

**SINTESIS KOMPOSIT SELULOSA SERBUK GERGAJI
KAYU KAMPER-LIMBAH PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLIETHYLENE*)
DENGAN REAGEN FENTON SEBAGAI AGEN PENGKOPLING**

Hudi Nurwendi*, I Nengah Simpen, dan I Made Sutha Negara

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

**E-mail : hudi@nurwendi.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian sintesis komposit selulosa dari serbuk gergaji kayu kamper dengan limbah plastik LDPE (selulosa-LDPE) dengan reagen Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}) sebagai agen pengkopling. Dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu preparasi, variasi (komposisi LDPE dan konsentrasi H_2O_2) dan karakterisasi. Preparasi dilakukan dengan ekstraksi selulosa dari serbuk gergaji dan pemurnian limbah plastik LDPE. Variasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh LDPE terhadap komposisi komposit selulosa-LDPE dan konsentrasi H_2O_2 pada reagen Fenton. Karakterisasi dilakukan dengan uji sifat mekanik dan analisis gugus fungsi dengan FTIR. Dari uji sifat mekanik didapatkan nilai terbaik dengan komposisi selulosa-LDPE 1:5 pada konsentrasi H_2O_2 1,5% yaitu dengan nilai MOE (Modulus of Elasticity) 12,71 MPa, MOR (Modulus of Rupture) 200,24 MPa dan densitas 0,7936 g/cm. Pada analisis dengan FTIR menunjukkan semakin tinggi konsentrasi LDPE semakin meningkat bilangan gelombang gugus fungsi OH, dan peningkatan konsentrasi H_2O_2 meningkatkan bilangan gelombang gugus fungsi C-H.

Kata kunci : Komposit, Serbuk Gergaji, limbah Plastik LDPE, Reagen Fenton

ABSTRACT

This research was on the synthesis of cellulose composites from camphor wood sawdust with LDPE waste (cellulose-LDPE) and Fenton reagent (H_2O_2/Fe^{2+}) as the coupling agent. This study was divided into three steps: preparation, variation of LDPE composition and H_2O_2 concentration, and characterization. Preparation was done with cellulose extraction of sawdust and LDPE plastic waste purification. Variation was performed to determine the effect of compositions of LDPE on composites cellulose-LDPE and H_2O_2 concentration on Fenton reagent. Characterization was done by testing the physical properties and functional groups using FTIR analysis. The best values of the physical property were obtained from cellulose-LDPE composition ratio of 1:5 on 1.5% H_2O_2 . These were MOE (Modulus of Elasticity) of 12.71 MPa, MOR (Modulus of Rupture) of 200.24 MPa and density of 0.7936 g/cm. FTIR analysis showed the higher the composition of LDPE, the higher the wavenumber for OH and the increase of H_2O_2 concentration increased the C-H wavenumber functional groups.

Keywords : Composites, Cellulose Sawdust, Plastic LDPE waste, Fenton Reagent

PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan salah sampah yang banyak menimbulkan masalah dan memerlukan pengelolaan yang sungguh-sungguh. Sifat plastik yang *non-degradable* (tidak mudah terurai) memerlukan pengelolaan yang berbeda

dibandingkan jenis sampah lain yang bersifat *biodegradable* (mudah terurai). Salah satu solusi yang dapat diterapkan dalam pengendalian sampah plastik adalah dengan proses daur ulang (Worrell, 2011). Daur ulang sampah plastik sudah banyak dilakukan, tetapi kebanyakan sampah plastik yang didaur ulang tersebut merupakan sampah plastik

yang keras seperti botol air mineral. Sampah plastik seperti kantong plastik belum banyak dimanfaatkan.

Di sisi lain, banyak industri *meubel* dalam skala rumah tangga belum memanfaatkan limbah serbuk kayu dari produksi, yang di dalamnya terdapat kandungan selulosa. Salah satu jenis kayu yang biasa digunakan untuk *meubel* adalah kayu kamper. Kayu kamper memiliki kandungan 60% selulosa, lignin 26,9%, pentosan 15%, abu 0,8% dan silika 0,6% (Martawijaya, 1981). Selulosa merupakan komponen struktural utama dinding sel dari tanaman hijau. Untuk mendapatkan serat selulosa dari tumbuhan, harus dilakukan beberapa perlakuan untuk mengekstraksi selulosa keluar dari dinding sel tersebut. Karakteristik serat selulosa antara lain muncul karena adanya struktur kristalin dan amorf serta bersifat *hydrophilik* (suka air) dan *biodegradable* (Putera, 2012).

Salah satu proses daur ulang untuk merubah sampah plastik yang tidak termanfaatkan menjadi sesuatu yang berguna dan bernilai adalah dengan membuat komposit. Komposit adalah suatu sistem bahan (material) yang tersusun dari campuran atau kombinasi dari dua atau lebih konstituen makro yang berbeda dalam bentuk atau komposisi bahan dan tidak larut satu dengan yang lainnya (Rowell, 1997). Unsur penyusun suatu bahan komposit terdiri dari matriks dan penguat (*reinforcement*). Bagian dominan yang mengisi komposit disebut dengan matriks, sedangkan bagian yang tidak dominan disebut dengan penguat (Humaidi, 1998).

Permasalahan utama dalam pembuatan komposit kayu dengan plastik adalah rendahnya kompatibilitas antara komponen plastik dan kayu. Plastik merupakan bahan yang bersifat non-polar dan hidrofobik, sedangkan kayu bersifat polar dan menyerap air. Beberapa peneliti telah mengembangkan metode kompatibilitas pada proses pembuatan komposit kayu-plastik. Metode tersebut antara lain adalah penambahan bahan aditif *kompatibiliser* atau *coupling agent* dalam jumlah terbatas dan modifikasi kimia, pelapisan serat dan pencangkakan ko-polimerisasi (Bahruddin dkk., 2011)

Salah satu *Coupling agent* yang dapat ditambahkan adalah reagen Fenton. Reagen Fenton merupakan pereaksi yang terdiri atas hidrogen peroksida (H_2O_2) dan katalis besi (Fe^{2+}). Reagen

Fenton digunakan untuk pengolahan berbagai macam limbah industri yang mengandung senyawa organik (Agustina, 2008).

Karakterisasi komposit selulosa-LDPE dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi (rasio) LDPE dan variasi konsentrasi H_2O_2 terhadap sifat mekanik dan karakteristik terhadap gugus fungsi. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan pengujian berdasarkan pada standar SNI 03-2105-2006 yang meliputi sifat fisik seperti kerapatan dan sifat mekanis seperti modulus patah (MOR) dan modulus elastis (MOE). Uji sifat mekanik, yaitu modulus patah atau *Modulus of Rupture* (MOR) dan modulus elastisitas. Modulus patah merupakan besaran dalam bidang teknik yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh material (dalam hal ini papan komposit) persatuan luas sampai material itu patah. Sementara *Modulus Of Elasticity* (MOE) merupakan besaran dalam bidang teknik yang menunjukkan ukuran ketahanan material (dalam hal ini papan komposit) menahan beban dalam batas proporsi (sebelum patah).

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan komposisi antara selulosa dengan LDPE, variasi konsentrasi H_2O_2 sintesis komposit selulosa-LDPE dan mengetahui karakteristik dengan uji mekanik dan FTIR, maka dilakukan penelitian sintesis komposit selulosa-LDPE dengan reagen fenton sebagai agen pengkopling.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : limbah plastik LDPE, aseton, limbah serbuk gergaji kayu kamper, H_2O_2 , $FeSO_4$, aquades, NaOH, gas nitrogen dan H_2SO_4 .

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, diantaranya: tabung polimerasi, gelas ukur, pipet ukur, pipet volume, labu ukur, gelas beaker, dan Erlenmeyer, neraca analitik, penangas air, corong Buchner, pompa vakum, termometer, *magnetic stirrer*, labu refluks

dan kondensor, desikator, *stopwatch*, dan alat pencetak komposit.

Cara Kerja

Pemurnian Polietilena (PE)

Limbah plastik LDPE diambil dari tempat sampah kemudian dibersihkan dengan air dan diptong kecil-kecil. Film polietilena yang digunakan adalah polietilena limbah plastik transparan. Limbah plastik tersebut kemudian direfluks dengan aseton selama 8 jam pada suhu 57°C untuk menghilangkan bahan pengotor dan aditif yang ada pada film LDPE. Setelah itu, film dikeringkan dalam oven dengan suhu 50°C.

Ekstraksi Selulosa

Sebanyak 30 gram serbuk gergaji kayu kamper hasil preparasi dimasukkan ke dalam 500 mL larutan NaOH 12 %, kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam sambil diaduk, pemanasan selanjutnya di-*bleaching* menggunakan NaCl. Suspensi kristal selulosa dihidrolisis menggunakan katalis asam, yakni sebanyak 20 gram hasil *bleaching* dicampur dengan 175 mL asam sulfat 10% dan diaduk dengan kuat selama 4 jam pada suhu 45°C kemudian didiamkan sampai 24 jam pada suhu kamar, selanjutnya suspensi dinetralisasi dengan NaOH 0,5 N dan disaring (Wittaya, 2009).

Sebanyak 30 gram selulosa hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan 100 mL larutan FeSO₄ 0,1%. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 45°C selama 1 jam. Campuran tersebut dimasukkan lagi ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan larutan H₂O₂ 0,5%; 1,0% dan 1,5%.

Sintesis

Plastik LDPE hasil ekstraksi dilelehkan pada suhu 160°C, setelah meleleh dicampur dengan selulosa dengan reagen Fenton dan dialiri gas nitrogen untuk menghilangkan oksigen. Selanjutnya, komposit dicetak dengan dipress (ditekan). Komposit kemudian ditimbang hingga diperoleh berat konstan diuji sifat mekaniknya (modulus elastisitas (MOE), modulus patahan (MOR) dan rapat massa (densitas)).

Sintesis komposit selulosa-LDPE dilakukan dengan memvariasikan komposisi, sedangkan suhu, waktu, tekanan dibuat konstan. Variasi komposisi antara selulosa dengan plastik LDPE adalah 1:1, 1:3 dan 1:5 dengan selulosa sebagai

penguat dan plastik LDPE sebagai matriks. Komposisi yang menunjukkan sifat mekanik terkuat selanjutnya digunakan penentuan pengaruh variasi konsentrasi H₂O₂ (0,5; 1,0 dan 1,5 %).

Preparasi Komposit Selulosa-LDPE

Preparasi dilakukan dengan pemurnian limbah plastik LDPE dan ekstraksi selulosa dari serbuk gergaji. Dari hasil yang didapatkan setelah 8 jam direfluks plastik yang awalnya licin menjadi agak kasar hal ini disebabkan oleh lapisan pelindung yang ada plastik telah terekstrak. Aseton yang awalnya bening menjadi keruh, hal ini menunjukkan zat warna dan pengotor telah larut pada aseton.

Analisis gugus fungsi secara kualitatif pada selulosa murni dan selulosa hasil sintesis dilakukan dengan menginterpretasikan puncak-puncak serapan dari spektra inframerah. Selulosa dianalisa berdasarkan serapan gugus OH ulur ikatan hidrogen yang muncul pada daerah serapan antara 4000 cm⁻¹ - 2999 cm⁻¹ (Oh, *et al*, 2005).

Pada Gambar 1 (a) dapat dilihat bahwa uluran OH muncul pada daerah serapan 3608,81 cm⁻¹, pada Gambar 1 (b) uluran OH muncul pada serapan 3610,74 cm⁻¹, sedangkan pada Gambar 1 (c) uluran OH muncul pada serapan 3284,77 cm⁻¹. Berdasar pernyataan Youn Oh *et al*, ketiga spesi yang dianalisis menggunakan FTIR menunjukkan bahwa benar merupakan selulosa. Terdapatnya perbedaan serapan OH pada spesies tersebut disebabkan adanya penambahan NaOH dan H₂SO₄ dalam ekstraksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Basal Spacing

Karakterisasi *basal spacing* ini dilakukan dengan menggunakan metode XRD, hasil yang diperoleh dapat menentukan besarnya pergeseran jarak antar lapis bentonit. Aktivasi bentonit menggunakan NaOH tidak mengubah struktur khas dari bentonit dimana puncak dari *monmorillonit*, kuarsa dan illit masih terbentuk.

Karakterisasi Komposit Selulosa-LDPE

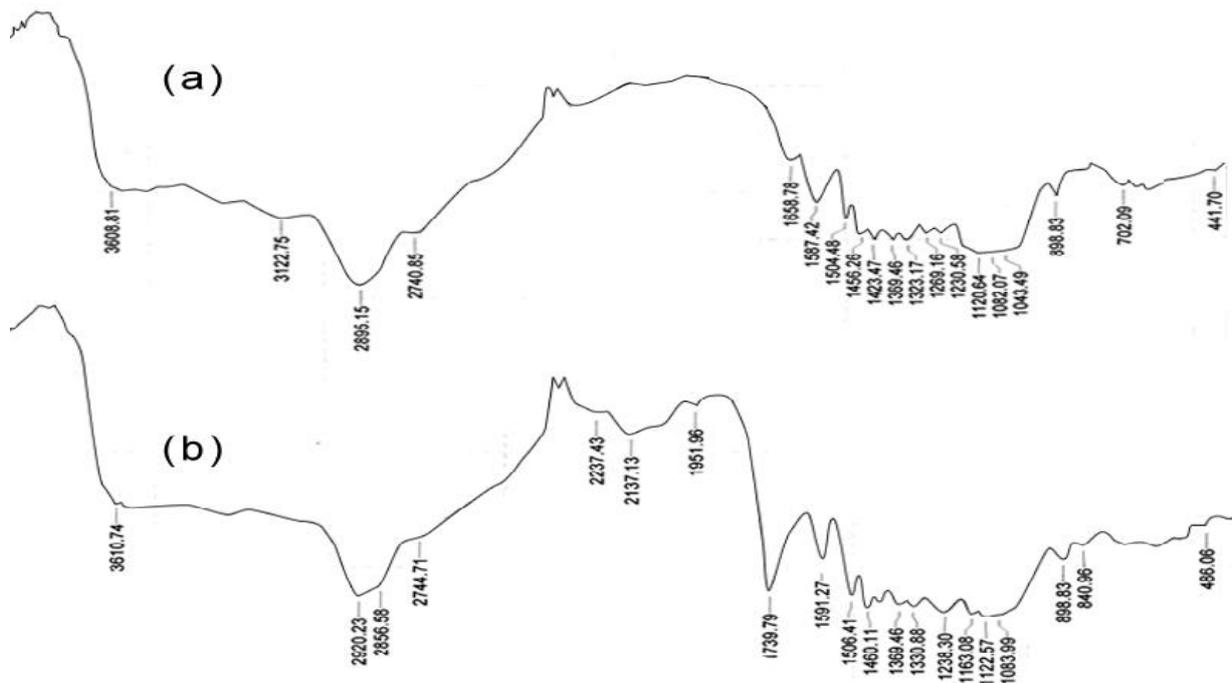
Dari hasil uji sifat mekanik yang ditunjukkan Tabel 1, didapat nilai MOR tertinggi yaitu komposisi komposit selulosa-LDPE 1:5 dengan nilai 11,36 MPa sedangkan nilai terendah

pada komposisi komposit selulosa-LDPE 1:1 dengan nilai 4,17 MPa. Hasil nilai MOE tertinggi adalah komposisi selulosa-LDPE 1:5 yaitu 180,45 MPa sedangkan nilai terendah adalah komposisi selulosa-LDPE 1:1 yaitu 140,44 MPa. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak pengikat (matrik) yang digunakan maka sifat mekanik akan bertambah karena pengikat telah bercampur dengan penguat (*reinforcement*) sehingga nilai MOR dan MOE semakin meningkat dan peningkatan kadar perekat dapat meningkatkan MOR dan MOE (Sujasman, 2009).

Hasil dari densitas, nilai tertinggi adalah komposisi selulosa-LDPE 1:5 yaitu 0,7873 g/cm³ sedangkan nilai terendah yaitu komposisi selulosa-LDPE 1:1 yaitu 0,7566 g/cm³. Hal ini disebabkan

oleh sifat selulosa yang seperti gabus dan fungsinya sebagai penguat (*reinforcement*) sehingga semakin banyak pengikat (matrik) yang digunakan maka semakin besar nilai densitasnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Mawardi (2006), densitas atau rapat massa cenderung semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah pengikat, hal ini terjadi akibat adanya gaya interaksi secara fisis antara pengikat dengan pengisi melalui rongga-rongga yang diisinya.

Berdasarkan SNI 03-2105-2006, untuk papan partikel, mensyaratkan nilai densitas sebesar (0,50–0,90) gr/cm³. Jadi secara keseluruhan kerapatan papan partikel yang dihasilkan telah memenuhi standar yang ditetapkan.



Gambar 1. Spektra FTIR (a) Selulosa Murni (b) Selulosa Hasil Ekstraksi

Tabel 1. Uji sifat fisik variasi komposisi komposit selulosa-LDPE dengan konsentrasi H₂O₂ 0,5 %

Komposisi Selulosa-LDPE	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Densitas (g/cm ³)
1:1	4,17	140,44	0,7566
1:3	6,94	140,54	0,7792
1:5	11,36	180,45	0,7873

Tabel 2. Uji sifat fisik variasi konsentrasi H₂O₂ dengan komposisi komposit selulosa-LDPE 1:5

Konsentrasi H ₂ O ₂ (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Densitas (g/cm ³)
0,5	11,36	180,45	0,7873
1,0	12,43	198,79	0,7888
1,5	12,71	200,24	0,7936

Dari hasil yang didapat pada Tabel 2, ada peningkatan sifat mekanik pada komposit selulosa-LDPE setelah meningkatnya konsentrasi H₂O₂. Nilai konsentrasi H₂O₂ terbaik adalah pada konsentrasi 1,5% yaitu dengan MOR sebesar 12,71 MPa, MOE sebesar 200,24 MPa dan densitas sebesar 0,7936 g/cm³. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi sumber radikal bebas yaitu H₂O₂ pada reagen Fenton. Reagen Fenton (campuran dari H₂O₂ dan larutan Fe²⁺ atau H₂O₂/Fe²⁺) digunakan sebagai agen pengkopling untuk meningkatkan gaya adhesi dan kekuatan ikatan antar kedua matrik polimer melalui reaksi radikal bebas. Reagen Fenton memiliki beberapa kelebihan, diantaranya OH radikal hasil reaksi yang terjadi memiliki reaktifitas tinggi, menyebabkan pembentukan situs aktif pada permukaan polimer dan ikatan kimia semakin banyak, sehingga komposit yang dihasilkan semakin kuat.

Berdasarkan SNI 03-2105-2006, mensyaratkan nilai modulus patah (MOR) minimal 82 kgf/cm² atau setara 8.04 MPa. Papan komposit hasil sintesis berdasarkan nilai MOR sangat baik yaitu dengan nilai 12,71 MPa pada perbandingan selulosa-LDPE 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 1,5%. Dengan demikian papan komposit yang dihasilkan memenuhi standar yang ditetapkan. Tetapi, nilai MOE papan komposit yang dihasilkan masih jauh berada dibawah nilai SNI yang mensyaratkan nilai MOE minimal 20400 kgf/cm² atau setara 2000,57 MPa. Papan komposit yang hasil sintesis berdasarkan nilai MOE nya dengan nilai terbaik yaitu dengan nilai 200,24 MPa pada perbandingan selulosa-LDPE 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 1,5%. Nilai MOE tidak terlepas dari nilai kuat lentur (MOR). Rendahnya nilai MOE dikarenakan penguat (selulosa) mengandung sifat pith (gabus) sehingga menghasilkan papan partikel yang kurang baik (Mawardi, 2009).

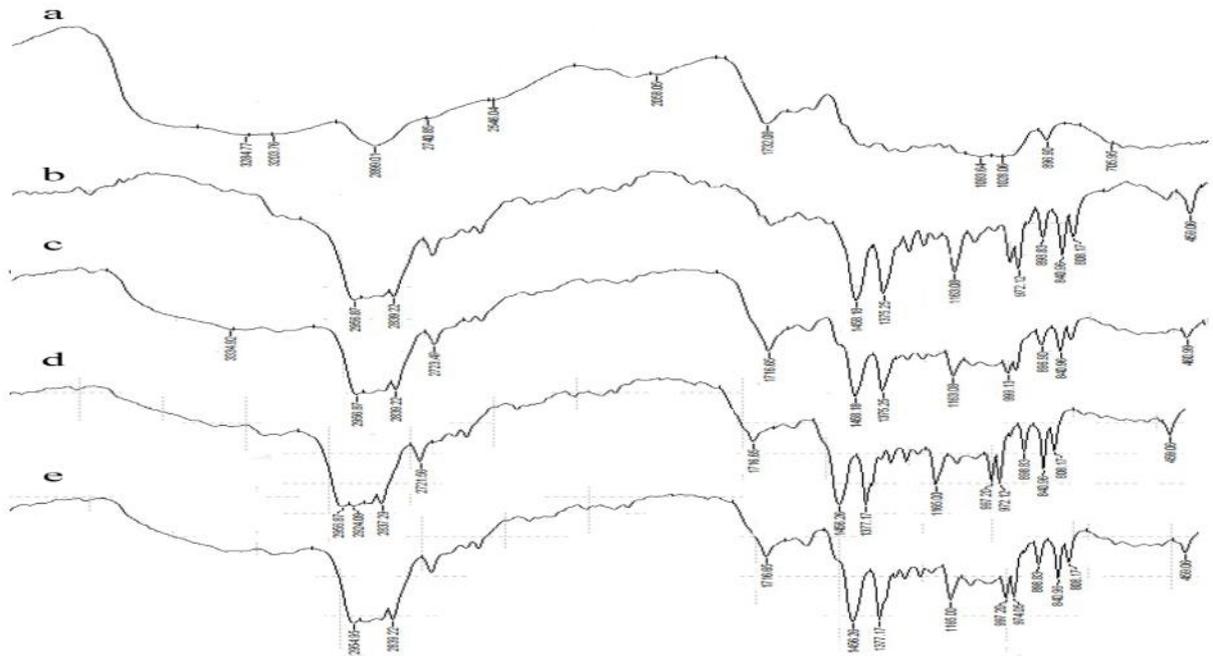
Kemungkinan lain adalah bentuk serat yang kurang sempurna atau adanya celah pada

serat sehingga dapat menyebabkan matrik tidak dapat mengisi ruang kosong pada cetakan. Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah void sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut (Schwartz, 1984). Dengan demikian nilai MOE yang diperoleh tidak memenuhi Standar SNI. Selain itu LDPE yang digunakan adalah hasil daur ulang yang telah mengalami penurunan kualitas akibat proses panas yang berulang.

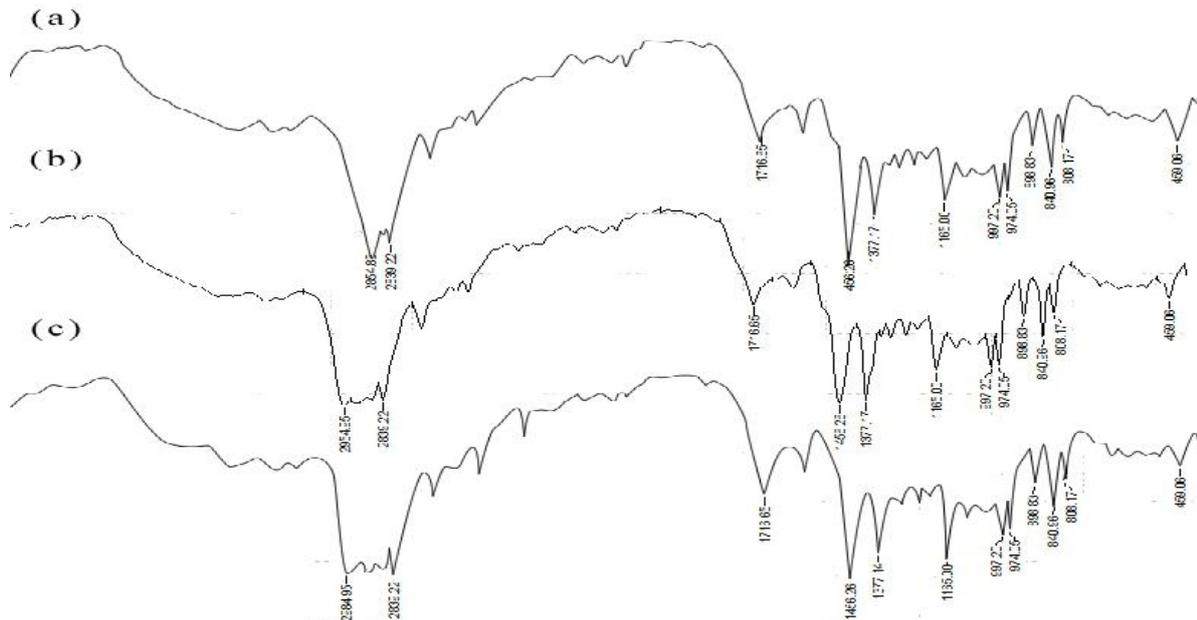
Analisis dengan FTIR

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah plastik LDPE semakin berkurang sifat selulosa. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2 (c), yang merupakan perbandingan komposisi selulosa-LDPE 1:1 masih memiliki sifat selulosa yang ditunjukkan munculnya uluran OH pada serapan 3334,92 cm⁻¹, puncak tersebut merupakan ciri khas selulosa. Sedangkan, peningkatan konsentrasi LDPE tidak muncul serapapan antara 4000-2999 cm⁻¹ yang merupakan ciri khas selulosa (Oh, *et al*, 2005). Dari Gambar 2 (c, d dan e) ketiga spesi memiliki kemiripan dengan serapan FTIR LDPE seperti pada Gambar 2 (b).

Pada penambahan konsentrasi H₂O₂ menunjukkan pergeseran bilangan gelombang gugus fungsi C-H yang merupakan sifat dari limbah plastik LDPE yang ditunjukkan pada Gambar 3. Meningkatnya konsentrasi H₂O₂ juga meningkatkan bilangan gelombang gugus fungsi C-H, pada konsentrasi 0,5 % muncul pada serapan 2854,83 cm⁻¹, pada konsentrasi 1,0 % muncul pada serapan 2954,86 cm⁻¹ dan pada konsentrasi 1,5 % muncul pada serapan 2984,95 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi H₂O₂ semakin meningkat bilangan gelombangnya. Artinya kerapatan C dan H meningkat sehingga energi yang digunakan untuk vibrasi semakin tinggi (Smith, 2011).



Gambar 2. Perbandingan serapan gugus fungsi FTIR (a) selulosa hasil ekstraksi (b) Limbah plastik LDPE (c) Komposit Selulosa-LDPE 1:1 (d) Komposit Selulosa-LDPE 1:3 (e) Komposit selulosa-LDPE 1:5



Gambar 3. Perbandingan serapan gugus fungsi FTIR (a) Komposit selulosa-LDPE 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 0,5% (b) Komposit selulosa-LDPE 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 1,0% (c) Komposit selulosa-LDPE 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 1,5%

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa uji sifat mekanik semakin tinggi konsentrasi LDPE, semakin tinggi peningkatan konsentrasi H₂O₂ juga meningkatkan kekuatan komposit. Hasil sintesis dengan nilai terbaik MOE 200,24 MPa, MOR 12,71 MPa dan densitas 0,7936 g/cm³ pada komposit dengan rasio 1:5 konsentrasi H₂O₂ 1,5%. Karakteristik pengujian dengan FTIR menunjukkan semakin tinggi konsentrasi LDPE semakin meningkat bilangan gelombang gugus fungsi OH, peningkatan konsentrasi H₂O₂ meningkatkan bilangan gelombang gugus fungsi C-H. Kondisi terbaik pada variasi komposisi dan variasi konsentrasi H₂O₂ sintesis komposit selulosa-LDPE dengan perbandingan komposisi 1:5 dengan konsentrasi H₂O₂ 1,5%.

Saran

Perlu dilakukan sintesis dengan variasi komposisi komposit selulosa-LDPE diatas 1:5, konsentrasi H₂O₂ diatas 1,5 % dan dilakukan uji dengan SEM atau TEM untuk mengetahui bentuk struktur mikro permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada Drs. I Made Siaka, M.Sc (Hons), Dra. Ida Ayu Raka Astiti Asih, M.Si. dan Dr. Dra. Ni Made Suaniti, M.Si yang telah memberi banyak masukan pada tulisan ini. Selain itu, diucapkan pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, lab bersama FMIPA dan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana yang telah memberikan fasilitas dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. E. dan Amir, M, 2012, Pengaruh Temperatur dan Waktu pada Pengolahan Pewarna Sintetis Procion Menggunakan

- Reagen Fenton, *Jurnal Teknik Kimia*, 18 (3) : 54-61
- Bahrudin, Irdoni, Zahrina I., dan Zulfansyah, 2011, Studi Pembuatan Material Wood Plastic Composite Berbasis Limbah, *Jurnal Teknobiologi*, II (I) : 77-84
- Humaidi, S., 1998, *Bahan Polimer Komposit*, Universitas Sumatera Utara Press, Medan
- Martawijaya, A., I. Kartasujana, K. Kadir, dan S.A Prawira, 1981, *Atlas Kayu Indonesia Jilid I*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor
- Mawardi, I., 2009, Mutu Papan Partikel dari Kayu Kelapa Sawit Berbasis Perekat Polystyrene. *Jurnal Teknik Mesin*, 11 (2) : 91-96
- Oh, S.Y., Dong I. Y., Younsook, S., and Gon S., 2004, FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide, *Carbohydrate Research*, 340 : 417-428
- Putera, R.D.H., 2012, Ekstraksi Serat Selulosa Dari Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) dengan Variasi Pelarut, *Skripsi*, IU, Depok
- Rowell, R. M., 1997, *Paper and Composites from Agro-Base Resources*, C. R. C., Lewis Publisher, Florida
- Schwartz, M.M., 1984, *Composite Material Handbook*, Mc Graw-Hill Inc, New York
- Smith, B.C., 2011, *Fundamentals Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, Scnd Edition, CRC Press, Boca Raton Florida
- SNI, 2006, Mutu Papan Partikel SNI 03-2105-2006, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Sujasman, A., 2009, Penyediaan Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit (KKS) dengan Resin Poliester Tak Jenuh (Yukalac 157 BQNT-EX), *Tesis*, Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan
- Wittaya, Thawien, 2009, Microcomposites of rice starch film reinforced with microcrystalline cellulose from palm pressed fiber, *International Food Research Journal*, 16 : 493-500
- Worrell, W.A. dan Vesilind, P.A., 2011. *Solid Waste Engineering*, Scnd edition Cengage Learning, Stamford USA