

Sifat Mekanik dan Termal Bionanokomposit Pati yang Diperkuat oleh Partikulat Selulose Bakteri

Saharman Gea dan Yugia Muis

Laboratorium Kimia Fisika, Departemen Kimia FMIPA USU Medan.

Jl. Bioteknologi No. 1 Medan 20155, Telp. 061-8443608.

E-mail: s.gea@usu.ac.id

Abstract

The addition of bacterial cellulose particulate (BCP) to Mater-Bi has been investigated. Free-water BCP produced by cultivating *Acetobacter xylinum* into a glucose-based medium was added into Mater-Bi by using mini extruder at temperature of 160°C for 10 minutes. Mechanical test of the sample which prepared in dump-bell shape according to ASTM D638 was performed at 50 mm.min⁻¹ with load cell of 1 kN. TGA test carried out at 20-600°C with scan rate of 20°C/minute meanwhile for morphological analysis performed by using FE-SEM with the acceleration voltage of 10 kV. Both Young's modulus and elongation at break of the bionanocomposites are significantly increase compare to pure Mater-Bi. Thermal stability of the samples also improved. However, based on TGA analysis the percentage of residual combustion of bionanocomposite Mater-Bi/BCP is increase accordance with the volume fraction of BCP. SEM images show that reinforcing agent of BCP distributed uniformly into the matrix which result in mechanically bionanocomposites improved

Keywords: *bacterial cellulose particulate, bio-nanocomposite, mater-bi, mechanical properties, thermal analysis*

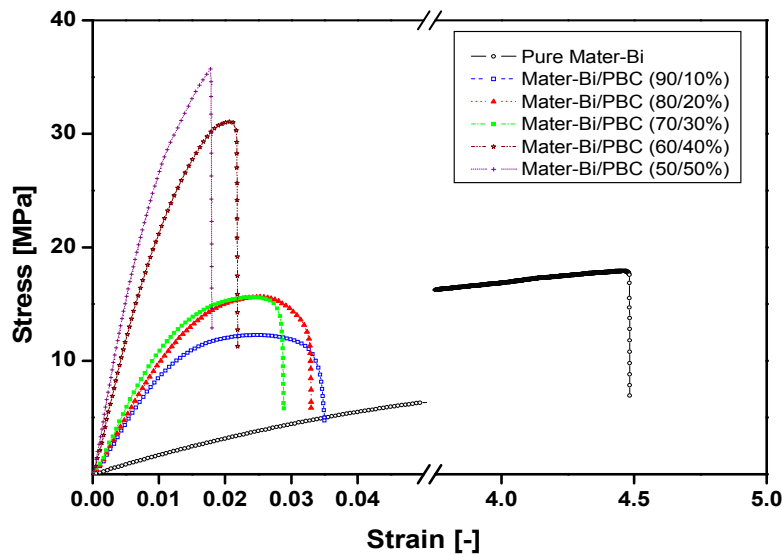
1. Pendahuluan

Masalah polusi lingkungan telah menjadi isu penting karena dalam jumlah besar limbah yang tidak dapat terdegradasi yang dihasilkan akibat penggunaan polimer sintesis berbasis petrokimia. Pengembangan bahan polimer yang ramah lingkungan telah mendapat perhatian yang serius bagi kalangan akademik dan industrialis (Averous, 2004). Biopolimer alam seperti pati dan polisakarida menjadi kandidat pengganti plastic dari minyak bumi. Pati sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam produksi plastic yang dapat terdegradasi karena jumlahnya yang berlimpah di alam dan harga yang murah (Gaspar dkk, 2005). Degradasi atau pembakaran pati menghasilkan daur ulang CO₂ yang diperangkap oleh tumbuhan yang memproduksi pati dan tidak berpotensi pada pemanasan global (Bagley dkk,1977).

Dari total produksi pati di seluruh dunia, 55% diantaranya digunakan sebagai bahan makanan dan sisanya dimanfaatkan sebagai bahan bukan makanan dimana industri kertas di urutan pertama pemakai pati. Pemanfaatan hasil pertanian sebagai bahan mentah pada komposit ditujukan sebagai sebuah metode pengembangan

penggunaan pati pada fraksi bukan makanan (Vazquez dan Alvarez, 2009).

Selulosa bakteri (SB) yang diproduksi melalui pembudidayaan *Acetobacter xylinum* saat ini telah mendapat perhatian yang luas karena sifat-sifatnya yang unik. Kemampuannya menyerap air, derajat kristalinitas yang tinggi, jaringan serat yang halus dengan diameter sekitar 20-100 nm, mengandung selulosa murni tanpa adanya senyawa kimia lain yang terikat sebagaimana lazim ditemukan pada selulosa dari tumbuhan dan kekuatan fisik yang baik membuat bahan ini menjadi primadona dalam pembuatan komposit (Saibuatong dkk.,2010, dan Wan dkk, 2007). Modulus Young's dari lapis isotropik SB adalah 20 GPa (Gea dkk, 2007; Gea dkk, 2010; Yamanaka dkk, 1989) sementara estimasi modulus dari serat tunggalnya yang diukur dengan menggunakan teknik spektroskopi Raman adalah sekitar 130 GPa (Eichhorn dkk, 2010). Oleh karena itu SB telah digunakan secara ekstensif di dalam berbagai bidang meliputi bidang kesehatan seperti pembalut luka, pencangkakan, bahan pembawa obat dan *scaffold* pada rekayasa jaringan. Karena sifat ekspansi termalnya yang rendah sekitar 10⁻⁷ ± 10⁻¹ sehingga bahan ini juga baik digunakan sebagai bahan kontak lensa (Dahman dkk, 2009).



Gambar 1. Kurva tegangan-regangan Mater-Bi dan bionanokomposit Mater-Bi/PSB pada kelembaban relative 55%

Termoplastik pati diperoleh dari pati alam yang susunan kristalnya didestruksi dengan bantuan bahan pemlastis seperti air, gliserol dan polyol lainnya (Mathew dkk, 2003). Sifat mekanik yang berbeda dapat diperoleh bergantung pada kandungan bahan pemlastis dan juga jenis dari pati berasal (van Soest dan Essers, 1997). Akan tetapi, komposit berbasis pati mempunyai beberapa kelemahan seperti rendahnya kestabilan secara termal diakibatkan oleh sifatnya yang higroskopis dan tingginya tingkat kesulitan dalam pemrosesan karena rendahnya sifat mekanik (Hulleman dkk, 1998). Untuk mengatasi kekurangan ini, penggabungan pati yang terplastisasi dengan polimer yang dapat terdegradasi dapat dilakukan untuk memperoleh bahan yang lebih kuat, murah dan sifat serap air rendah.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan-bahan

Pada penelitian ini, strain *Acetobacter xylinum* yang akan digunakan disumbangkan dari Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FMIPA IPB Bogor. Bahan kimia yang digunakan untuk budidaya adalah glukosa, ammonium sulfat, kalsium dihydrogen orthofosfat, magnesium sulfat dan ekstrak ragi. Asam asetat glasial dimanfaatkan untuk membuat kondisi asam pada medium hingga pH = 4. Pada proses purifikasi digunakan natrium hidroksida dan natrium hipoklorida. Semua bahan kimia di atas diperoleh dari VWR International. Supaya gel SB tidak melekat pada saat dicetak-tekan dan juga untuk memperoleh permukaan kertas yang halus, kawat halus 200 mesh digunakan.

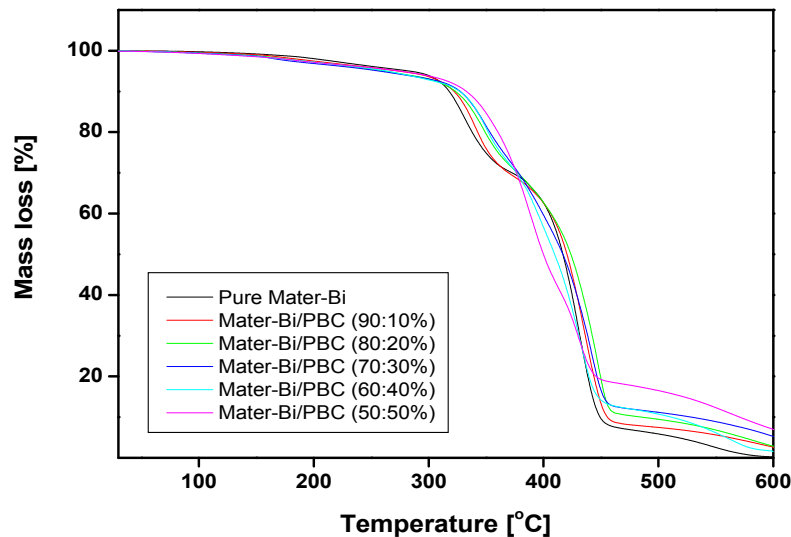
2.2. Cara kerja

Persiapan Sampel

Medium A yang digunakan untuk menumbuhkan gel SB disiapkan. Setiap 1 liter air dimasukkan 50 g glukosa, 5 g ammonium sulfat, 4 g kalsium dihydrogen ortofosfat, 25 g ekstrak ragi dan 1 g magnesium sulfat. Medium A ini disterilisasi menggunakan *autoclave* pada 121°C selama 30 menit. Setelah didinginkan, ke dalam medium ditambahkan asam asetat glasial sehingga pH dari menjadi 4. Setelah 24 jam, medium diinokulasi dengan *Acetobacter xylinum* dan dibiarkan selama 15 hari sampai terbentuk gel SB di atas permukaan medium. Gel yang terbentuk ini dibersihkan dan dipurifikasi dengan 2.5% NaOH selama satu malam. Setelah dibilas dengan air mengalir, gel SB kemudian direndam ke dalam NaOCl 2.5% selama satu malam. Gel SB yang bersih diblender selama 3(tiga) menit sampai menjadi bubur. Bubur SB ditiris sehingga semua air yang dikandung akan keluar. Setelah kering, kemudian dihaluskan dengan grinder untuk memperoleh partikulat SB. Partikulat SB ini kemudian dicampurkan dengan Mater-Bi pada berbagai perbandingan menggunakan mini-extruder pada suhu 160°C selama 10 menit.

Karakterisasi

1. Semua spesimen yang diuji sifat mekaniknya dipersiapkan dalam bentuk dumb-bell. Sebelum diuji, spesimen dikontrol kelembabannya dengan meletakkannya ke dalam kontainer yang berisi larutan magnesium nitrat pada suhu kamar sesuai dengan ASTM E104. Kemudian spesimen diletakkan di dalam kontainer tersebut hingga beratnya menunjukkan



Gambar 2. Termogram analisa gravimetri dari Mater-Bi dan bionanokomposit Mater-Bi/PSB pada berbagai fraksi

kesetimbangan (Fang dan Hanna, 2001). Uji modulus Young's dan kemuluran dilakukan dengan menggunakan Instron 5564 dengan kecepatan 50 mm.min⁻¹ dan sel beban 1 kN mengikuti ASTM D638. Ketebalan sampel sekitar 1.19-1.23 mm dengan panjang 30 mm dan setiap sampel diulang 5 kali pengujian.

- Analisa termogravimetri dilakukan menggunakan Perkin Elmer Pyris TGA7 dengan laju scan 20°C/menit pada suhu 20-600°C. Untuk mencegah terjadinya oksidasi dini, seluruh sampel diuji di bawah aliran gas nitrogen.

A JEOL JSM-6300F Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan sampel. Morfologi permukaan putusan sampel setelah uji tarik juga dilakukan. Semua sampel dilapisi dengan lapisan emas dan diamati dengan tegangan akselerasi 10 kV.

3. Hasil dan Pembahasan

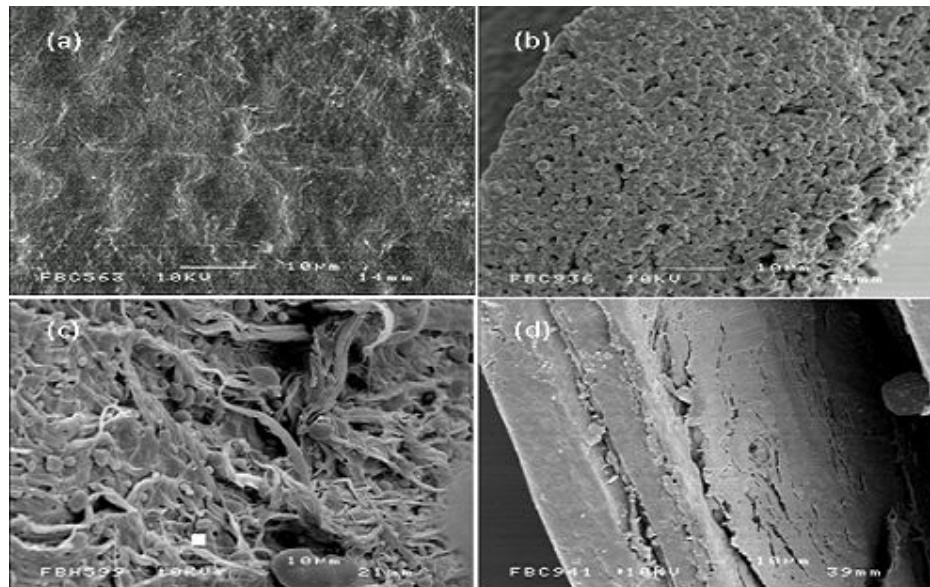
Sifat mekanik Mater-Bi dan bionanokomposit Mater-Bi/PSB termasuk diantaranya modulus Young's, kekuatan tarik dan perpanjangan putus dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1. Seluruh sampel diuji pada kelembaban relative 55%. Dengan penambahan 10% PSB modulus Young's menaik hingga 750% dibanding dengan Mater-Bi murni sebagai matriksnya. Hal ini menunjukkan efektifitas PSB sebagai bahan penguat yang baik bagi Mater-Bi. Kurva tegangan-regangan pada Gambar 1 juga menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume PSB, kekuatan tarik dari bionanokomposit semakin meningkat. Kenaikan ini erat kaitannya dengan bertambahnya jumlah ikatan hydrogen yang disumbangkan oleh PSB sehingga

disertai dengan semakin membaiknya interaksi permukaan serat penguat-matriks (Alvarez dkk, 2007).

Table 1. Sifat mekanik Mater-Bi and bio-nanokomposit Mater-Bi/PSBs (E = Modulus Young's, σ = kekuatan tarik, ϵ = perpanjangan putus).

Sampel Mater-Bi/PSB [%]	E [MPa]	σ [MPa]	ϵ [-]
100/0	122 ± 17.7	17.6 ± 3.4	4.48 ± 1.02
90/10	916 ± 36.5	13.62 ± 3.1	0.0038 ± 0.007
80/20	1104.97 ± 44.2	15.62 ± 4.1	0.0032 ± 0.008
70/30	1266.70 ± 53.3	15.79 ± 3.9	0.029 ± 0.008
60/40	2981.52 ± 102.3	31.25 ± 5.2	0.022 ± 0.005
50/50	3092.27 ± 121.0	35.67 ± 6.7	0.016 ± 0.002

Degradasi termal Mater-Bi dan bionanokomposit dilaporkan pada Gambar 2. Termogram Mater-Bi dapat dilihat pada 2 (dua) titik yaitu 312 °C dan 412 °C. Transisi pertama dikaitkan dengan degradasi pati (Puglia dkk, 2003) dan suhu yang khas untuk pematihan ikatan glikosida pada satuan glukosa yang terdapat di dalam PSB dan dan Mater-Bi. Transisi kedua dikaitkan dengan kehadiran bahan aditif yang terdapat di dalam Mater-Bi itu sendiri. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 termogram Mater-Bi/PSB (70:30%), degradasi termal pada 360°C dapat dikaitkan dengan dekomposisi dari α -selulosa (Alvarez dan Vázquez, 2004; Shaeb dan Jog, 1999) yang terdapat di dalam PSB. Semakin besar fraksi volume PSB,



Gambar 3. Foto SEM permukaan lapisan terluar dan permukaan potongan Mater-Bi (a dan b), permukaan lapisan terluar dan permukaan potongan bionanokomposit Mater-Bi/PSB (c dan d).

semakin tinggi kestabilan termal dari bio-nanokomposit. Di akhir proses analisa termogravimetri kelihatan bahwa Mater-Bi terdegradasi dengan sempurna. Namun, massa sisa pembakaran bionanokomposite Mater-Bi/PSB semakin meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume PSB. Hal ini sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan Puglia dkk (2003) dimana kestabilan termal dari Mater-Bi akan dipengaruhi oleh kehadiran serat selulosa di dalam bionanokomposit.

Penambahan PSB ke dalam Mater-Bi yang mengandung poly(vinyl alcohol) sebagai pemlastis untuk pembuatan bionanokomposit Mater-Bi/PSB menunjukkan perubahan morfologi pada lapisan terluar dan permukaan patahan pada sampel sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Permukaan terluar Mater-Bi kelihatan menyisakan banyak rongga kosong yang menjelaskan sifat mekanik Mater-Bi murni sangat rendah. Jaringan serat yang terdapat pada PSB dapat mengikat Mater-Bi sehingga serat penguat dapat terdispersi secara merata pada seluruh bagian dari sampel seperti terlihat pada Gambar 3 (c). Serat PSB ini juga yang berperan meningkatkan kemampuan perpanjangan putus dari sampel volume partikulat selulosa bakteri dengan kisaran 0-600°C dan kecepatan pemanasan 20°C/menit

4. Kesimpulan

Pengaruh penambahan PSB dalam berbagai fraksi volume ke dalam matriks Mater-Bi telah diteliti. Sifat mekanik, termal, dan morfologi dari Mater-Bi berubah secara signifikan dengan penambahan PSB. Termal degradasi dari Mater-Bi murni terjadi pada dua transisi, yaitu pada 312°C oleh degradasi pati dan 412°C oleh degradasi bahan aditif yang terdapat di dalam Mater-Bi. Namun, setelah penambahan PSB degradasi termal terjadi pada 360°C

yang dapat dikaitkan dengan terjadinya dekomposisi dari α -selulosa.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih disampaikan kepada Rektor Universitas Sumatera Utara atas penyediaan dana melalui Dana Masyarakat Penelitian USU T.A 2011 No: 36/UN5.2.3.1/SP4/PPM/2011.

Daftar Pustaka

- Alvarez, V. A., Ruseckaite, R. A., dan Vázquez, A. 2007. Aqueous degradation of Mater-Bi Y-sisal fibers biocomposites. *Journal of Thermoplastic Composites Material* (20): 291-303.
- Alvarez, V., Vázquez, A. 2004. Thermal degradation of celluloses derivatives/starch blends and sisal fibre biocomposites. *Polymer Degradation and Stability* (84): 13-21.
- Avérous, L. 2004. Biodegradable multiphase system based on plasticized starch. *Journal of Macromolecule Science* (44): 231-274.
- Bagley, E. B., Fanta, G. F., and Burr, R. C., Doane, B. M., and Russel, C. R. 1977. Graft copolymers of polysaccharides with thermoplastic polymers. A new type of filled plastic. *Polymer Engineering Science* (17): 311-316.
- Dahman, Y., 2009. Nanostructured biomaterials and biocomposites from bacterial cellulose nanofibers. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (9): 5105-5122.

- Eichhorn, S. J., Dufresne, A., Aranguren, M., Marcovich, N. E., Capadona, J. R., Rowan, S. J., Weder, C., Thielemans, W., Roman, M., Renneckar, S., Gindl, W., Veigel, S., Keckes, J., Yano, H., Abe, K., Nogi, M., Nakagaito, A. N., Mangalam, A., Simonsen, J., Benight, A. S., Bismarck, A., Berglund, L. A., dan Peijs, T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. *Journal of Material Science* (45): 1-33.
- Fang, Qi, Hanna M. A. 2001. Characteristic of biodegradable Mater-Bi®-starch based foams as affected by ingredient formulations. *Industrial Crops and Products* (13): 219-227.
- Gaspar, M., Benko, Zs., Dogossy, G., Reczey, K., dan Czigan, T. 2005. Reducing water absorption in compostable starch-based plastics. *Polymer Degradation and Stability* (90): 563-569.
- Gea, S., Billotti, E., Reynolds, C. T., Roohpur, N., Soykeabkeaw, N., dan Peijs, T. 2010. Biodegradable composites based on poly (ϵ -caprolactone) and Bacterial Cellulose as a reinforcing agent. *Journal of Biobased material and Bioenergy* (4): 384-390.
- Gea, S., Torres, F. G., Tronscoso, O. P., Reynolds, C. T., Vilasecca, F., Iguchi, M., dan Peijs, T. 2007. Biocomposites based on bacterial cellulose and apple and radish pulp. *International Polymer Processing* 22(5): 497-501.
- Hulleman, S. D, Jansen F. P, dan Fei H. 1998. The role of water during plasticization of native Starch. *Polymer* 39(10): 2043-204.
- Mathew, A. P., dan Dufresne, A. 2003. Plasticised waxy maize starch: effects of polyols and relative humidity on materials properties. *Biomacromolecules* (3): 1101-1108.
- Puglia, A., Tomassucci, A., dan Kenny, J. M. 2003. Processing, properties, and stability of biodegradable composites based on Mater-Bi and cellulose fibres. *Polymer for Advanced Technologies* (14): 749-756.
- Shaeb, N. D. dan Jog, J. P. 1999. Natural fibre polymer composites: a review. *Advance in Polymer Technology* (18): 351-363.
- Saibuatong, O., dan Philasapong, M. 2010. Novo aloe vera-bacterial cellulose composite film from biosynthesis. *Carbohydrate Polymer* (79): 455-460.
- Wan, Y.Z., Hong, L., Jia, S.R., Huang, Y., Zhu, Y., Wang, Y.L., dan Jiang, H.J. 2006. Synthesis and characterization of hydroxyapatite-bacterial cellulose nanocomposites. *Composites Science and Technology* (66): 1825-1832.
- Van Soest J. J, dan Vliegenthart, J. F. 1997. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends in Biotechnology* 15(6): 208-213.
- Vazquez, A., dan Alvarez, V. A. 2009. Starch-cellulose fiber composite. In: Yu, L (editor). *Biodegradable polymer blends and composites from renewable resources*. Wiley, New Jersey, p. 241-286.
- Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsuhashi, Y., dan Nishi, Y. 1989. The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. *Journal of Material Science* (24): 3141-3145.