

PREPARASI DAN KARAKTERISASI BAHAN KOMPOSIT POLIPROPILENA DENGAN PENGISI SERAT LIMBAH PADAT (*FIBRE RECOVERY*) DARI PABRIK PULP DAN KERTAS

Oleh:
Abubakar, M.Si¹

Abstract

The research of preparing biodegradable composite materials from polypropylene (PP) filled by fibre recovery (FR) from solid waste pulp and paper mill with meleic anhydride (MAH) as coupling agent and benzoil peroxide (BPO) as initiator has been examined. In this study, fillers composition were variaed (PP:FR)%. Composites were obtained by reflux at 170°C for 3 hour and formed to film. The charaterization were done by tensile test, DTA, FT-IR, SEM, and biodegradable test. The result showed that the optimum ratio of composite PP-FR was (90:10)% with tensile strength 17.7 MPa. The tensile strength increased by adding 3% MAH, obtained optimum tensile strength 20.9 MPa at ratio (60:40)% and by adding BPO, the tensile strength more increased to 24.0 MPa at optimum ratio (70:30)%. The reason for this improvement was detected by FT-IR studies of esterification reactions between PP-MAH with filler FR. SEM studies of the surface showed better dispersion of fibres in the matrix, a more effective wetting of fibres by the matrix, and a better adhesion between the two phases. DTA result showed decreasing of decomposition temperature of composite materials.

Key words : Polypropylene, fibre recovery, meleic anhydride

Pendahuluan

Komposit polipropilena dengan serat kayu (*fibre wood*) dapat digunakan sebagai pengganti bahan komposit konvensional yang mahal dan kurang bersahabat dengan lingkungan. Komposit polipropilena dengan penguat serat kayu mempunyai kelemahan, seperti: adhesi antarmuka yang rendah, keseimbangan *impact* yang rendah, dispersi serat tidak homogen dan rentan terhadap air. Hal ini dapat diatasi dengan pemakaian *coupling agent* seperti asam maleat anhidrat, isosianat, silena, dan lain-lain.². Penambahan alat bantu dispersi atau *coupling agent* efektif mendispersikan

¹Abubakar, M.Si adalah dosen Kopertis Wil. I Dpk. FKIP UMTS Padangsidimpuan

² Bledzki, A. K., Gassan, J. 1999. *Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres*. Prog. Polym. Sci. 24, p 221–274.

serat di dalam termoplastik³. Industri komposit plastik serat didasarkan pada landasan pemikiran pada penggunaan bahan biaya rendah (pengisi dan penguat) terhadap pembuatan bahan komposit. Polipropilena adalah matriks polimer yang dapat didaur ulang sedangkan serat kayu (*fiber wood*) diperoleh dari sumber yang dapat diperbaharui dan dapat terbiodegradasi. Dewasa ini, komposit plastik serat kayu digunakan secara luas dalam industri otomotif dan dalam pabrikasi bermacam barang konsumsi.

Serat kayu yang merupakan serat alami (*natural fiber*) sebagai penguat (*reinforcement*) polipropilena mempunyai keuntungan dibandingkan dengan *fiber glass*, yaitu biaya rendah, berat jenis (*density*) rendah, mempunyai kekakuan dan ekuatan yang spesifik, sifat termal yang baik, mempunyai nilai tambah dari hasil produksi pertanian yang rendah dan bersahabat dengan lingkungan seperti *recovery* energi dengan pembakaran yang bersih dan biodegradasi⁴. Penelitian tentang pemakaian serat lignin selulosa berpotensi untuk digunakan sebagai pengisi di dalam termoplastik⁵. Keuntungan yang utama menggunakan serat lignin-selulosa sebagai bahan tambahan di dalam plastik karena bersifat densitas rendah, biaya rendah, tidak bersifat abrasif, kemungkinan sebagai pengisi (*filler*) yang tinggi, mempunyai sifat spesifik yang tinggi, biodegradabilitas, ketersediaan serat yang banyak, dan generasi ekonomi agrokultur⁶. Serat alami, yang secara tradisional digunakan untuk pengisi dan penguat termoset, kini dengan pertumbuhan yang lebih cepat sebagai bahan tambahan untuk termoplastik⁷.

Serat konvensional seperti gelas/ kaca, karbon, aramid, dan lain-lainnya, dapat dihasilkan dengan suatu kisaran sifat yang terbatas sedangkan serat alam mempunyai kisaran sifat yang sangat bervariasi⁸. Di dalam komposit, serat bertindak sebagai

³ Woodhams, R. T., Law, S., dan Balatineez, J. J. 1990. *Properties and Possible Applications of Wood Fiber-Polypropylene Composites*. Proceedings Symposium on Wood Adhesives. Madison,.

⁴ Ibid

⁵ Aquino, R. C. M. P., D' Almeida, J. R. M., dan S. N. Monteiro. 2001. *Mechanical Behavior of Cellulignin Based Composites*. Journal of Material Science 36(1): pp. 231-236.

⁶ Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Jacobson, R. E., dan Rowell, R. M. 1995. *Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics: Mechanical Properties of Kenaf Fiber-Polypropylene Composites*. Ind. Eng. Chem. Res. 34 (5): pp. 1889- 1896

⁷ Mohanty, A. K., Misra, M., and Drzal, T. 2002 a. *Engineered Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Influence of Surface Modifications and Novel Powder Impregnation Processing*. J. Adhesion Sci. Technol 8(16): pp. 999-1015.

⁸ Bledzki, A. K., Reihmane, S., and Gassan. J. 1996. *Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers for Natural Fiber Composites*. Journal of Applied Polymer Science 8(59): pp. 1329-1336.

penguat dengan penambahan kekuatan dan kekakuan dari struktur komposit yang dihasilkan⁹.

Serat kayu dari *fibre recovery* (FR) adalah pengambilan kembali serat (*fibre*) yang terdapat dalam air limbah pabrik pulp dan kertas, di mana dalam air limbah buangan pabrik pulp dan kertas masih banyak mengandung serat yang bisa dimanfaatkan dan juga dapat mengurangi beban limbah padat (*solid waste*) yang dihasilkan pengolahan limbah, yang tentunya ini mengurangi pembuangan limbah pada ke tempat pembuangan (*landfill*). Proses *fiber recovery* dilakukan dengan memompakan air limbah ke bak pengendap (basin) dan kemudian endapan (*sludge*) dipompakan ke mesin *belt press* (dewatering machine) dan *screw press* pada proses pengolahan limbah (waste water treatment). *Fiber recovery* mempunyai harga jual sangat rendah dibandingkan dengan pulp yang dihasil langsung dari pabrik pulp. Dengan demikian *fiber recovery* yang sebelumnya dipakai sebagai bahan baku pembuatan kertas atau karton mutu rendah, bisa sebagai alternatif penggunaannya untuk serat pengisi (*filler*) komposit polipropilena. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembuatan dan karakterisasi dari komposit polipropilena dengan pengisi serat kayu (*fibre recovery*) dari limbah pabrik pulp dan kertas.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah serat kayu (*fibre recovery/FR*) yang diperoleh dari pengolahan limbah padat PT. Indah Kiat Pulp and Paper Tbk. Perawang Riau dan Polipropilena (PP) komersial, bahan kimia yang digunakan adalah Asam maleat anhidrat (MAH), Silena dan Benzoil peroksida (BPO) dan Aseton (Merck).

Metode Penelitian

Pembuatan Bahan Komposit

Serat kayu (*fiber recovery, FR*) sebelum diproses, FR dicuci, dibersihkan kotorannya kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 48 jam. FR tersebut dihaluskan dan dianalisis morfologi dan sifat kimianya. Matriks PP disiapkan dengan melarutkannya dalam silena dengan perbandingan 1 : 15, kemudian diaduk dan dipanaskan pada suhu 175°C.

Pencampuran PP dan FR dengan penambahan asam maleat anhidrat (MAH) dan benzoil peroksida (BPO) dilakukan dengan menggunakan metode refluks dengan pelarut silena pada suhu 175°C selama 3 jam. Perbandingan antara PP : FR adalah 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 (% w/w). MAH yang diberikan adalah 3 % dari berat pencampuran (PP : FR) sedangkan BPO yang diberikan adalah 1 % dari berat MAH yang ditambahkan.

Pembuatan Film

Alat *hot press* diatur pada temperatur 175°C. Campuran ditimbang sebanyak 10 gram dan diletakkan di tengah cetakan yang berada dua *glassy plate*. Kemudian dimasukkan ke tempat sampel pada alat *hot press* dan dibiarkan selama 5 menit. Setelah itu diberi tekanan 50 kgf/cm² dan dibiarkan selama 5 menit. Sampel diambil

⁹ Oksman, K., dan C. Clemons. 1998. *Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene-Wood Flour Composites*. Journal of Applied Polymer Science 67: pp. 1503-1513

dari alat *hot press* dan didinginkan. Perlakuan ini dilakukan untuk semua komposisi campuran.

Analisis dan Karakterisasi

Film campuran polimer-serat digunakan untuk karakterisasi spektra FT-IR, SEM, dan uji sifat mekanik. Pengambilan foto permukaan campuran untuk melihat sifat morfologi komposit yang dilakukan dengan alat SEM. Alat uji sifat mekanik dengan menggunakan alat *Tensile Meter Testing Machine* untuk uji tarik.

Hasil dan Pembahasan

Analisa morfologi dan sifat kimia dari serat limbah pabrik pulp dan kertas (*fibre recovery*) dilakukan di Laboratorium Balai Selulosa, Bandung, yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa Morfologi dan Kimia dari Serat Limbah Pulp dan Kertas (Fiber Recovery)

No.	Parameter	Hasil Uji (%)	Metode Uji
1.	Kadar Abu	3,15	SNI 14-1031-1989
2.	Kadar Lignin (Metode Klason)	2,15	SNI 14-0492-1990
3.	Kadar Sari	2,57	SNI 14-1032-1989
4.	Kadar α -Selulosa	77,41	SNI 14-0444-1989
5.	Kadar Total Selulosa	91,50	Metoda Internal BBPK
6.	Kadar Pentosan sebagai Hemiselulosa	14,09	SNI 01-1561-1989
7.	Panjang Serat	0,525 mm	SNI 01-1840-1990
8.	Diameter	19,10 μ m	SNI 14-4350-1996

Dari hasil analisa morfologi dan kimia serat limbah pulp dan kertas (*fibre recovery*) menunjukkan kadar selulosa yang tinggi di mana kadar α -selulosa 77,41 % dan total selulosa 91,50 %. Hasil analisa morfologi menunjukkan bahwa panjang serat 0,525 mm dan diameter serat 19,10 μ m.

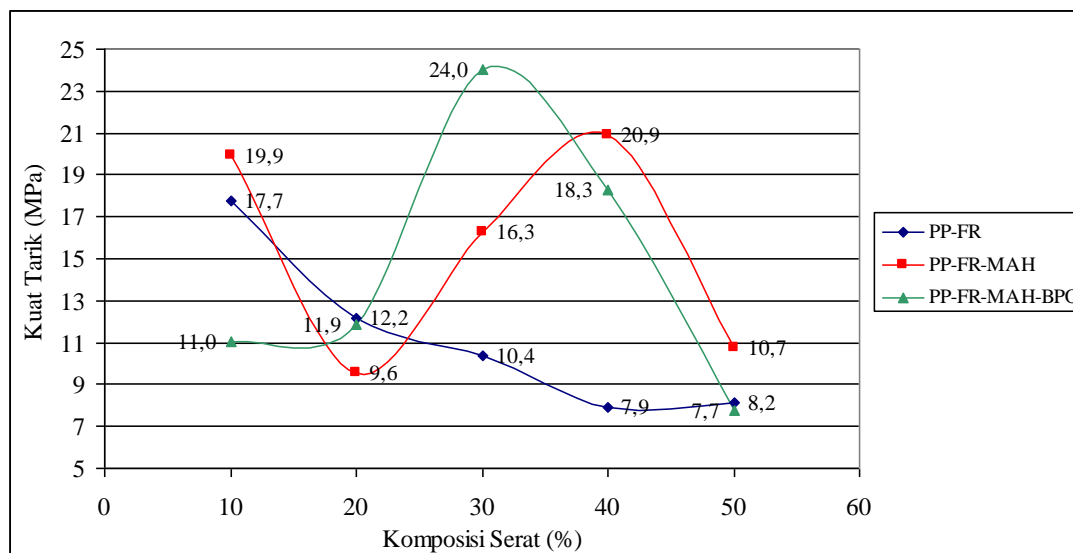
Karakterisasi Fisika dan Kimia Komposit PP dan FR

Karakterisasi ini terbagi secara fisika dan kimia, di mana secara fisika diperiksa sifat kekuatan mekanis dan gambaran permukaan bahan, sedangkan secara kimia diperiksa adanya gugus-gugus fungsi dan ikatan-ikatan yang terbentuk dan sifat degradasi bahan.

Uji Tarik

Dari hasil perhitungan kekuatan tarik dan kemuluran dengan variasi kandungan matriks dan bahan pengisi, maka diketahui bahwa dengan perbandingan PP dan FR (90:10)% diperoleh sifat mekanis yang optimum. Dengan penambahan bahan penghubung (MAH) sebanyak 3 % diketahui bahwa perbandingan PP dan FR (60:40)% merupakan perbandingan yang paling baik sifat mekanisnya. Sedangkan dengan penambahan bahan pemicu (BPO) sebanyak 1 % dari MAH, diketahui bahwa

perbandingan PP dan FR (70:30)% menunjukkan sifat mekanis yang paling baik. Dari grafik (Gambar 1) di bawah tampak bahwa secara keseluruhan, yang memiliki sifat mekanis paling baik adalah komposit dengan perbandingan PP dan FR (70:30)% dengan penambahan MAH dan BPO yang memiliki kekuatan tarik 24,0 MPa, sehingga tampak bahwa penambahan *coupling agent* dan inisiator memiliki peranan yang besar terhadap proses pengolahan dan hasil yang diperoleh.



Gambar 1. Grafik Hasil Pengukuran Kuat Tarik Spesimen Komposit dengan Variasi Komposisi Serat

Pencampuran PP dengan *fibres recovery* dan dengan penambahan MAH sebagai kompatibilitas menghasilkan bahan komposit yang lebih baik dibanding tanpa MAH. Ini terbukti dari data yang menunjukkan bahwa kekuatan uji tariknya lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena adhesi antar muka antara serat dengan matriks lebih baik dibandingkan tanpa modifikasi kimia antara serat dengan matriks¹⁰. Gassan, dkk., juga melaporkan meningkatnya kekuatan uji tarik komposit PP dengan serat¹¹. dan Karmaker, dkk., melaporkan kekuatan uji tarik meningkat dengan terbentuknya ikatan kovalen karena penambahan MAH sebagai pengkopling. Dari hasil uji tarik di atas, diambil perbandingan spesimen dengan kekuatan terbaik untuk dilakukan analisis selanjutnya.

Uji FT-IR

Dari spektrum PP, terdapat bilangan gelombang yang khas yaitu pada pita dengan bilangan gelombang $2951,63 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus CH alifatik yang didukung sidik jari pada $1458,69$ dan $1376,28 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan

¹⁰ Felix, J. dan Gatenholm, P. 1991. *The Nature of Adhesion in Composites of Modified Cellulose Fibers and Polypropylene*. J. Appl. Polymer Sci. **42**, 609.

¹¹ Gassan, J. dan Bledzki, A. K. 1997. *The Influence of Fibre-Surface Treatment on the Mechanical Properties of Jute-Polypropylene Composites*. Composites **A28**, 1001

adanya gugus CH_3 dan pada bilangan gelombang $997,62 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus CH alkena.

Pada spektrum hasil analisa FT-IR komposit PP-FR menghasilkan serapan baru yakni pada $3340,63 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus $-\text{OH}$, pada $1166,93 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus C-O , dan pada $2839,82 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus C-H (aldehid). Ketiga gugus ini berasal dari bahan pengisi serat (*fibre recovery*) yang ditambahkan yaitu pada atom C_6 . Ini berarti terdapat perbedaan yang nyata dari hasil spektrum PP komersil. Hanya saja pada spektrum ini serapan C-O masih lemah yang menandakan bahwa belum terjadi interaksi kimia antara PP dan FR. Pada perlakuan ini hanya terjadi interaksi fisika yang kemungkinan berupa ikatan hidrogen antara rantai polimer matriks dan pengisi.

Spektrum FT-IR pada analisa PP-FR-MAH menghasilkan serapan baru yakni pada $1715,95 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus C=O . Gugus ini berasal dari asam maleat anhidrida (MAH) yang ditambahkan pada campuran sebagai *coupling agent* yakni pada gugus karboksilatnya. Selain itu terjadi pergeseran serapan dari bilangan gelombang $1166,93 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1165,88 \text{ cm}^{-1}$ dan penguatan pada bilangan gelombang $1059,89 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1058,88 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang lebih tinggi. Ini merupakan gugus C-O asimetris yang bertambah jumlahnya dari gugus karboksilat pada asam maleat anhidrida. Dengan adanya pemanasan, ikatan C-O-H akan terputus dan menghasilkan ikatan baru berupa gugus eter sehingga melepaskan molekul air. Pergeseran ini juga bisa terjadi karena terbentuknya ikatan antara gugus eter pada maleat anhidrida dengan gugus $-\text{OH}$ pada rantai pengisi FR. Reaksi ini juga menghasilkan gugus eter baru dan melepaskan molekul air. Ini sebabnya pada komposit PP-FR-MAH dapat dikatakan terdapat ikatan kimia. Dengan demikian, MAH yang dipakai dalam komposit ini bekerja dengan baik sebagai *coupling agent*.

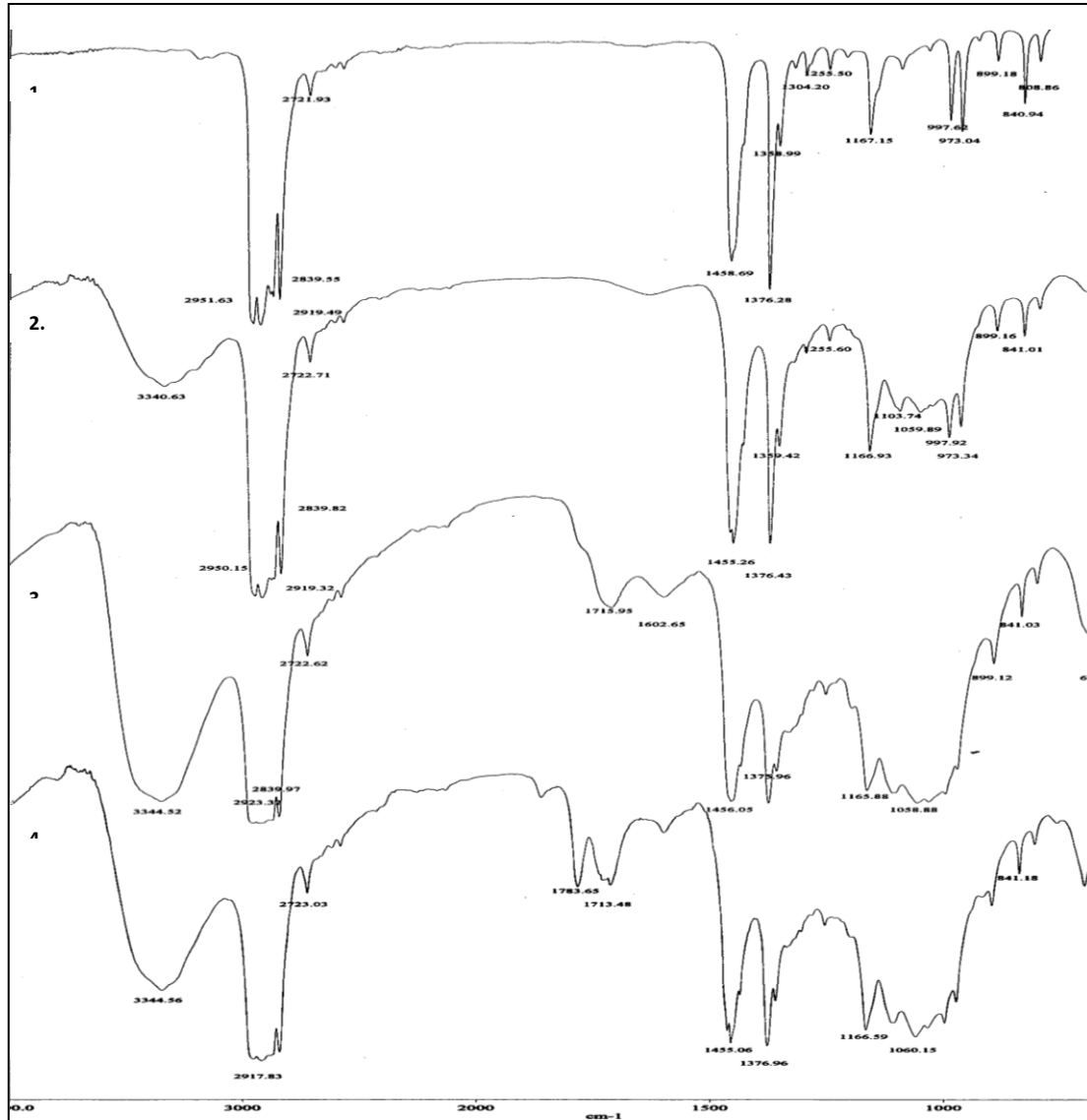
Reaksi esterifikasi antara PP-MAH dan serat yang diteliti dalam larutan dengan adanya suatu katalis dan reaksi yang terbentuk menunjukkan fakta bahwa terbentuk pita serapan baru sekitar $1729-1750 \text{ cm}^{-1}$ pada spektroskopi IR¹² dan pita serapan pada $1710-1725 \text{ cm}^{-1}$ adalah gugus karbonil dari karboksilat¹³. Dalam penelitian ini juga menunjukkan hasil analisa FT-IR untuk komposit PP-FR-MAH-BPO memberikan tambahan serapan baru yakni pada bilangan gelombang $1735,00 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus C=O (ester). Gugus ini dimungkinkan berasal dari ikatan yang terbentuk melalui reaksi antara gugus karboksilat dari maleat anhidrida (MAH) dengan gugus $-\text{OH}$ dari selulosa¹⁴. Dengan penambahan BPO pada reaksi pencampuran, maka membantu pemutusan ikatan $-\text{OH}$ pada rantai selulosa FR, sehingga serapannya dapat terdeteksi pada spektrum FT-IR. Ini menjelaskan bahwa semakin banyak ikatan kimia yang terbentuk pada komposit PP-FR-MAH-BPO dibandingkan pencampuran sebelumnya dan BPO yang dipakai dalam komposit ini bekerja dengan baik sebagai inisiator.

¹² Felix, ibid

¹³ Yang, C. Q. 1993. *Infrared Spectroscopy Studies of the Effects of the Catalyst on the Ester Cross-Linking of Celluloses by Poly(carboxylic acids)*. Journal of Applied Polymer Science 50: 2047 – 2053

¹⁴ Zhang, F., Endo, T., dan Hirotsu, T. 2005. *Effect of Maleated Polypropylene on the Performance of Polypropylene/ Cellulose Composites*. Polymer Composites, hal: 448 – 453

Dari hasil analisa FT-IR dapat disimpulkan bahwa anhidrida dari MAPP berinteraksi dengan serat melalui ikatan hidrogen dan ikatan ester, sehingga berperan penting untuk memperbaiki adhesi antara serat dan matriks PP¹⁵.



Gambar 2. Spektrum IR Komposit Polipropilena

Uji DTA

Hasil analisis termogram DTA bahan komposit dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bahan Komposit Menggunakan DTA

¹⁵ Paunikallio, T., Kasanen, J., Suvanto, M., dan Pakkanen, T. T. 2003. *Influence of Maleated Polypropylene on Mechanical Properties of Composites Made of Viscose Fiber and Polypropylene*. Journal of Applied Polymer Science, Vol 87, 1985-1900.

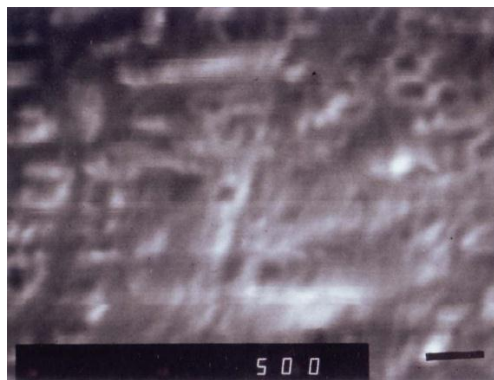
No.	Spesimen	Temperatur Leleh (°C)	Temperatur Dekomposisi (°C)
1.	PP	165	420
2.	PP-FR	165	390
3.	PP-FR-MAH	165	370
4.	PP-FR-MAH-BPO	165	350

Dari termogram DTA PP tanpa pengisi memperlihatkan adanya puncak pada temperatur 165°C. Puncak ini merupakan temperatur leleh yang terjadi dengan adanya penurunan temperatur (endoterm) dan adanya puncak pada temperatur 420°C merupakan temperatur dekomposisi yang terjadi dengan adanya kenaikan temperatur (eksoterm). Sedangkan termogram DTA PP-FR menunjukkan temperatur leleh pada 165°C dan terdekomposisi pada 390°C. Temperatur dekomposisi komposit menurun karena adanya serat (fiber recovery).

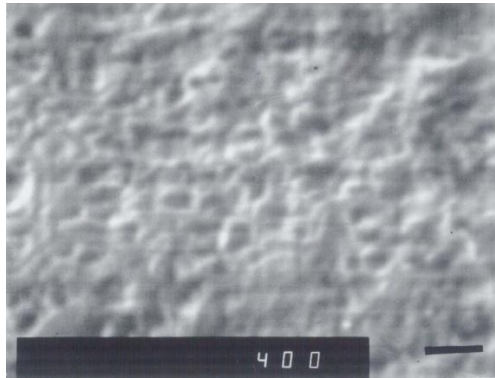
Pada komposit campuran PP-FP-MAH memperlihatkan temperatur leleh pada 165°C dan temperatur dekomposisi pada 370°C. Sedangkan PP-FP-MAH-BPO memperlihatkan temperatur leleh pada 165°C dan temperatur dekomposisi pada 350°C. Di sini juga terjadi penurunan temperatur dekomposisi dibandingkan dengan PP dan komposit PP-FR. Dari hasil uji DTA, secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa penurunan temperatur dekomposisi disebabkan kompatibilitas yang baik antara matriks dengan serat di mana penambahan MAH dan BPO dengan nyata meningkatkan interaksi antara matriks dan serat.

4.2.4. Uji SEM

Gambar di bawah ini adalah foto SEM permukaan spesimen PP yang diperbesar 400 kali. Dari Gambar 3 memperlihatkan polimer PP 100 % yang permukaannya memiliki sedikit serat dan merata serta tidak mempunyai pori-pori, hal ini membuktikan bahwa polimer PP dapat dijadikan sebagai film dan botol plastik yang kedap udara dalam industri kemasan.

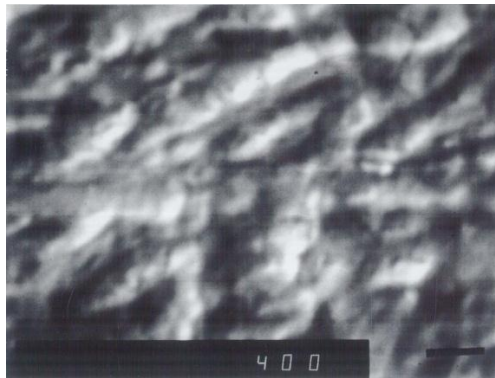


Gambar 3. Foto SEM Permukaan PP

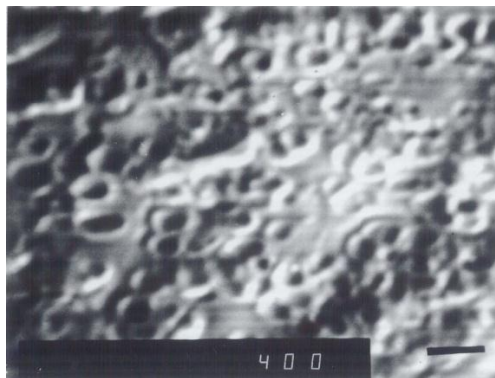


Gambar 4. Foto SEM Permukaan PP-FR

Dari Gambar 4 di atas adalah foto SEM mikroskopi permukaan komposit polipropilena dengan pengisi serat limbah industri pulp dan kertas (PP-FR) yang memperlihatkan bahwa permukaan yang menonjol adalah serat limbah industri pulp dan kertas (*fibre recovery*), hal ini menunjukkan bahwa komposit PP-FR belum kompatibel dan juga didukung uji tarik dan uji FT-IR.



Gambar 5. Foto SEM Permukaan PP-FR-MAH



Gambar 6. Foto SEM Permukaan PP-FR-MAH-BPO

Gambar 5 adalah foto SEM permukaan komposit polipropilena dengan pengisi serat limbah padat industri pulp dan kertas dan *coupling agent* maleat anhidrida (PP-FR-MAH) sedangkan Gambar 6 adalah foto SEM permukaan komposit polipropilena dengan pengisi serat limbah padat industri pulp dan kertas dan *coupling agent* maleat anhidrida serta inisiator benzoil peroksida (PP-FR-MAH-BPO). Dari foto mikroskopi

PP-FR-MAH terlihat bahwa antara komposit polimer polipropilena dengan *fiber recovery* belum begitu kompatibel sedang untuk foto mikroskopi PP-FR-MAH-BPO terlihat bahwa serat (*fibre recovery*) lebih merata di seluruh bagian komposit, hal ini disebabkan terjadinya adhesi antar muka antara serat dengan matriks¹⁶. Foto SEM secara jelas dapat memperlihatkan pengaruh *coupling agent* terhadap perubahan adhesi antar muka antara serat dengan matriks¹⁷.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi optimum *fibre recovery* (FR) sebagai penguat komposit termoplastik polipropilena (PP) yang diperoleh adalah 10% dengan kekuatan tarik 17,7 MPa. Dengan penambahan asam meleat anhidrat (MAH) sebagai *coupling agent* diperoleh komposisi FR yang optimum adalah 40% dengan kekuatan tarik 20,9%. Sedangkan dengan penambahan inisiator benzoil peroksida (BPO) diperoleh komposisi FR yang optimum adalah 30% dengan kekuatan tarik 24,0 MPa.
2. Penambahan *coupling agent* MAH mempengaruhi perubahan adhesi antar muka antara serat dengan matriks sehingga dispersi serat lebih merata dan kompatibel. Sifat mekanik komposit menunjukkan peningkatan dengan penambahan *coupling agent* dan semakin baik dengan bantuan inisiator BPO.
3. Secara umum, kekuatan tarik komposit PP dengan pengisi FR menurun jika dibandingkan dengan PP murni dari 28,4 MPa menjadi 17,7 MPa. Namun dengan penambahan aditif MAH dan BPO dapat ditingkatkan menjadi 24,0 MPa. Uji FT-IR dan uji SEM membuktikan bahwa komposit PP-FR-MAH-BPO dapat kompatibel secara fisika dan kimia. Dari uji DTA menunjukkan kelebihan bahan ini yakni lebih mudah terdekomposisi di alam.

¹⁶ Felix, Ibid

¹⁷ Correa, C. A., Razzino, C. A., dan Hage, E. Jr. 2007. *Role of Maleated Coupling Agent on the Interface Adhesion of Polypropylenen-Wood Composites*. Vol. 20, 325-339.

DAFTAR PUSTAKA

- Aquino, R. C. M. P., D' Almeida, J. R. M., dan S. N. Monteiro. 2001. *Mechanical Behavior of Cellulignin Based Composites*. Journal of Material Science 36(1): pp. 231-236.
- Bledzki, A. K., Gassan, J. 1999. *Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres*. Prog. Polym. Sci. 24, p 221–274.
- Correa, C. A., Razzino, C. A., dan Hage, E. Jr. 2007. *Role of Maleated Coupling Agent on the Interface Adhesion of Polypropylenen-Wood Composites*. Vol. 20, 325-339
- Felix, J. dan Gatenholm, P. 1991. *The Nature of Adhesion in Composites of Modified Cellulose Fibers and Polypropylene*. J. Appl. Polymer Sci. 42, 609.
- Gassan, J. dan Bledzki, A. K. 1997. *The Influence of Fibre-Surface Treatment on the Mechanical Properties of Jute-Polypropylene Composites*. Composites A28, 1001
- Mohanty, A. K., Misra, M., and Drzal, T. 2002 a. *Engineered Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Influence of Surface Modifications and Novel Powder Impregnation Processing*. J. Adhesion Sci. Technol 8(16): pp. 999-1015.
- Paunikallio, T., Kasanen, J., Suvanto, M., dan Pakkanen, T. T. 2003. *Influence of Maleated Polypropylene on Mechanical Properties of Composites Made of Viscose Fiber and Polypropylene*. Journal of Applied Polymer Science, Vol 87, 1985-1900
- Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Jacobson, R. E., dan Rowell, R. M. 1995. *Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics: Mechanical Properties of Kenaf Fiber–Polypropylene Composites*. Ind. Eng. Chem. Res. 34 (5): pp. 1889- 1896
- Woodhams, R. T., Law, S., dan Balatineez, J. J. 1990. *Properties and Possible Applications of Wood Fiber-Polypropylene Composites*. Proceedings Symposium on Wood Adhesives. Madison
- Yang, C. Q. 1993. *Infrared Spectroscopy Studies of the Effects of the Catalyst on the Ester Cross-Linking of Celluloses by Poly(carboxylic acids)*. Journal of Applied Polymer Science 50: 2047 – 2053