

## Karakterisasi Nanokomposit Poly(Lactic Acid)-Spent Bleaching Earth Regenerasi Termodifikasi

### [Characterization of Nanocomposite of Poly(Lactic Acid)-Modified Regenerated Spent Bleaching Earth]

Tika Paramitha<sup>1\*</sup> dan Johnner P. Sitompul<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, 57126, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat, Indonesia

<sup>\*)</sup> Corresponding Author: [tikaparamitha@staff.uns.ac.id](mailto:tikaparamitha@staff.uns.ac.id) (hp/fax: +6287758189404)

**ABSTRACT.** Development of renewable resource-based polymers attracts attention to solve environmental problems due to the build up of polymer (plastic). Poly(lactic acid) (PLA) is one of the most widely used polymers which have good biodegradability and processability. The addition of fillers to the PLA matrix aims to improve the characteristics of the PLA, such as mechanical properties of nanocomposites of PLA. Thus, PLA can be use as substitution of fossil fuel-based polymer. Spent Bleaching Earth (SBE) can be used as a filler after regeneration process. SBE was extracted and oxidized to take its oil content. Then, SBE was modified with urea solution to increase the interlayer distance. In this study, structure of nanocomposites was characterized using X-Ray Diffraction and mechanical properties of nanocomposites were characterized using Universal Testing Machines. X-Ray Diffraction characterization results show that PLA-SBE nanocomposite and PLA-modified regenerated SBE nanocomposites do not form new peaks, so SBE and modified regenerated SBE is intercalated and partially exfoliated in the PLA matrix. The degree of intercalation/exfoliation is indicated by the results of characterization of mechanical properties. The mechanical properties of PLA-SBE nanocomposite are lower than neat PLA, whereas the mechanical properties of PLA-modified regenerated SBE nanocomposites are higher than neat PLA. The best mechanical properties of nanocomposites were obtained for PLA-5% modified regenerated SBE, with elongation and tensile strength, 3.26% and 42.22 MPa, respectively.

**Keywords:** *nanocomposites, poly(lactic acid), regeneration, spent bleaching earth*

**ABSTRAK.** Pengembangan polimer berbasis sumber daya terbarukan menarik perhatian untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan akibat penumpukan polimer (plastik). Poly(lactic acid) (PLA) adalah salah satu polimer yang banyak digunakan yang memiliki keunggulan mudah terdegradasi dan mudah dalam pemrosesan. Penambahan bahan pengisi pada matrik PLA bertujuan untuk meningkatkan karakteristik PLA, seperti sifat mekanis nanokomposit PLA. Sehingga, PLA dapat digunakan sebagai substitusi polimer berbasis sumber daya bahan bakar fosil. *Spent Bleaching Earth* (SBE) dapat digunakan sebagai bahan pengisi setelah dilakukan proses regenerasi. SBE diekstraksi dan dioksidasi untuk mengambil kandungannya. Selanjutnya, SBE dimodifikasi dengan larutan urea untuk meningkatkan jarak interlayernya. Pada penelitian ini, struktur nanokomposit dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* dan sifat mekanik nanokomposit dikarakterisasi menggunakan *Universal Testing Machine*. Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* menunjukkan bahwa nanokomposit PLA-SBE dan PLA-SBE regenerasi termodifikasi tidak terbentuk puncak baru, sehingga SBE dan SBE regenerasi termodifikasi terinterkalasi dan sebagian tereksfoliasi pada matrik PLA. Derajat interkalasi/eksfoliasi tersebut ditunjukkan dengan hasil karakterisasi sifat mekanik. Sifat mekanik nanokomposit

PLA-SBE lebih rendah dibandingkan PLA murni, sedangkan sifat mekanik nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi lebih tinggi dibandingkan PLA murni. Hasil terbaik sifat mekanik diperoleh pada nanokomposit PLA-5% SBE regenerasi termodifikasi, dengan masing-masing nilai *elongation* dan tensile strength sebesar 3,26% dan 42,22 MPa.

**Kata kunci:** nanokomposit, poly(lactic acid), regenerasi, spent bleaching earth

**Riwayat artikel:** Diterima 17 Juli 2020, Disetujui 6 Agustus 2020

**Cara sitasi:** Paramitha, T., & Sitompul, J.P. (2020). Karakterisasi Nanokomposit Poly(Lactic Acid)-Spent Bleaching Earth Regenerasi Termodifikasi. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(2): 90-98.

**DOI:** <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15207>

## LATAR BELAKANG

Pada saat ini, penelitian mengenai penggantian polimer berbasis bahan bakar fosil dengan polimer berbasis bahan sumber daya terbarukan telah banyak dilakukan. *Poly(lactic acid)* (PLA) merupakan salah satu poliester alifatik linier berbasis bahan sumber daya terbarukan. PLA dapat digunakan pada berbagai aplikasi, seperti pembungkus makanan, bidang otomotif, peralatan makan sekali pakai, benang bedah, *drug delivery*, dan sebagainya (Tham, Poh, Arifin, Ishak, & Chow, 2016). Produksi PLA dapat dilakukan dengan dua metode yaitu polikondensasi asam laktat dan polimerisasi pembukaan cincin laktida. Laktida adalah dimer siklik yang dibuat dengan depolimerisasi asam laktat (Rhim, Hong, & Ha, 2009). PLA adalah polimer yang ramah lingkungan karena memiliki sifat yang mudah terdegradasi dan dapat diproduksi dari bahan baku jagung atau gula bit. Selain itu, PLA memiliki keunggulan yaitu mudah dalam pemrosesan dan biokompatibel (Răpă *et al.*, 2016). Namun, PLA memiliki beberapa kelemahan seperti *physical aging* yang cepat, sensitif terhadap air, *impact resistance* terbatas, dan sifat kekakuan yang besar dalam beberapa aplikasi (Csizmadia, Faludi, Renner, Móczó, & Pukánszky, 2013). Oleh karena itu, modifikasi PLA sangat perlu untuk dilakukan untuk memperbaiki kelemahannya, antara lain

modifikasi dengan plastisisasi (Kumar, Ofosu, & Anandjiwala, 2013) atau modifikasi dengan penambahan bahan pengisi/*filler*.

Bahan pengisi yang biasa digunakan dalam modifikasi PLA adalah *nanoclay* (Piekarska, Sowinski, Piorkowska, Haque, & Pracella, 2016) dan serat selulosa (Song, Xiao, & Zhao, 2014). Di Indonesia, bentonit merupakan salah satu *clay* yang ketersediannya melimpah. Pada proses pemurnian minyak sawit bentonit digunakan untuk menyerap warna gelap dan zat peyebab bau dalam minyak mentah dan minyak sayur. Bentonit yang telah digunakan sebagai penyerap tersebut akan berubah warna menjadi kehitaman dan dinamakan *spent bleaching earth* (SBE). Penggunaan kembali SBE masih sangat jarang dilakukan. Namun, pembuangan langsung SBE ke alam akan menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan. Sehingga perlu dilakukan regenerasi SBE sebelum digunakan kembali dalam bidang lainnya. Regenerasi atau pengambilan minyak dari bentonit menggunakan metode ekstraksi dengan pelarut memiliki keunggulan yaitu *yield* yang lebih tinggi dan kualitas minyak yang lebih baik daripada metode lain (Al-Zahrani & Daous, 2000).

Pada penelitian ini, bahan pengisi nanokomposit menggunakan SBE yang telah

diregenerasi dan dimodifikasi. Larutan urea digunakan untuk memodifikasi SBE, sehingga dapat meningkatkan jarak antar layer pada struktur SBE dan memperbesar terjadinya interkalasi atau eksfoliasi pada nanokomposit. Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Horváth, Kristóf, Kurdi, Makó, & Khunová, 2011, hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa dari *halloysite* dengan *intercalated* urea memiliki jarak interlayer yang lebih besar yaitu 10,8 Å. Sedangkan, *halloysite* tanpa *intercalated* urea memiliki jarak interlayer sebesar 7,2 Å. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan regenerasi SBE, modifikasi SBE, karakterisasi nanokomposit PLA dan SBE regenerasi termodifikasi.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Poly(lactic acid)* (PLA) dengan nama dagang PLA Ingeo 2003D diperoleh dari Nature Work, USA. *Spent bleaching earth* (SBE) diperoleh dari industri pemurnian minyak (Jakarta, Indonesia). Heksana, natrium hipoklorit (NaOCl), dan isopropil alkohol dari PT. Brataco Chemica, Bandung, Indonesia. Air sulingan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *single screw extruder* untuk mencampur PLA dan bahan pengisi. Selanjutnya, campuran tersebut dicetak menggunakan *compression molding machine*.

### Prosedur Penelitian

#### **Regenerasi dan modifikasi Spent Bleaching Earth (SBE)**

Regenerasi SBE dilakukan dengan dua tahapan proses, yaitu proses ekstraksi menggunakan larutan heksana dan proses

oksidasi menggunakan larutan natrium hipoklorit. SBE hasil ekstraksi dan oksidasi dinamakan SBE regenerasi. Pada tahap modifikasi SBE, SBE regenerasi dimodifikasi dengan menggunakan urea untuk meningkatkan jarak interlayer dan dinamakan SBE regenerasi termodifikasi.

Pada tahap regenerasi SBE, prosedur dilakukan sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Paramitha, Sitompul, & Lee, 2018. 25 gram SBE diekstraksi menggunakan 200 ml heksana pada 65°C selama 5 jam. Jumlah SBE divariasikan dengan jumlah 20, 25, dan 40 gram. Kemudian SBE dikeringkan pada temperatur 110°C dan diayak menggunakan *sieve* berukuran 325 mesh. 10 gram SBE yang lolos 325 mesh didispersikan dan dioksidasi dalam larutan NaOCl pada temperatur 80-90°C selama 2 jam. Selanjutnya, SBE dicuci dengan air, dikeringkan pada temperatur 110°C, diayak dengan *sieve* ukuran 325 mesh, dan disimpan di desikator.

Selanjutnya, sejumlah 3 gram SBE regenerasi didispersikan pada 150 mL larutan urea 10 M. Campuran tersebut diletakkan pada *shaking machine* pada temperatur ruang selama 80 jam. Kemudian SBE regenerasi dicuci menggunakan 30 mL isopropil alkohol sebanyak 5 kali. SBE regenerasi yang telah dimodifikasi dengan urea dikeringkan pada temperatur 80°C selama 12 jam dan dinamakan SBE regenerasi termodifikasi.

#### **Produksi nanokomposit**

Proses produksi film nanokomposit (PLA-SBE dan PLA-SBE regenerasi termodifikasi) dilakukan dengan metode ekstrusi. Pertama-tama, PLA dan bahan pengisi dicampur menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dan dilanjutkan dengan menggunakan

*single screw extruder*. Profil temperatur screw sebesar 170°C. Hasil ekstrusi dicetak pada tekanan 10 MPa pada temperatur 170°C hingga terbentuk film nanokomposit menggunakan alat *compression molding machine*.

### Karakterisasi struktur nanokomposit

Struktur pada nanokomposit dianalisis menggunakan *X-ray diffraction (XRD)*, Rigaku Smartlab. XRD dioperasikan pada 45 kV dan 30 mA. Jarak interlayer dihitung menggunakan *Bragg's equation*. Jarak interlayer ini menentukan struktur nanokomposit yang tereksfoliasi atau terinterkalasi yang disajikan dalam persamaan 1.

$$n \lambda = 2 d \sin(\Theta) \quad (1)$$

Keterangan:

$\lambda$  = Panjang gelombang x-ray (0,1546 nm)

$d$  = Jarak interlayer

$\Theta$  = Sudut antara sinar datang dengan lapisan atom

### Karakterisasi sifat mekanik nanokomposit

Sifat mekanik nanokomposit dianalisis menggunakan alat *Universal Testing Machine (RTF-1310)*. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Bandung. Uji tarik dilakukan pada kecepatan tarik 2 mm/detik dan *load* 10.000 N.

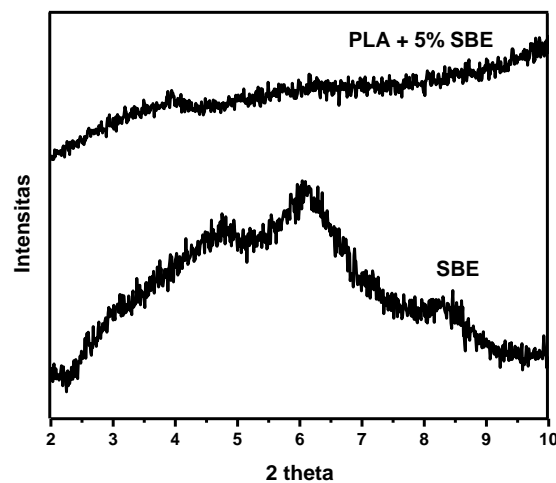
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Nanokomposit PLA-Spent Bleaching Earth (SBE)

Nanokomposit PLA-Spent Bleaching Earth (SBE) telah diproduksi tanpa adanya regenerasi terlebih dahulu. Hasil karakterisasi struktur nanokomposit ditunjukkan pada Gambar 1 dan sifat mekanik nanokomposit ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 1, puncak SBE terdapat pada 2 theta sebesar 6,04°. Berdasarkan

perhitungan dengan *Bragg's equation*, jarak interlayer SBE adalah 1,47 nm.



**Gambar 1.** Hasil karakterisasi XRD SBE dan nanokomposit PLA-5% SBE

**Tabel 1.** Hasil karakterisasi sifat mekanik PLA murni dan nanokomposit PLA-5% SBE

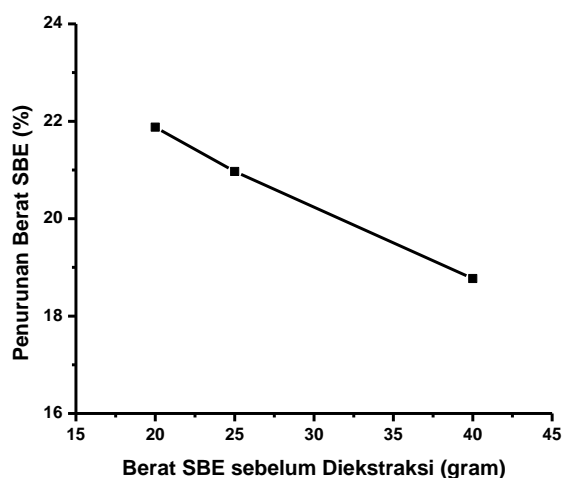
Sifat Mekanik	PLA murni (Paramitha et al., 2018)	PLA+5% SBE
<i>Elongation (%)</i>	3,02	1,69
<i>Tensile Strength (MPa)</i>	39,59	18,76
<i>Modulus Young (MPa)</i>	1.328,4	1.230,6

Hasil karakterisasi XRD nanokomposit PLA-5% SBE tidak menunjukkan adanya puncak baru (Gambar 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa SBE dapat terdispersi ke matriks PLA. Namun, sifat mekanik nanokomposit PLA+5% SBE lebih rendah dibandingkan dengan sifat mekanik PLA murni. Penurunan sifat mekanik pada nanokomposit PLA+5% SBE dikarenakan SBE tidak kompatibel dengan PLA. Ikatan yang lemah antara PLA dan SBE disebabkan masih adanya kandungan minyak dan impuritas yang ada pada SBE. Oleh karena itu, regenerasi dan modifikasi SBE perlu dilakukan sehingga

bahan pengisi dapat secara efektif meningkatkan karakteristik nanokomposit.

### Regenerasi dan Modifikasi *Spent Bleaching Earth (SBE)*

Regenerasi SBE dilakukan dengan dua tahapan proses, yaitu ekstraksi dan modifikasi. Pada proses ekstraksi sokletasi dilakukan menggunakan larutan heksana. Berdasarkan penelitian Saputra, Sahan, & Zahrina, 1999, proses pengambilan minyak dengan ekstraksi sokletasi menggunakan pelarut heksana menghasilkan *yield* minyak tertinggi dibandingkan dengan pelarut etanol dan aseton. Selain itu, secara teoritis heksana juga diizinkan penggunaannya untuk ekstraksi minyak pada makanan (Lee, Seng, & Liew, 2000). Proses pengambilan minyak ini mengakibatkan penurunan berat SBE yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Persentase penurunan berat SBE pada proses ekstraksi sokletasi

Persentase penurunan berat SBE merupakan selisih berat SBE sebelum diekstraksi dan sesudah diekstraksi. Pada penelitian ini digunakan variabel tetap berupa volume heksana 200 ml untuk proses ekstraksi sokletasi. Pada komposisi SBE:heksana sebesar 20 gram SBE:200 ml heksana memiliki nilai persentase penurunan berat

yang paling besar. Namun, penurunan berat tidak mengalami peningkatan yang signifikan dari 25 gram SBE menjadi 20 gram SBE. Sehingga, ekstraksi dipilih pada komposisi SBE:heksana sebesar 1:8.

Setelah dilakukan proses ekstraksi menggunakan heksana, dilanjutkan dengan proses oksidasi dengan larutan NaOCl untuk mengambil residu minyak dan impuritas yang masih tersisa. Berdasarkan Zimmermann, Leifeld, Abiven, Schmidt, & Fuhrer, 2007, purifikasi (*treatment*) menggunakan larutan NaOCl tidak menyebabkan perubahan struktur mineral. Proses pengambilan minyak ini mengakibatkan penurunan berat SBE yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Penurunan berat SBE pada proses oksidasi

Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Penurunan berat (%)
10	7,68	23,2

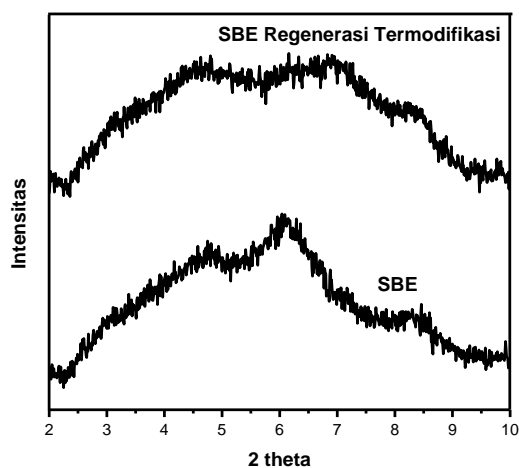


**Gambar 3.** (a) SBE sebelum proses regenerasi, (b) SBE sesudah proses regenerasi

Pada proses regenerasi terjadi penurunan berat SBE mencapai 44,16%. Berdasarkan Saleh Alhamed & Al-Zahrani, 1999, SBE mengandung minyak sebesar 20-40% berat, sehingga proses regenerasi SBE dapat menghilangkan kandungan minyak pada SBE. Pada Gambar 3 dapat dilihat perbedaan SBE sebelum dan sesudah proses regenerasi. Setelah proses regenerasi, SBE berubah

warna dari kehitaman menjadi kecoklatan dan dinamakan SBE regenerasi.

Selanjutnya, SBE regenerasi dimodifikasi dengan urea untuk meningkatkan jarak interlayer. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, puncak SBE regenerasi termodifikasi mengalami pergeseran ke derajat yang lebih kecil dibandingkan dengan SBE tanpa proses regenerasi yang menunjukkan urea terpenetrasi ke interlayer dan jarak interlayer meningkat. Sehingga, jarak interlayer berubah dari 1,47 nm (SBE) menuju ke 1,85 nm (SBE regenerasi termodifikasi).

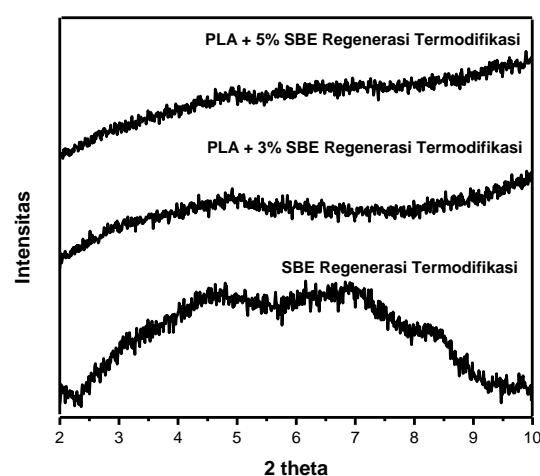


**Gambar 4.** Hasil karakterisasi XRD SBE dan SBE regenerasi termodifikasi

#### Struktur Nanokomposit PLA-SBE Regenerasi Termodifikasi

Setelah dilakukan pencampuran SBE regenerasi termodifikasi dengan PLA, karakteristik struktur dari bahan pengisi pada nanokomposit ditemukan pada kisaran 2 theta yang rendah (S. M. Lai, Wu, Lin, & Don, 2014). Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil analisis XRD untuk nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi. Nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi memiliki puncak dengan intensitas yang sangat rendah dan tidak terbentuk puncak baru. Tidak adanya puncak baru tersebut menunjukkan

terbentuknya struktur yang terinterkalasi dan sebagian tereksfoliasi. Pada penelitian ini, struktur nanokomposit tidak tereksfoliasi sempurna dikarenakan waktu tinggal pada *single screw extruder* yang singkat (Paramitha *et al.*, 2020), sehingga dispersi bahan pengisi belum menyeluruh pada matrik PLA. Derajat interkalasi dan eksfoliasi berhubungan dengan tingkat dispersi bahan pengisi pada matrik polimer dan akan mempengaruhi sifat mekanis nanokomposit.



**Gambar 5.** Hasil karakterisasi XRD SBE dan nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi

#### Sifat Mekanik Nanokomposit PLA-SBE Dimodifikasi dengan Urea

Pengaruh penambahan SBE regenerasi termodifikasi pada PLA murni dikarakterisasi dengan pengujian sifat mekanis, seperti: *elongation*, *tensile strength*, dan *modulus young*. Hasil karakterisasi sifat mekanik nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Wonoputri *et al.*, 2020, nanokomposit dengan bahan pengisi berupa SBE yang telah diregenerasi dan tanpa dimodifikasi pada matrik PLA menghasilkan peningkatan *tensile strength* yang sangat kecil

dari 1,55 menjadi 1,59 MPa. Sedangkan, nanokomposit dengan penambahan SBE yang diregenerasi dan dimodifikasi dengan *octadecylamine* (ODA) mengalami peningkatan *tensile strength* yang sangat signifikan dari 1,55 MPa menjadi 7,87 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa untuk meningkatkan sifat mekanik polimer tidak hanya perlu dilakukan regenerasi pada SBE, namun juga perlu dilakukan modifikasi pada SBE. Modifikasi SBE dapat meningkatkan jarak interlayer dan dispersi bahan pengisi pada matrik PLA.

Pada penelitian ini, sifat mekanik nanokomposit meningkat dengan kenaikan jumlah bahan pengisi SBE regenerasi termodifikasi yang ditambahkan. Peningkatan sifat mekanis pada nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi menunjukkan terbentuknya interkalasi dan eksfoliasi sebagian antara PLA dan SBE regenerasi termodifikasi. Peningkatan sifat mekanik nanokomposit disebabkan oleh kekakuan, aspek rasio, dan luas permukaan bahan pengisi yang tinggi serta afinitas yang baik melalui interaksi antarmuka antara bahan pengisi dan matrik polimer (Rhim, 2013). Namun, peningkatan sifat mekanik akan mencapai titik penambahan bahan pengisi tertentu. Apabila komposisi bahan pengisi yang ditambahkan terlalu besar akan terjadi interaksi bahan pengisi yang menyebabkan konsentrasi tegangan lokal dan kekuatan tarik menurun (J. C. H. Lai, Rahman, & Hamdan, 2018).

Pada nanokomposit, derajat interkalasi/eksfoliasi dapat dilihat dari hasil karakterisasi XRD dan sifat mekaniknya. Peningkatan sifat mekanik menunjukkan bahwa derajat interkalasi/eksfoliasi bahan pengisi yang baik

pada matrik polimer. Sehingga, SBE regenerasi termodifikasi memiliki derajat interkalasi/ eksfoliasi yang lebih baik pada matrik PLA dibandingkan dengan SBE.

**Tabel 3.** Hasil karakterisasi sifat mekanik nanokomposit PLA-SBE regenerasi

Sifat Mekanik	E (%)	TS (MPa)	MY (MPa)
PLA murni #	3,02	39,59	1.328,4
PLA+5% SBE	1,69	18,76	1.230,6
PLA+3% SBE regenerasi termodifikasi	3,20	41,10	1.327,0
PLA+5% SBE regenerasi termodifikasi	3,26	42,22	1.508,9
PLA murni*	19,27	1,55	59,72
PLA+4% SBE tanpa modifikasi*	5,03	1,59	82,21
PLA+4% SBE dengan modifikasi ODA*	2,66	7,87	329,72

Catatan :

E : *elongation*

TS : *tensile strength*

M : *modulus young*

# : penelitian sebelumnya (Paramitha *et al.*, 2018)

\* : metode *solution casting* (Wonoputri, *et al.*, 2020)

## KESIMPULAN

Peningkatan sifat mekanis nanokomposit PLA berhasil dilakukan dengan penambahan bahan pengisi berupa SBE regenerasi termodifikasi. Dari hasil karakterisasi XRD, nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi tidak menunjukkan adanya puncak baru, sehingga terbentuk struktur interkalasi dan eksfoliasi sebagian bahan pengisi pada matrik PLA. Derajat interkalasi/eksfoliasi tersebut mempengaruhi sifat mekanik nanokomposit. Dari hasil karakterisasi UTM, sifat mekanis nanokomposit PLA-SBE regenerasi termodifikasi lebih besar dibandingkan PLA murni. Hasil terbaik sifat mekanik diperoleh pada nanokomposit PLA-5% SBE regenerasi



termodifikasi, dengan masing-masing nilai *elongation* dan *tensile strength* sebesar 3,26% dan 42,22 MPa.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret dan Institut Teknologi Bandung untuk dukungan fasilitas pada penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zahrani, A. A., & Daous, M. A. (2000). Recycling of spent bleaching clay and oil recovery. *Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*, 78(3): 224–228. <https://doi.org/10.1205/095758200530682>
- Csizmadia, R., Faludi, G., Renner, K., Móczó, J., & Pukánszky, B. (2013). PLA/wood biocomposites: Improving composite strength by chemical treatment of the fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 53: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.06.003>
- Horváth, E., Kristóf, J., Kurdi, R., Makó, Ö. É., & Khunová, V. (2011). Study of urea intercalation into halloysite by thermoanalytical and spectroscopic techniques. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 105(1): 53–59. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1522-9>
- Kumar, R., Ofosu, O., & Anandjiwala, R. D. (2013). Macadamia Nutshell Powder Filled Poly Lactic Acid Composites with Triacetin as a Plasticizer. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 7(5): 541–548. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2013.1387>
- Lai, J. C. H., Rahman, M. R., & Hamdan, S. (2018). Comparative studies of thermo-mechanical and morphological properties of polylactic acid/fumed silica/clay (1.28E) and polylactic acid/fumed silica/clay (1.34TCN) nanocomposites. *Polymer Bulletin*, 75(1): 135–147. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-2025-z>
- Lai, S. M., Wu, S. H., Lin, G. G., & Don, T. M. (2014). Unusual mechanical properties of melt-blended poly(lactic acid) (PLA)/clay nanocomposites. *European Polymer Journal*, 52(1), 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.12.012>
- Lee, C. G., Seng, C. E., & Liew, K. Y. (2000). Solvent efficiency for oil extraction from spent bleaching clay. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(11): 1219–1223. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0190-6>
- Paramitha, T., Sitompul, J. P., & Lee, H. W. (2018). The effect of organobentonites from spent bleaching earth (SBE) and commercial bentonite on nanocomposite properties. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4): 2000–2005. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.15317>
- Paramitha, T., Wonoputri, V., Sitompul, D. S. D., Lee, H. W., & Sitompul, J. P. Properties of nanocomposites from PLA and clays by melt extrusion technique. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, accepted for publication. 16(4).
- Piekarska, K., Sowinski, P., Piorkowska, E., Haque, M. M. U., & Pracella, M. (2016). Structure and properties of hybrid PLA nanocomposites with inorganic nanofillers and cellulose fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 82: 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.019>
- Râpă, M., Miteluț, A. C., Tănase, E. E., Grosu, E., Popescu, P., Popa, M. E., ... Vasile, C. (2016). Influence of chitosan on mechanical, thermal, barrier and antimicrobial properties of PLA-biocomposites for food packaging. *Composites Part B: Engineering*, 102: 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.08.019>



- 16.07.016
- Rhim, J. W. (2013). Effect of PLA lamination on performance characteristics of agar/k-carrageenan/clay bio-nanocomposite film. *Food Research International*, 51(2): 714–722. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.050>
- Rhim, J. W., Hong, S. I., & Ha, C. S. (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *LWT - Food Science and Technology*, 42(2): 612–617. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.015>
- Saleh Alhamed, Y. A., & Al-Zahrani, A. A. (1999). Techno-economical Evaluation of Oil Recovery and Regeneration of Spent Bleaching Clay. *Journal of King Abdulaziz University: Engineering Sciences*, 11(2): 115–126.
- Saputra, A. B., Sahan, Y., & Zahrina, I. (1999). *Recovery Minyak dari Spent Bleaching Earth (SBE)*. Unri, Riau.
- Song, Z., Xiao, H., & Zhao, Y. (2014). Hydrophobic-modified nano-cellulose fiber/PLA biodegradable composites for lowering water vapor transmission rate (WVTR) of paper. *Carbohydrate Polymers*, 111: 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.049>
- Tham, W. L., Poh, T., Arifin, Z., Ishak, M., & Chow, W. S. (2016). Characterisation of Water Absorption of Biodegradable Poly ( lactic Acid )/ Halloysite Nanotube Nanocomposites at Different Temperatures. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12: 13–25.
- Wonoputri, V., Emmanuella, N., Angelica, E., & Sitompul, J. (2020). Variasi Jarak Antar Layer Bentonit Pada Pembuatan Nanokomposit Pla-Bentonit Sebagai Kemasan Makanan. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(1): 6–14. <https://doi.org/10.30598/ijcr>
- Zimmermann, M., Leifeld, J., Abiven, S., Schmidt, M. W. I., & Fuhrer, J. (2007). Sodium hypochlorite separates an older soil organic matter fraction than acid hydrolysis. *Geoderma*, 139(1–2): 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.014>