

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK, KETAHANAN API DAN PEMBAKARAN, DAN MORFOLOGI NANOKOMPOSIT CAMPURAN PVC DAN LDPE

CHARACTERIZATION OF MECHANICAL, RESISTANCE TO FIRE AND BURNING, AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF BLEND PVC AND LDPE NANOCOMPOSITE

Arum Yuniari

Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik, Yogyakarta

E-mail: arumyuniari@yahoo.com

Diterima: 24 Februari 2014 Direvisi: 1 April 2014 Disetujui: 10 April 2014

ABSTRACT

The purpose of the study was to determine the effect of addition of low density polyethylene (LDPE) and flame retardant on mechanical properties, resistant to fire and burning and morphology from the mixture of polyvinyl chloride (PVC), LDPE, flame retardant, and nanoprecipitated calcium carbonate (NPCC) as filler. The materials were mixed in laboplastomill at 215 °C, torque speed 50 rpm, for 10 minutes. Nanocomposite was prepared by PVC/LDPE variations of 100/15; 100/20; 100/25; and 100/30 phr and flame retardant variations of 30 and 35 phr. The results showed that the higher of LDPE in nanocomposite increased the hardness and impact resistance, however, it decreased the tensile strength, elongation at break, and density. Addition of flame retardant to the nanocomposites showed good resistance to fire and burning, and optimum mechanical properties were found in using of 35 phr flame retardant. The morphology of the nanocomposite, were observed by Scanning Electron Microscope (SEM) confirmed that homogeneous mixture of LDPE dispersed in the PVC matrix.

Keywords: nanocomposite, PVC/LDPE blend, flame retardant, nanoprecipitated calcium carbonate (NPCC)

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *low density polyethylene* (LDPE) dan *flame retardant* terhadap sifat mekanik, ketahanan terhadap api dan pembakaran serta morfologi nanokomposit campuran *polyvinyl chloride* (PVC) dan LDPE. Nanokomposit dibuat dari campuran PVC, LDPE, *flame retardant* dan *nanoprecipitated calcium carbonate* (NPCC) sebagai *filler*. Bahan-bahan dicampur menggunakan laboplastomill pada suhu 215 °C, kecepatan torsi 50 rpm selama 10 menit. Nanokomposit PVC/LDPE dibuat dengan variasi 100/15; 100/20; 100/25 dan 100/30 phr serta variasi *flame retardant* (FR) 30 dan 35 phr. Hasil uji menunjukkan bahwa jumlah LDPE naik dalam nanokomposit: kekerasan dan ketahanan pukul takik menunjukkan kenaikan, tetapi kuat tarik, kemuluran, dan berat jenis turun. Penambahan *flame retardant* menyebabkan nanokomposit mempunyai ketahanan yang baik terhadap api dan pembakaran, dan optimum sifat mekanik diperoleh pada penggunaan *flame retardant* 35 phr. Morfologi nanokomposit campuran PVC dan LDPE diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), campuran homogen LDPE terdispersi pada matriks PVC.

Kata kunci: nanokomposit, campuran PVC/LDPE, *flame retardant*, *nanoprecipitated calcium carbonate* (NPCC)

PENDAHULUAN

Polivinil klorida yang dikenal dengan PVC merupakan polimer yang banyak digunakan untuk bahan baku produk elektronik, bahan konstruksi, kabel dan lain-lain. PVC bila dibandingkan dengan polietilen (PE) maupun polistiren (PS) sifat termal dan kemudahan diproses sangat rendah. PVC merupakan polimer dengan stabilitas termal rendah sehingga mudah terdegradasi. Salah satu upaya memperbaiki sifat termalnya adalah dengan cara dehidroklorinasi. Temperatur PVC pada saat proses dehidroklorinasi adalah sekitar 100°C, pada kondisi tersebut terjadi pembentukan ikatan rangkap terkonjugasi dan *polyene sequences* (Saeedi *et al.*, 2011). Pencampuran PVC dengan *plasticizer* berakibat pada penurunan sifat kuat tarik dan berat jenis tetapi meningkatkan kemuluran. Sedangkan penambahan bahan pengisi kedalam PVC dapat meningkatkan kuat tarik akan tetapi menurunkan kemuluran (Unar *et al.*, 2010). Unar *et al.* (2010) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa penambahan aditif kedalam polimer PVC akan memberikan perubahan terhadap sifat fisika.

Low density polyethylene (LDPE) merupakan polietilena dengan kisaran densitas antara 0,910-0,925 g/cm³ dengan cabang pendek maupun panjang. Perbedaan densitas akan mempengaruhi sifat-sifat polietilena antara lain sifat termal (titik leleh), sifat optik (*haze*, *gloss*, *clarity*), dan sifat fisika (ketahanan pukul takik, ketahanan sobek dan kuat tarik). Nanokomposit merupakan material baru yang saat ini dikembangkan. Penggunaan bahan pengisi berukuran nano dalam hal ini *nanoprecipitated calcium carbonate* (NPCC) diharapkan dapat tersebar dan terdispersi secara acak pada matriks polimer. Penyebaran partikel nano menghasilkan nanokomposit yang menunjukkan sifat superior (Yuniari dan Kasmudjiastuti, 2012). NPCC banyak digunakan dalam industri plastik terutama untuk produk *high grade* seperti automotive internal sealed dengan PVC plastisol. NPCC dapat meningkatkan reologi plastik. Komposit didefinisikan sebagai gabungan serat-serat dan resin. Penggabungannya sangat beragam, serat diatur memanjang (*unidirectional composites*), ada yang dipotong-potong kemudian dicampur secara acak (*random fibers*).

Komposit plastik yang dibuat dari

campuran PVC dan LDPE sudah diteliti oleh Sombatsompop *et al.* (2004), yang menunjukkan bahwa penambahan LDPE kedalam PVC dapat mencegah serangan oksigen pada komposit. Kebaruan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah pada penambahan NPCC dan *flame retardant*. PVC sulit bercampur dengan LDPE sehingga agar dapat bercampur sempurna perlu tambahan *compatibilizer* (Khunsumled *et al.*, 2007). Nanokomposit dari campuran LDPE dan nanoalumina menghasilkan sifat mekanik cukup baik (Chee *et al.*, 2012). Deka *et al.* (2011) membuat nanokomposit dari campuran *high density polyethylene*, polipropilena, LDPE dan PVC dengan *filler* serbuk kayu dan *nanoclay*. Durmus *et al.* (2008) mempelajari sifat mekanik nanokomposit (LLDPE)/*clay*. Kabdi *et al.* (2008) mempelajari campuran PVC dan LDPE dengan penambahan *compatibilizer* berupa *chlorinated polyethylene* (CPE). *Flame retardant* ditambahkan ke dalam kompon plastik agar komposit lebih tahan api. Jenis-jenis *flame retardant* antara lain: *tetra bromo xylene*, amonium bromida dan antimoni trioksida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan LDPE dan *flame retardant* terhadap sifat mekanik, ketahanan api dan pembakaran, dan morfologi nanokomposit campuran PVC dan LDPE.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah PVC granule ex Reiken Asahi Plastics Japan dan *low density polyethylene* (LDPE) merk Petiln dari Malaysia. *Nano precipitated calcium carbonate* (NPCC) yang digunakan merk Shengke produksi Shandong Haize Nanomaterials Co., Ltd., dengan spesifikasi NPCCA-601, CaCO₃(*coated*) ≥ 95%, bentuk partikel kubus, ukuran partikel rata-rata: 40 nm, *moisture* ≤ 0,5%, *brightness* ≥ 90%, absorpsi minyak: 25-40 ml/100 g, *specific gravity*: 2,5 g/cm³, *specific surface area* (BET) ≥ 20 m²/g, HCl *insoluble*: 0,1-0,2%, derajat aktivitas: ≥ 99%, pH: 8,5-10,5, *surface coating agent*: *coupling agent*. Bahan aditif yang digunakan adalah maleat anhidrat merk Justus sebagai *compatibilizer*, dicumyl peroksida sebagai inisiator, antioksidan (Master X-AOX), antimoni

Tabel 1. Formulasi penelitian

Kode Sampel	PVC (phr)	LDPE (phr)	FR (phr)	NPCC (phr)
P100/LD15/F30	100	15	30	10
P100/LD20/F30	100	20	30	10
P100/LD25/F30	100	25	30	10
P100/LD30/F30	100	30	30	10
P100/LD15/F35	100	15	35	10
P100/LD20/F35	100	20	35	10
P100/LD25/F35	100	25	35	10
P100/LD30/F35	100	30	35	10

trioksida sebagai *flame retardant* dari Jerman, kalsium stearat sebagai *heat stabilizer* buatan Singapura merk FACI, asam stearat dan DOP sebagai *plasticizer*.

Peralatan Penelitian

Peralatan untuk pembuatan nanokomposit terdiri atas: timbangan digital merk Mettler Toledo, Hot Blender, laboplastomil merk Toyoseiki, *hydraulic press* MN *Vulcanizing Press* Spec XLB, D 400 x 400 x 1, dan *mesin pelletizing* merk Suzhou. Alat uji meliputi: untuk uji morfologi: *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk JEOL JSM-6360LA, alat uji sifat mekanik: *tensile strength tester* merk Troning Albert tipe QC II-M-18, *hardness tester* merk Toyoseiki (Durometer D), *Izod Impact Tester*, dan *Electro Densimeter* merk Mirage EW-200SG

Metode Penelitian

Nanokomposit PVC dan LDPE dibuat dengan formulasi seperti disajikan pada Tabel 1. Pencampuran semua komponen penyusun nanokomposit PVC/LDPE, dilakukan dengan laboplastomil merk Toyoseiki. Mesin laboplastomil dihidupkan sesudah mencapai suhu 215 °C semua bahan dimasukkan kedalam *hopper*; adapun torsi putaran adalah 50 rpm, sedangkan waktu komponding adalah 10 menit. Kompon yang diperoleh dimasukkan ke unit *pelletizing* untuk dibentuk menjadi *pellet*. Kompon untuk keperluan pengujian ditekan menggunakan *hydraulic press* pada suhu 215°C dalam waktu 10 menit.

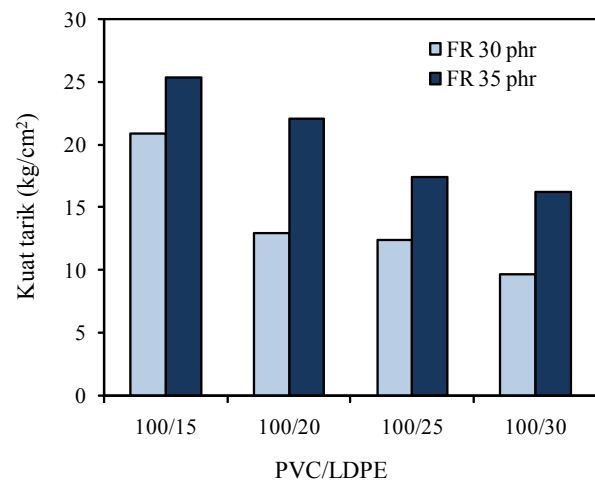
Karakterisasi nanokomposit dilakukan terhadap parameter sebagai berikut: sifat

mekanikal: densitas (ASTM D 792), kuat tarik dan kemuluran (ASTM D 638), berat jenis (ASTM D 792), kekerasan (ASTM D2240), pukul takik (ASTM D 256/56). Pengamatan mikrostruktur nanokomposit campuran PVC dan LDPE dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dan hasil yang disajikan merupakan rata-rata 3 kali ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik Nanokomposit PVC dan LDPE

Kuat tarik nanokomposit sangat dipengaruhi sifat dasar dari polimer itu sendiri. Pengaruh penambahan LDPE terhadap kuat tarik nanokomposit disajikan pada Gambar 1. LDPE mempunyai sifat kuat tarik lebih rendah dibanding PVC karena PVC lebih kaku. Dengan demikian apabila kedua polimer tersebut dicampur akan menghasilkan komposit dengan sifat mekanik campuran keduanya. Hasil uji



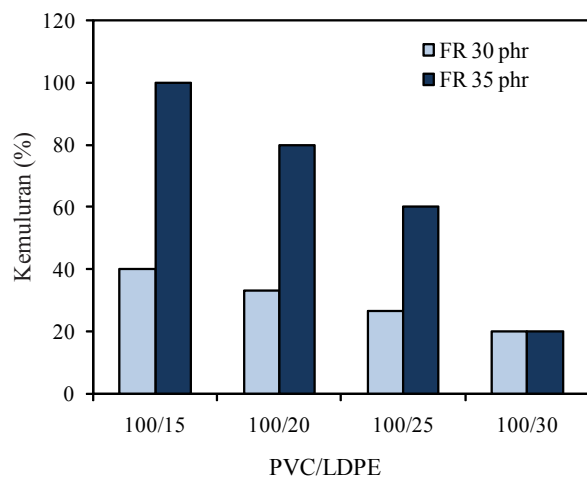
Gambar 1. Pengaruh jumlah LDPE terhadap sifat kuat tarik nanokomposit PVC dan LDPE

menunjukkan setiap penambahan 5 phr LDPE kuat tarik cenderung turun. Nilai kuat tarik nanokomposit untuk semua formulasi dan jumlah *flame retardant* berkisar antara 9,68 kg/cm² – 25,35 kg/cm².

Kuat tarik nanokomposit PVC/LDPE juga dipengaruhi oleh *flame retardant*. Nanokomposit dengan jumlah *flame retardant* 35 phr memberikan kuat tarik lebih tinggi daripada nanokomposit dengan jumlah *flame retardant* 30 phr. *Flame retardant* terbukti berfungsi sebagai aditif yang membantu terjadinya proses eksfoliasi antara PVC, LDPE, dan NPCC. LDPE terdispersi secara merata dalam matriks PVC dan terjadi proses reaksi kimia fisika (Laoutid *et al.*, 2009). Penggunaan *coupling agent* maleat anhidrat dalam penelitian ini membantu meningkatkan sifat kuat tarik. Prachayawarakan *et al.* (2008) menyatakan bahwa penambahan maleat anhidrat pada campuran menyebabkan terjadinya reaksi kimia dan fisika karena adanya rantai non polar dari maleat anhidrat, akibatnya sifat mekanik komposit menjadi baik.

Kemuluran Nanokomposit PVC dan LDPE

Kemuluran nanokomposit (Gambar 2) dipengaruhi oleh jumlah LDPE dalam matriks campuran polimer, semakin banyak jumlah LDPE yang ditambahkan maka kemulurannya semakin turun. Penambahan LDPE dalam jumlah berlebihan erat hubungannya dengan dispersi LDPE dalam matriks PVC. Jumlah LDPE semakin banyak, kemuluran turun, hal ini disebabkan banyak fase yang tidak berikatan



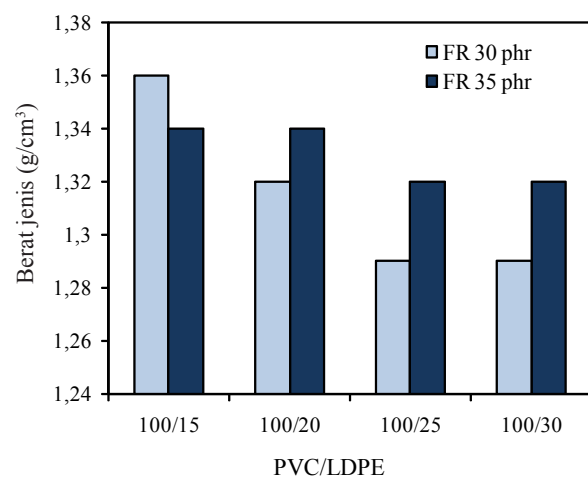
Gambar 2. Pengaruh jumlah LDPE terhadap kemuluran nanokomposit PVC dan LDPE

satu sama lain (Thongpin *et al.*, 2006). Selain itu Saeedi *et al.* (2010) menyatakan bahwa *polyethylene* dan PVC merupakan polimer dengan kekuatan adhesi rendah sehingga bila dicampur memberikan sifat mekanik kurang baik. Kemuluran nanokomposit berkisar antara 20,10-100%. Kemuluran tertinggi dijumpai pada nanokomposit PVC/LDPE (100/15) dengan jumlah *flame retardant* 35 phr yaitu sebesar 100%. Sama halnya dengan kuat tarik nanokomposit PVC/LDPE untuk parameter kemuluran *flame retardant* juga berfungsi sebagai aditif yang berpengaruh pada proses reaksi kimia fisika. Hal ini mengakibatkan makin besar jumlah *flame retardant* kemuluran makin tinggi (Laoutid *et al.*, 2009).

Berat Jenis Nanokomposit PVC dan LDPE

Berat jenis nanokomposit PVC disajikan pada Gambar 3. Berat jenis nanokomposit cenderung turun dengan bertambahnya jumlah LDPE. Hal ini disebabkan berat jenis PVC (1,3-1,58 g/cm³) lebih besar dari berat jenis LDPE (0,910-0,925 g/cm³).

Kenaikan LDPE 5 phr menurunkan densitas komposit sebesar 1,47%. Penambahan LDPE ke dalam matriks PVC akan merubah struktur kristalinitas polimer, sebab LDPE merupakan polimer 100% kristalin, sedangkan PVC merupakan polimer semi kristalin (*sydiotactic*) (Samira *et al.*, 2013). Penambahan jumlah *flame retardant* juga mempengaruhi berat jenis nanokomposit. Nanokomposit dengan *flame retardant* 35 phr umumnya mempunyai berat jenis lebih



Gambar 3. Pengaruh jumlah LDPE terhadap berat jenis nanokomposit PVC dan LDPE

tinggi dari pada nanokomposit dengan *flame retardant* 30 phr. Berat jenis nanokomposit mempunyai rentang 1,25-1,36 g/cm³.

Kekerasan nanokomposit PVC dan LDPE

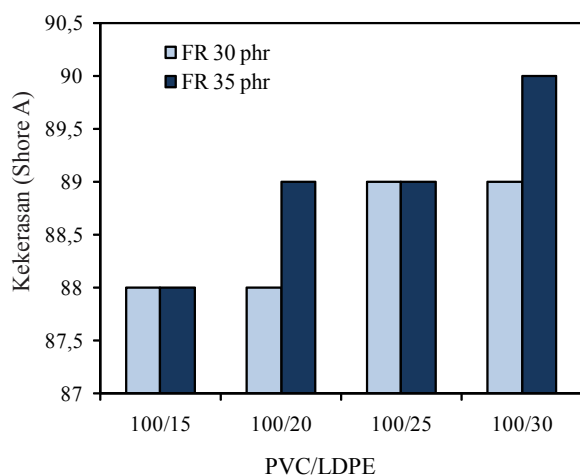
Kekerasan nanokomposit (Gambar 4) cenderung naik sejalan dengan bertambahnya jumlah LDPE. Hal ini dikarenakan LDPE merupakan polimer 100% kristalin dan PVC merupakan polimer semi kristalin (Chin, 2007).

Nilai kekerasan nanokomposit dengan variasi jumlah *flame retardant* 30 phr dan 35 phr mempunyai rentang antara 88-90 shore A. Kekerasan tertinggi terjadi pada nanokomposit PVC/LDPE (100/30). Penambahan *flame retardant* sebagai *additive* terbukti memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kekerasan. Jumlah *flame retardant* makin naik kekerasan nanokomposit naik demikian juga sebaliknya jumlah *flame retardant* turun kekerasan turun. Nanokomposit PVC/LDPE (100/30) dengan *flame retardant* 35 phr mempunyai kekerasan tertinggi yaitu 90 shore A.

Ketahanan Pukul Takik Nanokomposit PVC dan LDPE

Ketahanan pukul takik nanokomposit disajikan pada Gambar 5. Hasil uji menunjukkan makin banyak jumlah LDPE, nilai ketahanan pukul takik sangat berfluktuasi, artinya penambahan LDPE tidak secara signifikan mempengaruhi nilai ketahanan pukul takik.

Flame retardant berpengaruh terhadap nilai ketahanan pukul takik nanokomposit. Nano-



Gambar 4. Pengaruh jumlah LDPE terhadap kekerasan nanokomposit PVC dan LDPE

komposit dengan jumlah *flame retardant* 35 phr memberikan nilai pukul takik lebih tinggi daripada nanokomposit dengan jumlah *flame retardant* 30 phr. Ketahanan pukul takik nano komposit dengan jumlah *flame retardant* 30 phr, PVC/LDPE (100/25) mempunyai nilai tertinggi yaitu sebesar 8,78 kJ/mm².

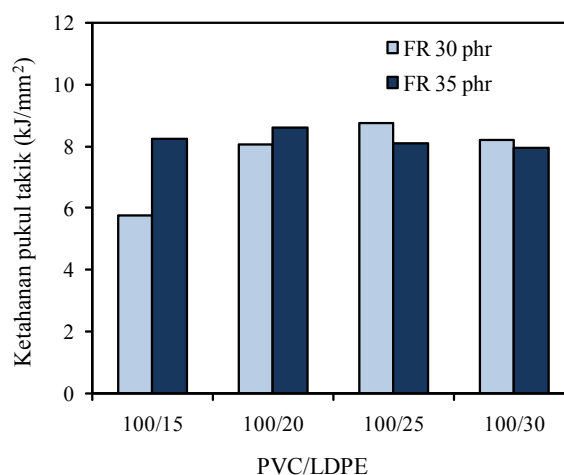
Ketahanan Terhadap Api dan Pembakaran Nanokomposit PVC dan LDPE

Hasil uji ketahanan terhadap api nanokomposit disajikan Tabel 2. Hasil uji ketahanan terhadap api dan pembakaran nanokomposit yang dilakukan pada suhu 650 °C terlihat bahwa semua nanokomposit dengan variasi LDPE maupun jumlah *flame retardant* sudah memenuhi persyaratan SNI 04-6504-2011: Lampu swa-balast untuk pelayanan pencahayaan umum - persyaratan keselamatan. Nanokomposit dibakar pada suhu 650 °C tidak menyala dan tidak ada tetesan.

Penambahan *flame retardant* pada nanokomposit PVC dan LDPE terbukti memberikan sifat ketahanan api dan pembakaran cukup baik (Chalid, 2011; Nurhajati *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013).

Analisis Mikrostruktur Nanokomposit PVC dan LDPE

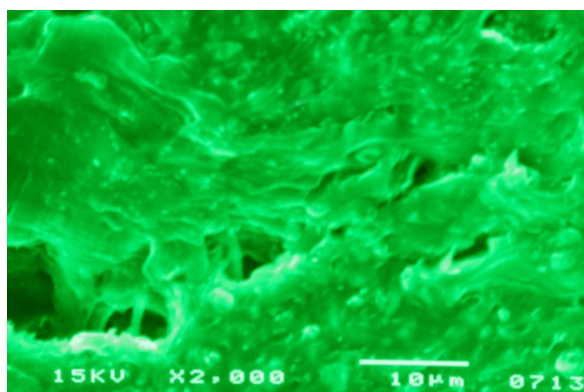
Mikrograf SEM dari campuran nanokomposit dengan variasi jumlah *flame retardant* (30 dan 35 phr) disajikan pada Gambar 6. Hasil uji dapat diamati bahwa fase minor LDPE



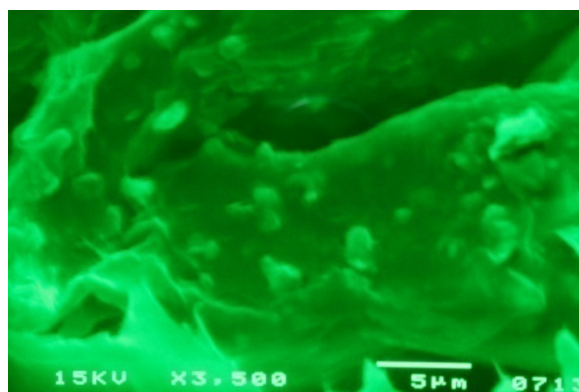
Gambar 5. Pengaruh jumlah LDPE terhadap ketahanan pukul takik nanokomposit PVC dan LDPE

Tabel 2. Hasil uji ketahanan terhadap api dan pembakaran

PVC/LDPE/Flame retardant (phr)	Ketahanan terhadap api dan pembakaran suhu 650 °C
100/15/30	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/20/30	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/25/30	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/30/30	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/15/35	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/20/35	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/25/35	Tidak menyala dan tidak ada tetesan
100/30/35	Tidak menyala dan tidak ada tetesan



(a)



(b)

Gambar 6. Mikrograf SEM nanokomposit PVC untuk perbandingan komposisi PVC/LDPE (100/20): (a) flame retardant 30 phr dengan perbesaran 2000x, (b) flame retardant 35 phr dengan perbesaran 3500x.

tersebar pada matriks PVC, morfologi tidak terpengaruh keberadaan nano partikel NPCC. Partikel NPCC beraglomerasi sehingga ukuran partikel menjadi 10 µm. Kehadiran NPCC terletak di fase PVC tidak dalam domain LDPE. *Compatibilizer* maleat anhidrat mempengaruhi dispersi LDPE kedalam PVC sehingga campuran menjadi homogen. Penambahan *flame retardant* menyebabkan terjadinya reaksi fisika kimia dan termo mekanis menyebabkan *nano filler* bersinergi dengan baik dan menghasilkan campuran yang kompatibel (Chen *et al.*, 2013; Laoutid *et al.*, 2009)

KESIMPULAN

Penambahan LDPE pada nanokomposit menyebabkan perubahan sifat mekanik, antara lain: penurunan kuat tarik, kemuluran, dan berat jenis. Sebaliknya penggunaan *flame retardant* dalam jumlah yang lebih tinggi (35 phr) menyebabkan peningkatan kuat tarik, kemuluran, berat jenis, kekerasan dan ketahanan pukul takik. Penambahan *flame retardant*

menghasilkan nanokomposit tahan terhadap api dan pembakaran. Analisis morfologi nanokomposit dengan SEM menunjukkan campuran homogen LDPE terdispersi terhadap matriks polimer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ir. Niken Karsiati selaku Kepala Bidang Pengujian, Sertifikasi, dan Kalibrasi BBKPP yang telah membantu koordinasi pelaksanaan penelitian dan pengujian. Disamping itu ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Dra Sri Brataningsih PL atas bantuannya dalam hal pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Chee, C. Y., Song, N. L., Abdullah, L. C., Choong, T. S., Ibrahim, A., and Chantara, T. R., 2012. Characterization of mechanical properties: low-density polyethylene nanocomposite using nanoalumina particle as filler, *Journal of Nanomaterials*, 2012.

- Chen, S., Sun, B., Huang, G., Guo, H., and Wang, S., 2013. Effects of an (Intumescent flame retardant) montmorillonite combination on the thermal stability and fire retardant properties of LDPE/EVA nanocomposites, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 19(4): 285-292.
- Chin, S., 2007. *Degradation behaviour of PVC-LDPE blend*, Skripsi, Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
- Deka, B. K., Maji, T. K., and Mandal, M., 2011. Study on properties of nanocomposites based on HDPE, LDPE, PP, PVC, wood and clay, *Polymer Bulletin*, 67(9): 1875-1892.
- Durmus, A., Kaşgöz, A., and Macosko, C. W., 2008. Mechanical properties of linear low density polyethylene (LLDPE)/clay nanocomposites: estimation of aspect ratio and interfacial strength by composite models, *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 47(3): 608-619.
- Kabdi, S. A. and Belhaneche-Bensemra, N., 2008. Compatibilization of regenerated low density polyethylene/poly(vinyl chloride) blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 110(3): 1750-1755.
- Khunsumled S., Prachayawarakorn J., Thongpin C., Kositchaiyong A. and Sombatsompop N., 2007. Property modification of composites between poly(vinyl chloride)/low-density polyethylene polymer blends reinforced by hevea brasiliensis sawdust, *Polymer Graduate Conference of Thailand*, Mahidol University, Nakhonpathom.
- Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., and Dubois, P., 2009. New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63(3): 100-125.
- Nurhajati, D. W., Yuniari, A. dan Kasmudjiastuti, E., 2011. Sifat elektrik dan termal nano komposit HDPE/NPCC, *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, 27(1):
- Prachayawarakorn, J., Khunsumfed, S., Thongpin, C., Kositchayong, A., and Sombatsompop, N., 2008. Effect of silane and MAPE coupling agent on the properties and interfacial adhesion of wood-filled PVC/LDPE blend, *Journal of Applied Polymer Science*, 108: 3523-3530.
- Saeedi, M., Ghasemi, I., and Karrabi, M., 2011. Thermal degradation of poly (vinyl chloride): Effect of nanoclay and low density polyethylene content, *Iranian Polymer Journal*, 20: 423-432.
- Samira, M., Ahmed, M., Nadia N., Mohamed, S., and Rachida, Z., 2013. Thermal and mechanical properties of PVC and PVC-HDPE blends, *Research & Reviews: Journal of Material Sciences*, 1(1): 6-11.
- Sombatsompop, N., Sungsanit, K. and Thongpin, C., 2004. Structural changes of PVC in PVC/LDPE melt-blends: Effects of LDPE content and number of extrusions, *Polymer Engineering & Science*, 44(3): 487-495.
- Thongpin, C., Santavitee, O. and Sombatsompop, N., 2006. Degradation mechanism and mechanical properties of PVC in PVC-PE melt blends: Effects of molecular architecture, content, and MFI of PE, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 12(3): 115-123.
- Unar, I. N., Soomro, S. A. and Aziz, S., 2010. Effect of various additives on the physical properties of polyvinylchloride resin, *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 11(2): 44-50.
- Yuniari, A. dan Kasmudjiastuti, E., 2012. Spektroskopi FTIR dan sifat mekanik nanokomposit grafting HDPE dan NPCC. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, 28(2): 89-96.

