

APLIKASI TEKNOLOGI KEMASAN YANG RAMAH LINGKUNGAN DAN PROSPEKNYA

(APPLICATION OF PACKAGING TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ITS PROSPECT)

Wiwik Pudjiastuti¹, Sudirman², Agus Haryono³ dan Deswita²

¹ Balai Besar Kimia dan Kemasan, Departemen Perindustrian RI
Jl. Balai Kimia I Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

Jl. Balai Kimia No.1, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13069

² Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN
Gedung 71, Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang 15314

³ Pusat Penelitian Kimia (P2K)-LIPI

Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang 15314

E-mail: wiwikpudjiastuti@yahoo.com

ABSTRAK

Beberapa kegiatan litbang tentang kemasan yang ramah lingkungan (*biodegradable*) telah berhasil membuat kemasan dengan ekstruksi *blow moulding* dalam skala laboratorium bahkan skala pilot. Untuk mencapai plastik ramah lingkungan telah dilakukan litbang dan diperoleh nanokomposit berbasis polimer termoplastik (polietilen: *LLDPE*, *HDPE* dan *LDPE*, juga polipropilen : PP MF110 dan PP MF135) dengan *filler* CaCO_3 dan tapioka berukuran nanometer. Disamping itu dilakukan litbang dengan *filler* CaCO_3 berbagai bentuk : *Calsite*, *Aragonite* dan *Vaterite*. Nanokomposit dengan *filler* CaCO_3 mencapai komposisi 55 %berat untuk matriks *HDPE* dan 70 %berat untuk matriks *LLDPE*, sedangkan untuk PP MF110 mencapai 70 %berat dan PP MF135 sebesar 65 %berat. Sementara itu untuk nanokomposit dengan *filler* tapioka, hampir seluruh matriks polimer termoplastik (polietilen dan polipropilen) dapat mencapai komposisi sebesar 75 %berat. Hasil uji *biodegradable* (*soil butiral test*) nanokomposit menunjukkan bahwa komposisi diatas 50 %berat mengalami degradasi (hancur) dalam waktu 2 (dua) bulan, kecuali *LLDPE* dengan waktu 4 (empat) bulan. Untuk komposisi dibawah 50 %berat, diperoleh *HDPE* selama 8 (delapan) bulan dan *LLDPE* selama 12 (dua belas) bulan. Sedangkan nanokomposit dengan *filler* tapioka mengalami degradasi (hancur) dalam waktu 1 (bulan) untuk komposisi diatas 50 %berat.

Kata Kunci : Nanokomposit, Polimer termoplastik, Tapioka, *Degradable*, *Filler*

ABSTRACT

From some activity of research and development with reference to packaging of environment friendly (*biodegradable*) have succeeded made in laboratory scale, even it has been made the packaging with extraction *blow moulding* in pilot scale. The research and development has been done to obtain the plastic of environmental friendliness and obtained nano-composite based on thermoplastic polymer (polyethylene such as *LLDPE*, *HDPE*, *LDPE* and polypropylene such as PP MF110, PP MF135) using CaCO_3 filler and tapioca in nanometer size. Beside that, the research and development of CaCO_3 filler with various forms such as *Calsite*, *Aragonite* and *vaterite* has been done. Nano-composite with CaCO_3 filler reached in composition about 55 %wt for *HDPE*, 70 %wt for *LLDPE*, 70 %wt for PP MF110 and 65 %wt for PP MF135 matrix. Meanwhile, for nano-composite with tapioca filler is almost all matrix of thermoplastic polymer (such as polyethylene and polypropylene) reached in the composition about 75 %wt. The result of degradable test (*soil butiral test*) on nano-composite shows that the composition >50 %wt is experiencing of degradation (fall to pieces) in 2 months except for *LLDPE* is experiencing of degradation in 4 months. In composition < 50 %wt, for *HDPE* is experiencing of degradation in 8 months and 12 months for *LLDPE*. Nano-composite with tapioca filler is experiencing of degradation in 1 month for composition > 50 %wt.

Key words : Nano-composite, Thermoplastic polymer, Tapioca, *Degradable*, *Filler*

PENDAHULUAN

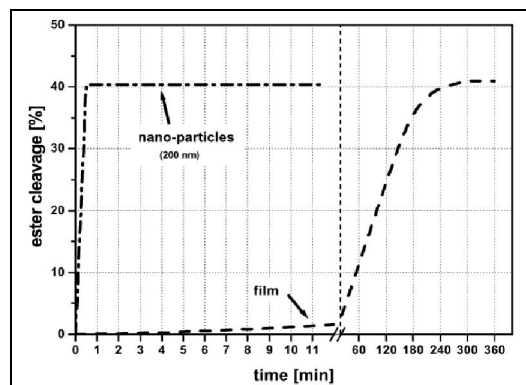
Mengingat keunggulan bahan plastik ini dalam memenuhi keperluan hidup manusia sebagai bahan pengemas maka penggunaan plastik sebagai pengemas mengalami peningkatan setiap tahunnya baik secara nasional maupun internasional (Inaplast, 2004; Piyush *et.al*, 1995). Hal ini dikarenakan plastik dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Peningkatan pemakaian bahan plastik ini turut menciptakan masalah yang serius terhadap lingkungan dalam penanganan limbah plastik dimana 60% bentuk kemasan (Rodrigues *et.al*, 1998) dan limbah cair dengan volume 440 km³ per tahun.

Di sisi lain dunia industri polimer khususnya plastik sangat membebani dengan limbahnya karena biaya pengolahan limbahnya begitu tinggi sehingga sekarang ini digunakan polimer (plastik) *biodegradable* yang berasal dari monomer yang *biodegradable*, seperti *polylactic acid (PLA)*, *polyhydroxyalkanates (PHAs)*, *triglycerides*, *cellulose*, *cotton*, *wood* dan *silk*. Masalah polimer (plastik) *biodegradable* ini terletak pada biaya produksi yang mahal dan sifat mekanik/fisik dan sifat barrier yang lebih rendah dibandingkan polimer sintetik lainnya (Aloma dkk, 2001; Betha dkk, 2001).

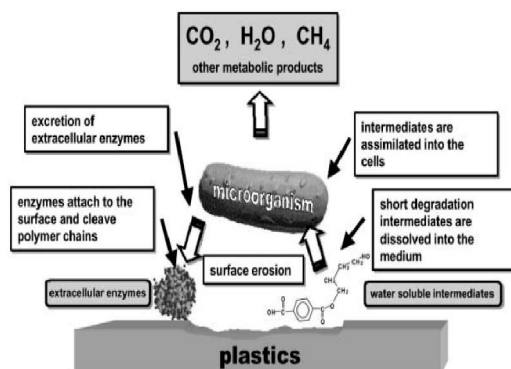
Tetapi pada kenyataannya sampai sekarang pemakaian polimer sintetik (polietilen, polipropilen, polistiren, polivinil klorida dan efoksi) masih terus digunakan, akibatnya limbah plastik tersebut menjadi masalah lingkungan dan kesehatan. Pemakaian plastik oleh suatu bangsa dapat dijadikan indikator kemajuan dari negara tersebut, seperti Singapura (78 kg), Malaysia (45 kg), Filipina (20 kg), Thailand (6 kg), dan Indonesia (4,5 kg) (Sudirman, 2001).

Rolf (2002) dalam tulisannya mendapatkan bahwa bila ukuran sampel polimer dilakukan dalam ukuran nanopartikel ternyata laju degradasi mengalami peningkatan yang drastis, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Dari hal tersebut, maka banyak dilakukan penelitian pembuatan polimer nanokomposit berbasis polimer termoplastik yang bertujuan untuk mendapatkan polimer *biodegradable* dengan karakterisasi *biodegradable*.

Degradasi polimer dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti sinar matahari, panas, umur dan faktor alam. Oleh sebab itu dalam proses pembuatannya, polimer ditambahkan berbagai aditif guna mempercepat laju degradasi.



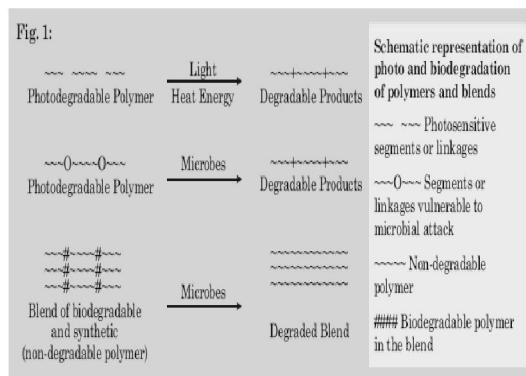
Gambar 1. Laju degradasi polimer dengan ukuran nanopartikel dan bukan nanopartikel (Rolf, 2002)



Gambar 2. Mekanisme degradasi polimer/plastik di alam (Rolf, 2002)

Gambar 2 memperlihatkan mekanisme degradasi polimer/plastik di alam. Pada Gambar 2 tersebut *surface erosion* pada polimer nanokomposit lebih besar dibandingkan polimer sintetik berbentuk komposit yang akan mempengaruhi lama waktu dan proses biodegradasi polimer nanokomposit sehingga lebih baik, artinya *filler* berbentuk nanopartikel yang dicampur dengan polimer membentuk polimer nanopartikel alam mempunyai *surface erosion* yang lebih besar. Hasil dari mekanisme proses degradasi plastik akan menghasilkan gas CO₂, H₂O, CH₄ dan produk lainnya (Rolf, 2002).

Gambar 3 menunjukkan cara bekerja bakteri (mikroba) di dalam tanah (alam terbuka) pada proses degradasi bahan polimer komposit. Untuk polimer nanokomposit yang dibuat dengan metode *blending* dan polimer nano-



Gambar 3. Cara bekerja bakteri (mikroba) di dalam tanah (Envis, 2003)

komposit yang mengandung oksigen akan mempermudah kerja mikroba di alam terbuka (Envis, 2003).

TEORI

Masalah plastik daur ulang masih menyisakan banyak kontroversi dan diskusi para ilmuwan dan publik pemakainya terkait dengan tingkat keamanan kesehatan bagi pemakainya, terutama sejak diterbitkannya Peraturan Kepala Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI No. HK 00.05.55.6497 tentang Bahan Kemasan Pangan tanggal 20 agustus 2007, yang mulai diberlakukan pada bulan Agustus 2008 yang melarang penggunaan plastik daur ulang untuk kemasan makanan (Peraturan BPOM, 2007).

Tabel 1 menunjukkan komoditas berbagai polimer sintetik yang telah diperdagangkan di Indonesia (1998).

Pada polimer tersebut, pemakaian polimer PE dan PP dalam jumlah besar dan kecenderungan meningkat setiap tahunnya,

Tabel 1. Berbagai Jenis Polimer dengan Nilai Komoditas

Jenis Polimer/Plastik	Nilai Ekspor (US \$ Juta)	Nilai Impor (US \$ Juta)
Polietilen (PE)	82,793	97,713
Polipropilen (PP)	58,872	85,614
Polietilen Tereftalat (PET)	205,324	61,738
Polivinil Klorida (PVC)	84,051	2,161
Polistiren (PS)	13,639	24,297
Crumb Rubber	900,354	1,027
Selulosa/Pulp	489,341	0,406

Sumber : Inaplast

dikarenakan polimer PE dan PP dapat dibentuk berbagai produk dan harganya murah dibandingkan polimer sintetik lainnya. Sedangkan polimer PE yang berupa *HDPE*, *LDPE*, pada umumnya banyak digunakan sebagai bahan baku industri polimer.

Sedangkan polimer PP, pemakaiannya bergantung parameter proses yang dipakai yaitu *Melt Flow Index (MFI)* dan kandungan isotaktik dengan ataktik. Misalnya digunakan PP dengan *MFI* besar, maka akan diperoleh polimer PP dalam jumlah yang besar persatuan waktu dan berlaku sebaliknya.

Sementara itu kandungan isotaktik dengan ataktik akan mempengaruhi kejernihan polimer PP, untuk kandungan ataktik besar maka akan diperoleh polimer PP dengan kejernihan yang baik dan berlaku sebaliknya (Joseph, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aditif UV Stabilizer dan Antioksidan

Polimer sintetik dalam aplikasi selalu ditambahkan berbagai aditif termasuk *stabilizer* dan *modifier*. Manfaat aditif didalam polimer untuk menstabilkan, memodifikasi dan meningkatkan unjuk kerja polimer. Disamping itu juga ditambahkan *filler* seperti TiO_2 , SiO_2 , Talc, ZnO_2 , dan $CaCO_3$ ke dalam polimer guna memperbaiki sifat fisika dan umumnya murah sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Jenis *filler* $CaCO_3$ banyak digunakan dalam industri polimer dikarenakan murah, ukuran dan bentuknya yang serbuk.

Berbagai jenis aditif yang digunakan dalam polimer seperti anti *blocking agent*, anti *fogging agent*, antioksidan, anti *static*, *heat stabilizer*, *Impact modifier*, *plasticizer*, *UV stabilizer*, *UV screening agent*, antioksidan dan *processing agent*. Berbagai penelitian tentang peranan berbagai aditif dan *filler* didalam polimer telah dilakukan seperti: peranan *UV stabilizer* pada berbagai polimer (Sudirman dkk, 1997; 2003), perilaku polietilen terhadap pendinginan (Sudirman dkk, 1999); pengaruh antioksidan pada berbagai sifat polietilen (Sugik dkk, 2002; 2003) dan penambahan *filler* ZnO_2 pada pembuatan polipaduan ABS-PP (Reni dkk, 2003).

Dari data tersebut diatas menunjukkan bahwa keberadaan zat aditif dan *filler* sangat penting sekali didalam proses pembuatan polimer/plastik yang berkualitas yang akan mempengaruhi fungsi dan kegunaannya maupun produk akhirnya.

Coupling Agent

Semakin banyak *coupling agent* silan yang ditambahkan pada komposit polipropilen- CaCO_3 akan menurunkan kekuatan tarik, kekuatan tarik tertinggi terjadi pada polipropilen MF35 dengan jumlah *coupling agent* sebanyak 5 ml. Kekerasan pada komposit mengalami kenaikan dengan semakin bertambahnya volume 3-APE. Data spektroskopi FT-IR menunjukkan bahwa *coupling agent* 3-APE dapat mengikat *filler* CaCO_3 dan matriks polipropilen. Data DSC menunjukkan bahwa penambahan 3-APE dapat meningkatkan titik leleh, maksimum pada penambahan 10 mL (Amelia, 2008).

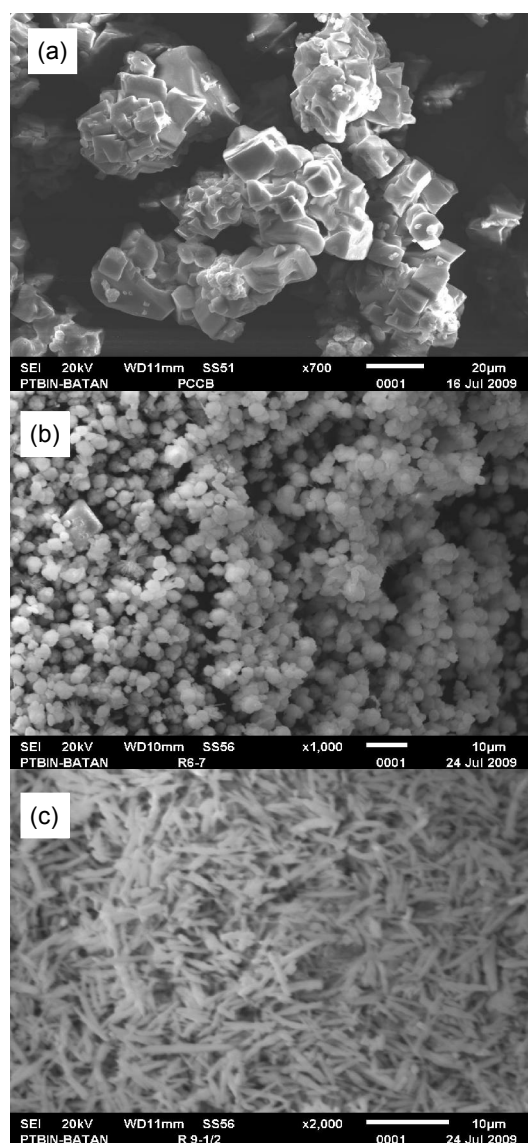
Filler

Anindya dkk (2008) pada penelitiannya melaporkan bahwa *High Energy Milling (HEM)* memerlukan waktu 18 jam hingga partikel CaCO_3 berukuran 39 nanometer (Gambar 5b). Penambahan CaCO_3 berukuran nanometer menurunkan kekuatan tarik nanokomposit HDPE- CaCO_3 , namun meningkatkan kekerasan nanokomposit tersebut. Penambahan CaCO_3 berukuran nanometer tidak terlalu berpengaruh terhadap titik leleh nanokomposit HDPE- CaCO_3 , namun menurunkan kalor pembakaran nanokomposit tersebut. Berdasarkan spektrum FT-IR, diketahui bahwa interaksi yang terjadi antara HDPE dengan CaCO_3 bersifat interaksi fisik dan tidak terjadi reaksi kimia. Tersebaranya partikel CaCO_3 di dalam matriks HDPE kurang merata dan terjadi aglomerasi partikel CaCO_3 . Hal ini yang menyebabkan penurunan kuat tarik dari nanokomposit HDPE- CaCO_3 .

Pada penelitian tersebut pembuatan CaCO_3 berukuran nanopartikel dilakukan dengan metode fisik (*milling, High Energy Milling = HEM*) dan metode kimia (*Precipitate Calcium Carbonate, PCC*). Bentuk nanopartikel kalsium karbonat (CaCO_3) berupa *calcite* (kubus), diperoleh bila dilakukan proses *milling* dengan alat HEM. Sedangkan dengan metode kimia (*Precipitate Calcium Carbonate, PCC*) akan diperoleh bentuk *Calcite* (kubus), *Aragonite* (bulat) dan *Vaterite* (batangan) (Gambar 4), yang dapat dipisahkan satu dengan lainnya.

Suryani dkk (2008) mendapatkan bahwa penambahan nano- CaCO_3 menyebabkan kekuatan tarik dari komposit polipropilen- CaCO_3 meningkat sebesar 18,1% dibandingkan dengan

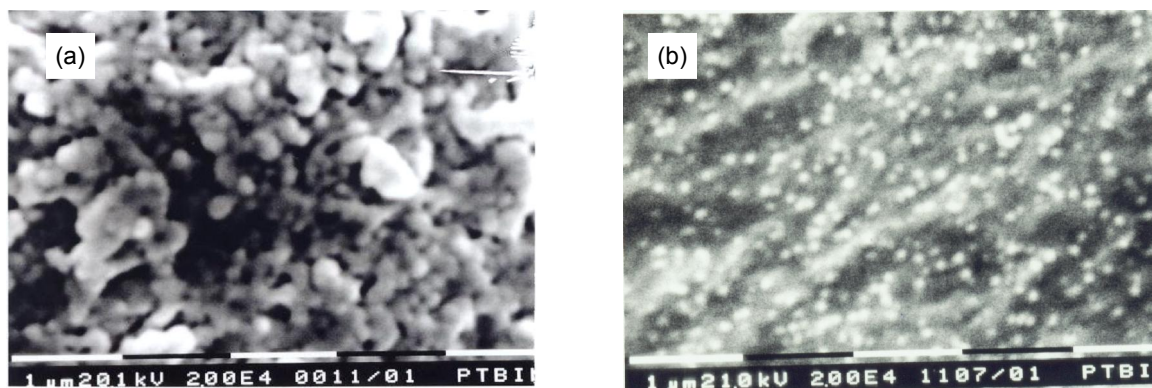
meningkat sebesar 18,1% dibandingkan dengan penambahan CaCO_3 berukuran mikrometer. Semakin banyak konsentrasi nano- CaCO_3 yang ditambahkan ke dalam komposit maka kekuatan tarik akan semakin rendah, tetapi kekerasannya akan semakin tinggi. Penambahan nano- CaCO_3 menurunkan titik leleh dan kalor pembakaran komposit polipropilen- CaCO_3 . Berdasarkan spektrum inframerah, interaksi antara nano- CaCO_3 dengan PP MF35 hanya interaksi fisik (Aloma dkk, 2008)



Gambar 4. Berbagai bentuk CaCO_3 ; (a). *Calcite* (kubus), (b). *Aragonite* (bulat), (c). *Vaterite* (batangan)

Tabel 2. Sifat mekanik nanokomposit berbasis *HDPE* sebelum dan setelah uji *soil butiral test*

Jenis Sampel	Tebal (mm)	Yield Strength (kg/cm ²)	Modulus 300 (kg/cm ²)	Modulus 600 (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Elongation at Break (%)
Polietilen (<i>HDPE</i>)	0,40	303,48	181,59	193,98	227,28	920
0 Bulan						
Polietilen + 40% <i>Calsite</i>	0,37	---	---	---	197,55	---
Polietilen + 50% <i>Calsite</i>	0,37	---	---	---	96,02	---
Polietilen + 40% <i>Aragonite</i>	0,35	---	---	---	251,81	---
Polietilen + 50% <i>Aragonite</i>	0,37	---	---	---	189,73	---
Polietilen + 30% <i>Vaterite</i>	0,65	---	---	---	223,55	50
Polietilen + 40% <i>Vaterite</i>	0,57	---	---	---	222,64	50
Polietilen + 50% <i>Vaterite</i>	0,64	---	---	---	221,26	100
Polietilen (<i>LLDPE</i>)						
Polietilen + 30% <i>Vaterite</i>	0,57	122,23	99,42	122,94	127,08	560
Polietilen + 40% <i>Vaterite</i>	0,50	108,02	---	---	104,97	150
Polietilen + 50% <i>Vaterite</i>	0,49	---	---	---	86,72	50
1 Bulan						
Polietilen (<i>HDPE</i>)					226,86	---
Polietilen + 40% <i>Calsite</i>	0,39	---	---	---	181,80	---
Polietilen + 50% <i>Calsite</i>	0,41	---	---	---	118,17	---
Polietilen + 40% <i>Aragonite</i>	0,35	---	---	---	233,01	---
Polietilen + 50% <i>Aragonite</i>	0,36	---	---	---	197,11	---
2 Bulan						
Polietilen (<i>HDPE</i>)	0,38	320,28	194,94	205,56	200,25	540
Polietilen + 40% <i>Calsite</i>	0,42	---	---	---	176,85	---
Polietilen + 50% <i>Calsite</i>	0,44	---	---	---	96,27	---
Polietilen + 40% <i>Aragonite</i>	0,40	---	---	---	232,14	---
Polietilen + 50% <i>Aragonite</i>	0,39	---	---	---	170,73	---



Gambar 5. Tapioka sebelum dan setelah *milling*; (a). Tapioka sebelum di-*milling*, (b). Tapioka setelah *milling* HEM selama 18 Jam

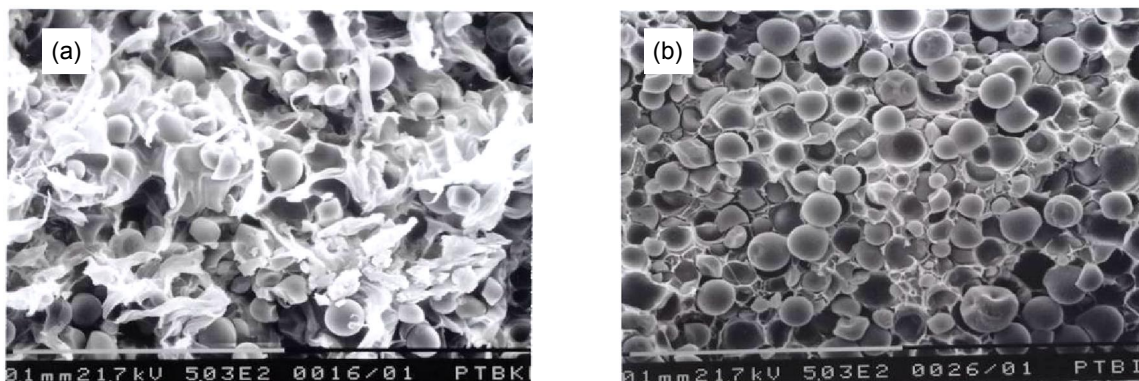
Tabel 2 menggambarkan sifat mekanik dari nanokomposit berbasis polietilen (*HDPE*) dengan *filler* CaCO₃ berbagai bentuk (*calsite*, *aragonite* dan *vaterite*) hasil uji *soil butiral test* (sampai 2 bulan).

Nurfitriani (2008) dan Sudirman (2008) mendapatkan hasil SEM, penggilingan pati tapioka dengan menggunakan *Planetary Ball Mill* selama 50 jam telah dapat mereduksi ukuran partikel pati tapioka dari 0,8 µm hingga 1,3 µm

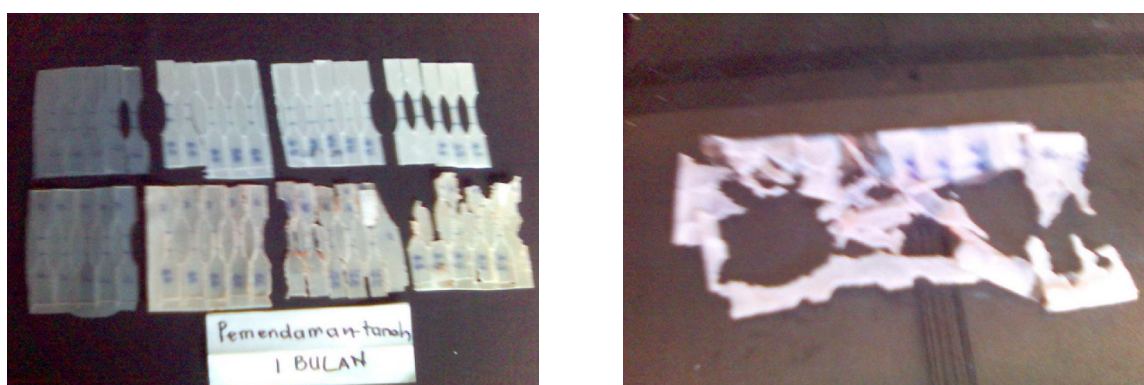
menjadi 80-135 nm. Penambahan pati tapioka baik berukuran mikrometer maupun nanometer berpengaruh terhadap sifat termal komposit PP-Pati tapioka. Berdasarkan data termogram *DSC*, penambahan pati tapioka telah meningkatkan titik kristalisasi, tetapi juga menurunkan titik leleh dan derajat kekristalan komposit PP-Pati tapioka. Penambahan pati tapioka berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit PP-Pati tapioka. Semakin tinggi komposisi pati tapioka, maka kekuatan tarik komposit PP-Pati tapioka semakin menurun. Kekuatan tarik komposit PP-Pati tapioka berukuran nanometer lebih tinggi dibandingkan dengan komposit PP-Pati tapioka berukuran mikrometer pada komposisi yang sama. Berdasarkan data spektroskopi *FT-IR*, terlihat bahwa tidak terjadi ikatan kimia antara polipropilen dengan pati tapioka ketika

pembentukan komposit, melainkan hanya berupa ikatan fisik. Hal dapat diketahui dari tidak adanya serapan pada bilangan gelombang baru. Komposisi maksimum pati tapioka berukuran mikrometer dan berukuran nanometer dalam komposit PP-pati tapioka berturut-turut adalah 65% dan 75% (Gambar 6).

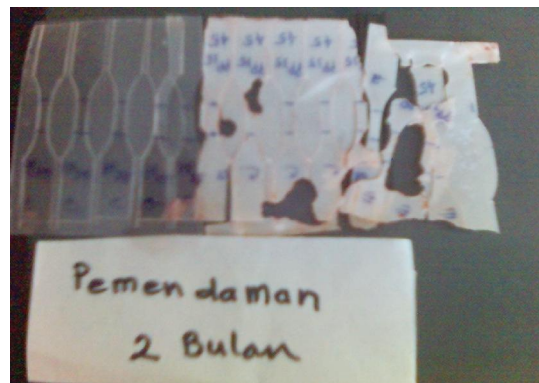
Penambahan pati tapioka baik ukuran mikro maupun nano meter menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik dan perpanjangan putus komposit *HDPE*. Komposit *HDPE*-pati tapioka ukuran nanometer memiliki kekuatan tarik yang lebih kecil dibandingkan dengan komposit *HDPE*-pati tapioka ukuran mikro. Ikatan antara polietilen dengan tapioka merupakan ikatan fisik yang ditunjukkan dengan tidak terbentuknya pita serapan baru pada spektrum *FT-IR* (Sudirman dkk, 2007).



Gambar 6. Variasi komposisi tapioka dalam nanokomposit berbasis polietilen; (a). Komposisi 50 %berat, (b). Komposisi 75 %berat



Gambar 7. Hasil *soil burial test* nonkomposit *LLDPE-CaCO₃* untuk 1 (satu) bulan dan 2 (dua) bulan dengan komposisi 40:60



Gambar 8. Hasil *soil butiral test* nonkomposit PP35-CaCO₃ untuk 2 (dua) minggu dan 2 (dua) bulan dengan komposisi 40:60

Uji *Biodegradable*

Uji *biodegradable* dilakukan dengan metode *soil butiral test* (Gambar 7 dan Gambar 8), yaitu polimer/plastik dipendam dalam tanah dengan kedalaman sebesar 30 cm. Sampel uji dalam bentuk *dumbbell* yang telah diketahui berat dan sifat mekaniknya, selain itu sampel juga dibandingkan dengan udara terbuka.

Dari hasil penelitian yang Sudirman (2008) yang telah dilakukan untuk konsentrasi *filler* CaCO₃ berukuran nanometer, komposisi *filler* diatas 50 %berat pada setiap termoplastik (polietilen dan polipropilen) mengalami kerusakan untuk waktu pendam 1 (satu) bulan hingga 2 (dua) bulan.

KESIMPULAN

Dari hasil litbang telah diperoleh nanokomposit berbasis polimer termoplastik (polietilen: LLDPE, HDPE dan LDPE, juga polipropilen : PP MF110 dan PP MF135) dengan *filler* CaCO₃ dan tapioka berukuran nanometer. Disamping itu dilakukan litbang dengan *filler* CaCO₃ berbagai bentuk : *Calsite*, *Aragonite* dan *Vaterite*. Nano-komposit dengan *filler* CaCO₃ mencapai komposisi 55% berat untuk matriks HDPE dan 70% berat untuk matriks LLDPE, sedangkan untuk PP MF110 mencapai 70 %berat dan PP MF135 sebesar 65 %berat. Sementara itu untuk nanokomposit dengan *filler* tapioka, hampir seluruh matriks polimer termoplastik (polietilen dan polipropilen) dapat mencapai komposisi sebesar 75 %berat.

Hasil uji *biodegradable (soil butiral test)* nanokomposit menunjukkan bahwa komposisi diatas 50% berat mengalami degradasi (hancur) dalam waktu 2 (dua) bulan, kecuali LLDPE

dengan waktu 4 (empat) bulan. Untuk komposisi dibawah 50 %berat, diperoleh HDPE selama 8 (delapan) bulan dan LLDPE selama 12 (dua belas) bulan. Sedangkan nanokomposit dengan *filler* tapioka mengalami degradasi (hancur) dalam waktu 1 (bulan) untuk komposisi diatas 50 %berat.

Dari berbagai hasil litbang, diharapkan dapat diaplikasikan pada skala pabrik (besar) didalam pembuatannya dan produknya agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat secara luas, sesuai amanat UU RI No.18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah sehingga dapat menurunkan tingkat pencemaran lingkungan dan pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aloma K.K., Sudirman, Betha, Tri Darwinto, Dian I., Anik S., dan Evi H. 2001. Analisis Kekuatan Tarik Komposit Polipropilen-Pasir dan Perhitungan Secara Teoritis. *Prosiding Simposium Nasional Polimer III*. Himpunan Polimer Indonesia (HPI). Bandung. ISBN 979-96915-0-8. Hal. 35-40.
- [2] Aloma.KK, Teguh Yulius SPP and Sudirman. 2008. *The Effect of Particle Size CaCO₃ on The Thermal Properties of CaCO₃/ Polypropylene Composites*. International Conference on Advanced and Sustainable Polymer. Bandung.
- [3] Amelia. 2008. Skripsi Sarjana, Jurusan Kimia-FMIPA. Universitas Negeri Jakarta.

- [4] Anidya Fista Wibiyanti, Maria Paristiowati, Sudirman and Aloma K.K. 2008. *The Effect of Nanometer CaCO₃ To The Properties Of HDPE-CaCO₃ Nanocomposites*. International Conference on Advanced and Sustainable Polymer. Bandung.
- [5] Betha, Sudirman, Aloma Karo Karo dan Mashuri. 2001. Konduksi Panas Komposit Polimer Polipropilena-Pasir. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 2 No.2. Hal. 21-26. ISSN 1411-1098.
- [6] BPS, Data 1999, Jakarta.
- [7] Envis. 2003. *Indian Centre For Plastics In The Environment*. Vol. 1 Issue 4. India.
- [8] Harian KOMPAS, Mei 2006
- [9] HK No. 00.05.55.6497 tentang Bahan Kemasan Pangan, tanggal 20 Agustus 2007.
- [10] Inaplast, Data 2004, Jakarta.
- [11] Joseph C.Salamone. 1996. *Polymeric Materials Encyclopedia*. Vol. 1. CRC Press. New York.
- [12] Nur Fitriyani, Yusmaniar, Aloma K.K. and Sudirman. 2008. *Influence of Micrometer and Nanometer Size of Cassava Starch Addition to Mechanical and Physical Properties of Polypropilene Based Composite*. International Conference on Advanced and Sustainable Polymer. Bandung.
- [13] Peraturan Kepala Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI
- [14] Piyush B. Shuh, S. Bandopadhyay and Jayesh R. Bellare. 1995. *Polymer Degradation and Stability*, 47. p.165-173.
- [15] Presentasi Peneliti Madya, PATIR-BATAN, 2008.
- [16] Reni Tri Y.S., Hendro Juwono, dan Sudirman. 2003. Pengaruh Penambahan Zinc Stearate Terhadap Degradasi Termal pada Poli-paduan Akrilonitril – Butadiena - Stirena dan Polipropilena serta Karakterisasi Mekanik dan Infra Merah. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 4 No.3 Hal. 26-32. ISSN 1411-1098.
- [17] Rodriquesz, A. J. Lopes, S. Bruque. 1998. *Clays and Clay Min* 36, p.284 – 288.
- [18] Rolf Joachim Muller. 2002. *Bio-degradability of Polymers : Regulations and Methods for Testing*. *Gesellschaft fur Biotechnologische Forschung mbH*, Braunschweig. Germany. p. 374, 368.
- [19] Sudirman, Aloma K.K., Tri Darwinto, Dian Iramani, Teguh Yulius SPP dan Ari Handayani. 2001. Pengaruh Coupling Agent Terhadap Sifat Mekanik Dan Strukturmikro Komposit Polipropilena-Tepung Maizena. *Jurnal Mikroskopi dan Mikroanalisis*. Vol. 4 No.2. Hal. 7-13 ISSN 1410-5594.
- [20] Sudirman, Aloma Karo Karo, Teguh Yulius S.P.P., Anik S., dan Isni M. 2003. Studi Peranan Anti Ultraviolet Komposit Berbasis Polimer LDPE dan EVA Sebagai Plastik Pertanian. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, Vol.IV Edisi Khusus 3, Hal. 21-32. ISSN 1411-3481
- [21] Sudirman, Aloma K.K., Deswita, Grace Tj. S., Teguh Yulius SPP and Bambang S. 2008. *Nanocomposite Polymer as Master Batch For Biodegradable Polymer*. International Conference on Advanced and Sustainable Polymer. Bandung
- [22] Sudirman. 2007. *Laporan Akhir Program Insentif Riset Dasar: Polimer Nanokomposit sebagai Master Batch Polimer Biodegradable*. KRT. Jakarta
- [23] Sugik S., Aloma K. K., Sudirman dan Evy Hertinvyana. 2002. Karakterisasi Sifat Mekanik dan Termal Komposit LDPE-Irganok. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan'02*, P3IB-Batan, Serpong, Hal. 241-245. ISSN 1411-2213.
- [24] Sugik S., Aloma K.K., Sudirman, Evy H. Dan Sudaryanto. 2003. Karakterisasi Sifat Mekanik dan Termal Komposit Etil Vinil Asetat-Irganok, *Prosiding Simposium Nasional Polimer IV*. Himpunan Polimer Indonesia (HPI). Jakarta. Hal. 209-214. ISSN 1410-8720.
- [25] Suryani, Yusmaniar, Grace Tj. Sulungbudi and Sudirman. 2008. *The Influence of Nanometer CaCO₃ Addition To The Physical and Mechanical Properties of Polypropylene-CaCO₃ Composite*, International Conference on Advanced and Sustainable Polymer. Bandung.
- [26] UU RI No.18 Tahun 2008