH)_2$ and Nanomer Combinations

Components	Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4
EVA (wt%)	35	40	37	42
$Mg(OH)_2$ (wt%)	65	60	60	55
Nanomer I.44P (wt%)	0	0	3	3
UL-94 rating (1/8)	V-0	Fail	V-0	V-0

It is believed that Nanomers function as anti-dripping agents in FR systems, thereby improving fire ratings. There are also reports indicating nanoclays function as char forming agents during the combustion process.

* The data reported here was generated with grade Nanomer I.44P product. Based on our experience, all Nanomer grades listed in the datasheet can deliver the comparable results.

For more information on how Nanomer® nanoclays can work for you, contact Nanocor's Technical Service:

© Nanocor is a registered trademark of Nanocor, Inc



1100 West Shore Drive, 1 Arlington Heights, IL 60004 | PH 847-356-8000 888-628-0532 | FX 847-356-8040 | www.nanocor.com

Product Data Sheet

Epolene G-3003 Polymer

Application/Uses

- Automotive
- Bookbinding
- Building and Construction

Key Attributes

- Balances attraction between polar fillers / reinforcements and non polar polymers
- Coupling agent for PP composites
- Maleic anhydride grafted polypropylene (PP)

Product Description

Epolene G-3003 is a maleic anhydride grafted polypropylene recommended as a coupling agent for polypropylene (PP) composites. Because of the polarity and anhydride functionality, *Epolene G-3003* is useful for laminating, as a compatibilizer for PP blends with nylon or EVOH, and for enhancing the strength of composites that utilize reinforcements / fillers such as glass, talc, calcium carbonate, and metals. *Epolene G-series* Polymers are products of Eastman Chemical Company and are protected under one or more of the following U.S. patents: 5,955,547 and 6,046,279; and their foreign equivalents.

Typical Properties

Property	Typical Value, Units
Ring and Ball Softening Point ^a	158°C
Density @ 25°C	0.912 g/mL
Acid Number (mg KOH/g)	8
Viscosity, Brookfield @ 190°C	60000 cP
Molecular Weight	
M _w	52000
M _n	27200
Yellowness Index	25
Penetration Hardness	<1 dmm
Acid Number	8
Melt Index @ 190°C	12.7
Color, Gardner	25

^a DSC T_m, °C

Comments

Properties reported here are typical of average lots. Eastman makes no representation that the

Material in any particular shipment will conform exactly to the values given.

Eastman and its marketing affiliates shall not be responsible for the use of this information, or of any product, method, or apparatus mentioned, and you must make your own determination of its suitability and completeness for your own use, for the protection of the environment, and for the health and safety of your employees and purchasers of your products. No warranty is made of the merchantability or fitness of any product, and nothing herein waives any of the Seller's conditions of sale.

15-May-2003 12:00:00 AM

Compatibility and Solubility

Epolene polymers are compatible with many polymers, resins, and natural and synthetic waxes.

Packaging

Epolene G-3003 polymer is supplied as free-flowing pellets, packaged in multiwall paper bags with a polyethylene coated inner liner [22.67 kg (50 lb) net weight]. The bags are palletized and stretch wrapped to prevent contamination during storage and shipment. Many *Epolene* polymers are also shipped in a variety of bulk containers.

Epolene G-3003 polymer is available in powder form as *Epolene* G-3003P polymer.

Storage

The useful life of this product can be affected by storage and handling conditions. When stored in the original unopened container in an enclosed area and protected from moisture, extreme temperatures and contamination, this product is estimated to continue to meet applicable sales specifications for more than 2 years from the date of manufacture. First in first out (FIFO) inventory control is recommended.

Eastman Chemical Asia Pac

Customer service

65 6831 3100

Sales office

65 6831 3100

technical service

6271 2502

asiapacific@worldwide.com

Eastman Indonesia:

PT. Barahana Elvindo Bina Sejahtera

Telp. 5691388

Op. Bp. Christian

PHYSICAL PROPERTIES	TEST METHOD*	SI UNITS	POLYPROPYLENE GRADES																		
			IPP FILM	ROPP FILM	CPP FILM		YARN		FIBER		INJECTION			THERMOFORMING		RIGIDITY		IMPACT		TENSILE	
			HF10TC	HF2.980	HF7.0CP	HF6.0CM	HY2.0FY	HY3.8FY	HS17CS	HS22CS	HI10HD	HI35HD	HI60HC	HE2.0FC	HE2.2FC	RI10HC	RI2.0MC	RI2.0GB	RI1.0CA	RI1.0CE	RI1.0CF
Melt Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)	D1238	g/10 min	10	2.9	7.0	6.0	1.3	3.8	15.5	22	10	35	60	2.4	2.4	10	1.6	1.6	9.0	9.0	22
Density	D792	kg/m ³	903	903	903	903	902	903	903	903	903	903	903	903	903	895	895	895	900	900	900
Tensile Yield Strength at 50 mm/min	D638	MPa	34	35	34	35	36	34	34	33	34	33	33	37	37	28	30	30	25	25	25
Tensile Yield Elongation	D638	%	13	13	13	13	14	13	13	13	13	13	14	14	14	15	15	9	9	7	
Flexural Modulus 1% secant at 1.3 mm/min	D790A	MPa	1280	1280	1280	1280	1300	1390	1270	1260	1280	1260	1250	1300	1747	1025	1050	1050	1000	1000	1100
Notched Izod Impact strength, 23°C	D256	J/m	35	40	35	30	40	40	30	30	35	30	30	40	40	81	110	150	86	86	67
Hardness, Rockwell	D785	R Scale	R100	R100	R100	R102	R100	R100	R100	R100	R100	R100	R100	R94	R94	R85	R84	R84	R81	R81	R88
Deflection Temperature at 0.455 MPa	D648	°C	100	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	85	86	86	95	95	95
Vicat Softening Temp.	D1525B	°C	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	125	125	125	148	148	148
Melting Temperature D5C, 10°C/min, 2 nd heat	D341B	°C	163	161	163	163	161	161	163	161	163	161	161	163	163	146	146	146	121-163	121-163	121-163
SPECIAL FEATURES			Excellent opacity and transparent	High clarity, high gloss, and excellent stretchability	High strength and high clarity	High clarity and high stiffness	High tenacity, low water carry over (WCO), and high output	High output, low water carry over (WCO)	Very dense filament and broad molecular weight distribution (MWD)	Fine decar filament and narrow molecular weight distribution (MWD)	High gloss and high stiffness	High gloss and easy flow	Extra high flow, high clarity, low weight loss, high productivity and short cycle time	Good clarity, good strength and no odor	Excellent clarity, high stiffness, good impact strength and no odor	Excellent clarity, short cycle time, and good mold filling	High clarity and good rigidity	High impact resistance, high clarity, and high melt strength	Medium flow and high impact strength	Medium flow, long-term aging, and heat resistance	Short cycle time, low warpage, excellent, and high flow
APPLICATIONS			Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures	Household containers, caps, and closures
All grades except RI9.0BN meet the US F.D.A. as specified in the Code of Federal Regulations 21 CFR 177.1520 Clause 1.1 & 3.1a covering safe use polyolefin articles and components of articles intended for food contact use.																					
Recommended Processing Conditions, Melt temperature	°C		200-220	190-250	240-260	240-260	240-240	230-250	200-240	195-240	200-250	200-230	200-240	220-240	220-240	230-240	200-230	180-220	225-240	220-240	200-220
Mold or Chill Roll Temperature	°C		25-30	20-25	25-30	25	27-35	27-35			20-50	20-50	20-50	25-40	25-40	30-50	20-50	20-50	30-40	30-40	20-50