PENGARUH KANDUNGAN PENGISI SELULOSA TERMODIFIKASI DAN SUHU PEMROSESAN DALAM PENYEDIAAN KOMPOSIT POLIETILENA DENSITAS RENDAH

Halimatuddahliana[1)], N.D. Marpaung[2)], dan Tjahjono Herawan

Abstrak Kajian mengenai pengaruh kandungan pengisi selulosa termodifikasi yang berasal dari TKS dan suhu pemrosesan dalam penyediaan komposit polietilena densitas rendah (*low density polyethylene*, LDPE) bertujuan untuk mengetahui potensi dari pengisi terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan bentur (*impact strength*) komposit. Dalam kajian ini, LDPE dicampur dengan selulosa yang telah dimodifikasi melalui proses asetilasi dengan rasio 95:5; 90:10; 85:15; 80:20 (b/b). Proses pencampuran menggunakan ekstruder dengan variasi temperatur pemrosesan 115°C, 125°C dan 135°C. Hasil pengujian sifat-sifat mekanik menunjukkan bahwa pada kandungan bahan pengisi 5% terjadi peningkatan kekuatan tarik, sifat modulus Young semakin tinggi dengan semakin bertambahnya bahan pengisi sampai 20%, sedangkan sifat pemanjangan pada saat putus mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya bahan pengisi. Sementara itu kekuatan bentur komposit menunjukkan penurunan dengan semakin bertambahnya kandungan pengisi dalam komposit. Berdasarkan hasil uji mekanik juga diperoleh bahwa temperatur pemrosesan yang paling optimal untuk komposit LDPE berpengisi selulosa termodifikasi di dalam ekstruder adalah pada temperatur 125°C.

Kata kunci: *selulosa termodifikasi, polietilena densitas rendah, kekuatan tarik, kekuatan bentur.*

Abstract *A study on the effect of filler content and processing temperature of low density polyethylene (LDPE) filled with modified cellulose from palm empty fruit bunch (PEFB) was intended at knowing the potency of filler on tensile strength and impact strength composite. In this study, LDPE was mixed with modified cellulose as filler through acetylation process with variants LDPE: modified cellulose viz. 95:5; 90:10; 85:15; 80:20 (w/w). Mixing process was accomplished by using an extruder with temperature variants of 115°C, 125°C and 135°C. The result of mechanical properties have shown that in the content of 5% of filler, the increase of tensile properties has occurred. Young modulus properties is becoming higher in relation to the increase filler up to 20%, while the elongation at break undergoes a decrease in line with the increasing of filler loading. On the other hand, the impact strength have decreased as the increase of filler loading in the composite. Based on the mechanical testing results, it is found out that the most optimum temperature of mixing process for LDPE/modified cellulose was 125°C.*

Keywords: modified cellulose, low density polyethylene, tensile strength, impact strength.

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

[1)] Halimatuddahliana (✉)
Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU, Medan
email: h_dahliana@yahoo.com

[2)] Institut Sains dan Teknologi TD Pardede

Naskah masuk: 02 Agustus 2011; Naskah diterima: 05 September 2011

PENDAHULUAN

Perkembangan bahan komposit polimer semakin pesat bersaing dengan komposit matriks logam maupun keramik. Berbagai pemrosesan komposit terus dipacu, diarahkan ke sasaran produk yang bersifat seperti yang dikehendaki. Komposit polimer komersil selama ini umumnya menggunakan bahan polimer termoset. Suplai bahan baku yang terbatas mengakibatkan bahan ini relatif mahal dibandingkan polimer termoplastik yang tersedia. Polimer termoplastik seperti polietilena densitas rendah (LDPE) merupakan bahan komposit polimer komersil yang relatif lebih murah dibandingkan polimer termoset yang tersedia. Menurut Cowd (1991), LDPE merupakan *polyolefin* yang bersifat termoplastik, murah dan dapat didaur ulang, tetapi pada proses pencampuran membutuhkan panas. Kelebihan polimer LDPE sebagai matriks antara lain: mudah diproses, suhu pemrosesan yang lebih rendah dibandingkan polimer lain serta lebih aplikatif dalam penggunaannya.

Sementara itu, peningkatan penggunaan pengisi alami sebagai penguat terhadap komposit polimer pada tahun-tahun terakhir ini sangat dipengaruhi oleh isu-isu lingkungan, biaya produksi yang rendah serta persaingan sifat produk yang tinggi. Hal ini meningkatkan ketertarikan untuk melakukan penelitian dalam penggunaan limbah industri dan agrikultur yang memiliki manfaat yang besar. Dalam perkembangan-nya di tahun-tahun terakhir ini, penelitian di bidang komposit lebih difokuskan pada komposit termoplastik yang diperkuat dengan bahan-bahan yang mengandung selulosa dan lignoselulosa sebagai pengganti pengisi anorganik seperti serbuk kayu, kelapa sawit dan abu sekam padi putih yang merupakan sisa dari hasil pertanian maupun industri. Kegunaan berbagai pengisi ini menunjukkan peningkatan pada modulus Young dan kekerasan pada komposit, di mana kekuatan tarik akan semakin meningkat dengan pembebanan pengisi (Mwaikambo dan Ansell, 1999; Siriwerdana *et al.*, 2002; Nurjana, 2007; Halimatuddahliana, 2009 dan 2010). Selain murah, bahan-bahan ini memberikan banyak kelebihan dari aspek lingkungan hidup dan aspek teknik. Aplikasi komposit polimer berpengisi bahan alami biasa digunakan untuk bagian interior maupun eksterior komponen otomotif seperti *seat back, side* dan *door panel, boot lining,dashboard*, dan sebagainya (Suddell dan Evans 2005; Bledzki *et al.*, 2006)

Di Indonesia, selulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber bahan baku khususnya berasal dari tandan kosong kelapa sawit (Nurjana, 2007; Halimatuddahliana, 2010). Tandan kosong kelapa sawit diproses untuk mendapatkan selulosa. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan polimer rantai panjang dari karbohidrat polikasakrida atau homopolisakarida yang tersusun atas unit-unit D glukopiranosa. Setiap unit D glukopiranosa dalam rantai selulosa mempunyai tiga gugus hidroksil. Dalam pembuatan komposit, pengisi yang mengandung selulosa menjadi perhatian yang besar karena kemampuannya sebagai penguat pada polimer termoplastik dengan titik peleburan yang rendah seperti polietilena densitas rendah (Jalal, 2005).

Proses pencampuran LDPE dengan selulosa cenderung tidak berlangsung secara homogen karena sifat kedua bahan yang mempunyai kepolaran berbeda. Sementara itu penggunaan pengisi selulosa termodifikasi melalui proses asetilasi dengan asam asetat dalam LDPE diharapkan akan berlangsung homogen karena sifat kedua bahan yang mempunyai kepolaran yang relatif sama, yaitu hidrofobik. Lebih jauh lagi untuk menghasilkan komposit dengan sifat-sifat mekanik yang baik, diharapkan tidak perlu diberikan/ditambahkan bahan penyerasi (*compatibilizer*) ataupun penggandeng (*coupling agent*) pada campuran komposit LDPE dan selulosa asetat.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi pengisi selulosa termodifikasi dalam komposit LDPE dan temperatur pemrosesan terhadap sifat-sifat mekanik komposit seperti kekuatan tarik, modulus Young, pemanjangan pada saat putus, dan kekuatan bentur dan didukung oleh data-data FTIR *(Fourier Transform Infra Red)*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah polietilena densitas rendah (LDPE) sebagai matriks, selulosa ($(C_6H_{10}O_5)_n$) sebagai bahan pengisi.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Ekstruder (*Single Screw Extruder*)
2. Hot Press(GT-7014-A *Molding Test Press*)

3. *Dumbble Cutter*
4. Alat Uji Tarik (*Instron* AI-7000-S *Universal Testing Machine*)
5. Alat Uji bentur (GT-7045-MD *Izod Charpy Digital Impact*)
6. FTIR (1600 *series* FTIR)

Modifikasi Bahan Pengisi

Modifikasi yang dilakukan terhadap bahan pengisi menggunakan pelarut asam asetat. Pembuatan selulosa termodifikasi dengan cara melarutkan serbuk selulosa ke dalam larutan asam asetat 50% dengan perbandingan selulosa: asam asetat adalah 1:20 (b/v). Campuran diaduk selama 1 jam dengan menggunakan *Stirrer,* kemudian larutan disaring dengan menggunakan kertas saring. Selulosa asetat dari hasil saringan dicuci beberapa kali dengan air suling dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 80°C (Hamid, 2008).

Penyediaan Komposit LDPE Berpengisi Selulosa.

Komposit dapat dibuat dengan prosedur sebagai berikut:

1. LDPE dan selulosa termodifikasi dicampur di dalam *Beaker glass* dengan perbandingan 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 (b/b)
2. Campuran dileburkan di ekstruder pada temperatur yang bervariasi yaitu: 115, 125, dan 135°C.
3. Komposit dicetak dalam *hot press* dengan preheating selama 5 menit dan ditekan selama 5 menit pada temperatur 125°C.
4. Komposit dikeluarkan dari cetakan dan dipotong dengan *dumbble cutter.*
5. Dilakukan pengujian terhadap komposit yaitu uji tarik yang meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*), pemanjangan dan modulus Young, serta uji kekuatan bentur (*impact strength*).

Pengujian/karakterisasi

a. Uji tarik *(Tensile test)*

Uji tarik dilaksanakan sesuai dengan ASTM D3039 (www.ptli.com, 1996) menggunakan mesin Instron dengan kecepatan penarikan 50 mm/menit. Sifat-sifat uji tarik didapat dengan melakukan pembacaan kekuatan tarik (*tensile strength), modulus Young* dan persentase pemanjangan pada saat putus (*elongation at break).*

b. Uji bentur *(Impact test)*

Uji kekuatan bentur dilaksanakan sesuai dengan ASTM D256 (www.ptli.com, 1996). Kekuatan bentur sampel diukur dengan menggunakan alat *impact test* yang dilengkapi dengan pendulum. Pembacaan energi bentur dihitung dengan persamaan:

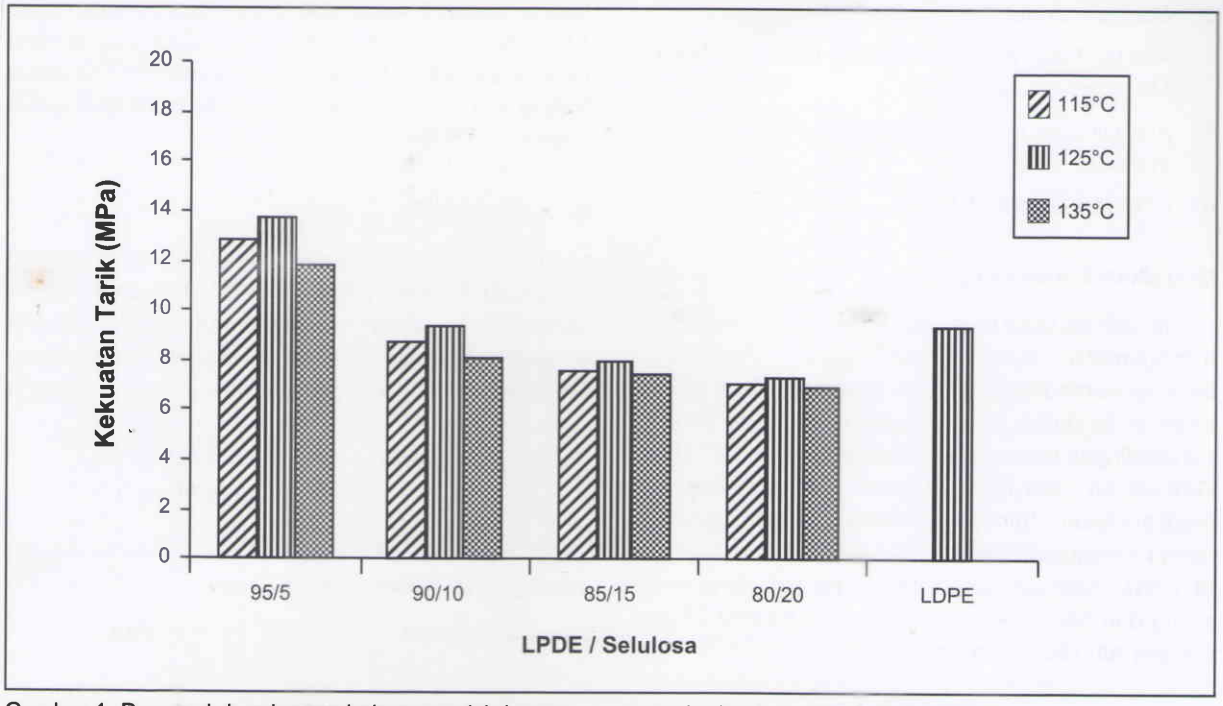
$$\textit{Kekuatan bentur} = \frac{\textit{Energi bentur}}{\textit{Luas sampel}} \; (J / m^2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

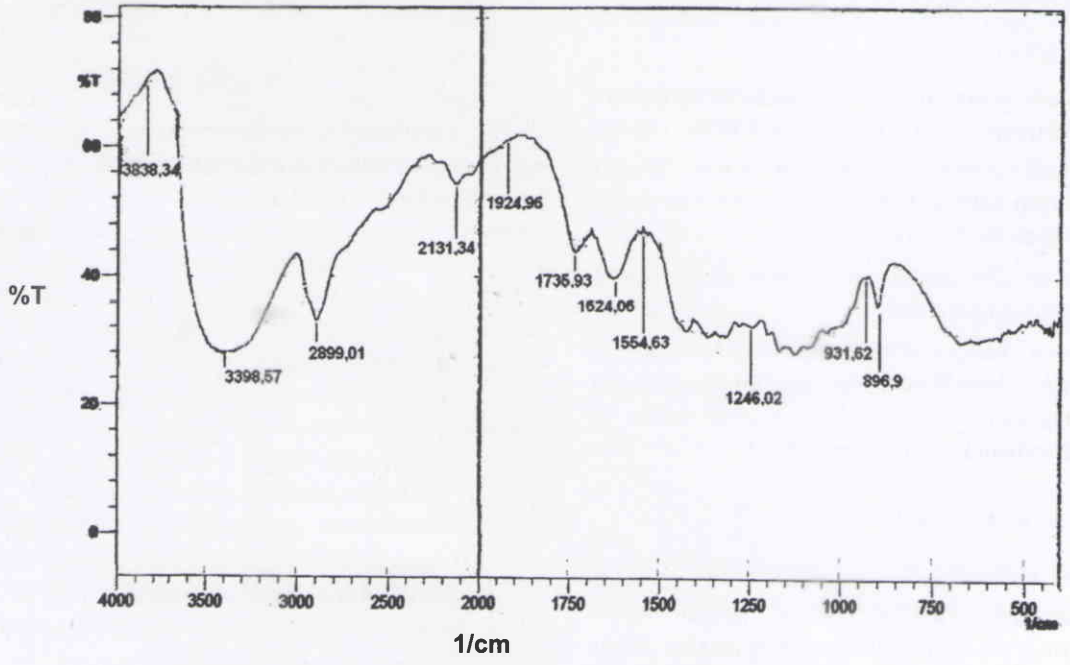
Pengaruh Kandungan Bahan Pengisi dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik

Gambar 1 menunjukkan pengaruh kandungan bahan pengisi selulosa pada matriks LDPE terhadap kekuatan tarik komposit pada beberapa temperatur pemrosesan. Dari hasil uji tarik komposit diperoleh bahwa kekuatan tarik maksimum, terdapat pada komposit dengan kandungan bahan pengisi selulosa 5% yaitu sebesar 13,81 MPa pada suhu 125°C. Sedangkan kekuatan tarik LDPE tanpa bahan pengisi adalah sebesar 9,39 Mpa.

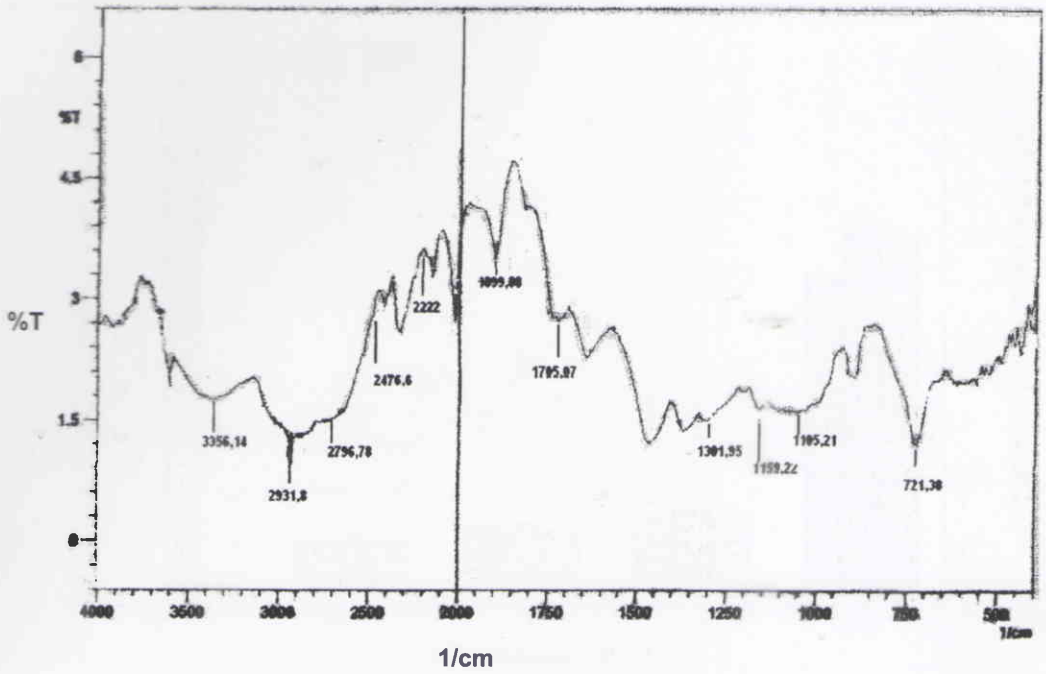
Dari hasil uji tarik komposit juga diperoleh bahwa kekuatan tarik bahan komposit menurun dengan naiknya kandungan bahan pengisi selulosa. Penurunan nilai kekuatan tarik ini disebabkan masih rendahnya sifat adhesi antara bahan matriks LDPE dan bahan pengisi selulosa. Selain itu juga sifat kepolaran antara bahan matriks dan bahan pengisi yang masih berbeda menghalangi interaksi antara keduanya. Kepolaran tersebut juga dapat dilihat dari hasil FTIR selulosa asetat pada Gambar 2, dimana dengan munculnya pita serapan 3398,57 cm^{-1} menunjukkan bahwa rantai selulosa masih memiliki gugus hidroksil (OH) yang belum termodifikasi, artinya modifikasi hanya terjadi pada sebagian gugus hidroksi pada selulosa, menyebabkan kepolaran selulosa masih tinggi.



Gambar 1. Pengaruh kandungan bahan pengisi dan temperatur terhadap kekuatan tarik komposit.



Gambar 2. FTIR selulosa termodifikasi melalui proses asetilasi dengan asam asetat.

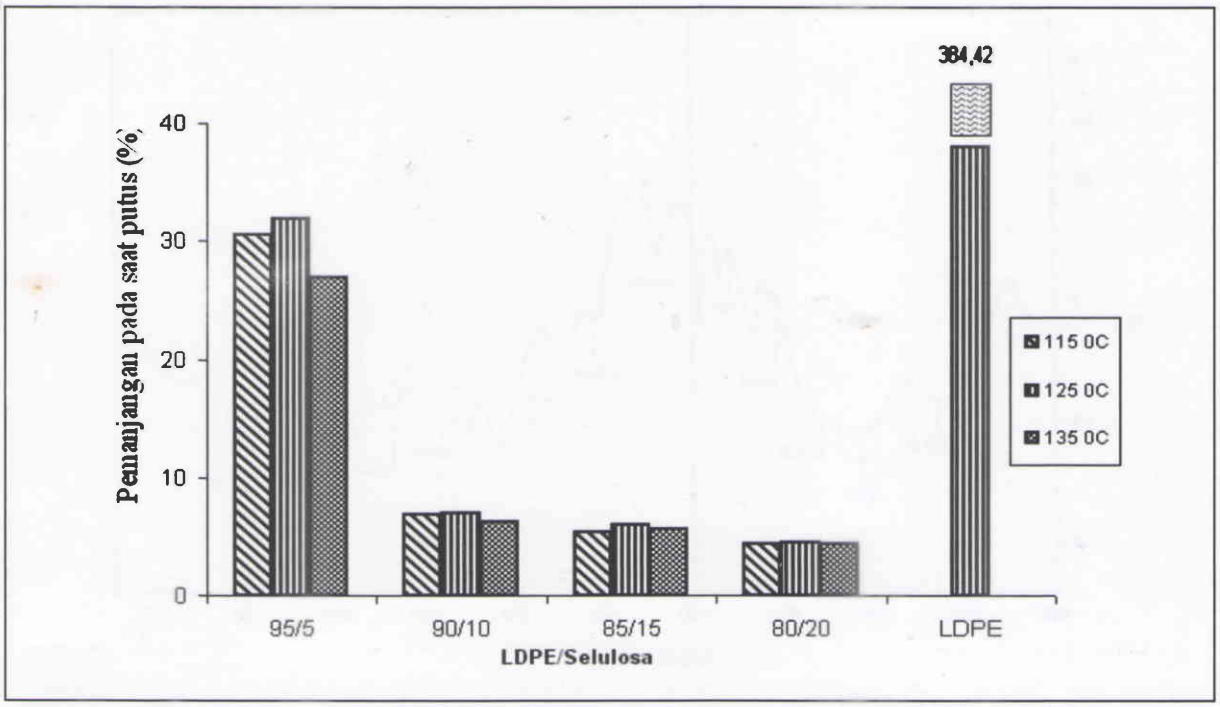


Gambar.3. Hasil uji FT-IR komposit dengan kandungan bahan pengisi 20%.

Sementara itu, banyaknya kandungan bahan pengisi pada komposit LDPE dan perubahan temperatur pada saat pencampuran, tidak terlalu berpengaruh terhadap FTIR komposit, karena antara bahan pengisi dengan matriks LDPE tidak terjadi pembentukan gugus baru atau tidak terjadi reaksi kimia tetapi hanya bercampur secara fisika (mekanik). Dalam hal ini proses asetilasi yang dilakukan pada selulosa hanya bertujuan untuk menurunkan tingkat kepolaran dari bahan pengisi selulosa (pita serapan 3356,14 cm^{-1}), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Disamping itu, penurunan kekuatan tarik komposit juga disebabkan oleh kandungan lignin yang masih terdapat pada bahan pengisi. Menurut Kim *et al.* (2007), lignin berfungsi sebagai bahan pengkaku pada molekul-molekul selulosa. Keberadaan lignin pada bahan pengisi juga akan mempengaruhi interaksi antara selulosa dengan LDPE atau ikatan permukaan antara matriks LDPE dan selulosa semakin kecil, sehingga kekuatan tarik juga kurang sempurna atau semakin kecil. Menurut Hariadi (2000), bahwa salah satu faktor yang dapat memperkuat bahan komposit harus ada ikatan permukaan yang kuat antara matriks dengan bahan pengisi. Hal lain yang dapat mempengaruhi kekuatan tarik komposit adalah penyebaran bahan pengisi pada matriks belum merata secara sempurna atau campuran partikel matriks dengan partikel bahan pengisi kurang homogen. Nurjana (2007), dalam penelitiannya yang menggunakan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan pengisi terhadap matriks polietilena menerangkan bahwa, dengan naiknya kandungan bahan pengisi, kekuatan tarik komposit menurun.

Gambar 1 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik pada temperatur pencampuran 125°C relatif lebih besar dibandingkan pada temperatur 115°C dan 135°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 115°C, LDPE belum melebur sempurna sehingga campuran homogen, sedangkan pada temperatur 135°C, matriks LDPE kemungkinan sebahagian sudah terdegradasi dimana titik leleh LDPE adalah 124°C (Van Vlack, 2004). Dari hasil juga dapat dilihat bahwa perubahan temperatur tidak berpengaruh terhadap bahan pengisi selulosa, dimana temperatur maksimum pemrosesan selulosa adalah 200°C, sehingga sifat komposit dipengaruhi oleh temperatur fasa matriks (Steven, 2001)



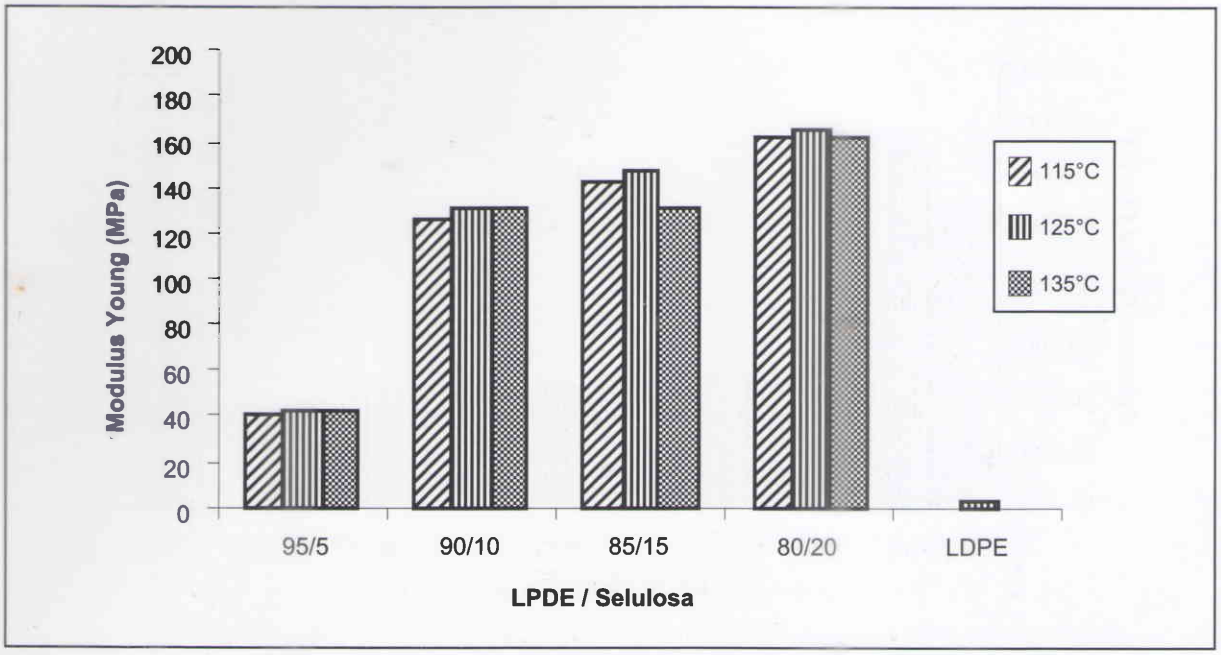
Gambar 4. Pengaruh kandungan bahan pengisi dan temperatur terhadap pemanjangan komposit.

Pengaruh Kandungan Bahan Pengisi dan Temperatur Terhadap Sifat Pemanjangan pada saat putus Komposit.

Pengaruh kandungan bahan pengisi selulosa terhadap sifat pemanjangan pada saat putus komposit dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil pengujian komposit menunjukkan bahwa sifat pemanjangan pada saat putus menurun dengan meningkatnya kandungan bahan pengisi. Sifat pemanjangan pada saat putus yang terendah diperoleh pada kandungan selulosa 20% yaitu sebesar 4,3% sedangkan pemanjangan pada saat putus LDPE murni pada temperatur 125^{0}C adalah 384,42%. Hal ini disebabkan bahwa, dengan meningkatnya kandungan pengisi di dalam komposit dapat menyebabkan berkurangnya deformasi pada permukaan matriks, sehingga menurunkan sifat pemanjangan komposit. Oksman dan Clemons (1998) menyebutkan bahwa bahan pengisi yang memiliki sifat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan terhadap matriks akan menyebabkan menurunnya sifat pemanjangan. Penurunan sifat pemanjangan komposit dengan bertambahnya bahan pengisi selulosa juga diakibatkan oleh perubahan sifat komposit dari elastis lunak menjadi kuat getas. Hal ini juga diperoleh oleh Habibi *et al.* (2008) pada penelitian komposit polietilena yang diperkuat serat-serat jerami padi, ampas tebu, pisang dan tangkai kapas.

Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa perubahan temperatur tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap pemanjangan komposit, karena pada setiap rasio LDPE : selulosa dengan temperatur yang berbeda, pemanjangan komposit tidak berbeda jauh. Tetapi dari Gambar 4 secara umum dapat dilihat bahwa pemanjangan komposit pada temperatur pencampuran 125^{0}C relatif lebih besar dibandingkan pada temperatur 115^{0}C dan 135^{0}C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 115^{0}C, LDPE belum melebur sempurna sehingga campuran homogen, sedangkan pada temperatur 135^{0}C, matriks LDPE kemungkinan sebahagian sudah terdegradasi dimana titik leleh LDPE adalah 124^{0}C (Van Vlack, 2004).



Gambar 5. Pengaruh kandungan bahan pengisi dan temperatur terhadap modulus Young komposit.

Pengaruh Kandungan Bahan Pengisi dan Temperatur Terhadap Sifat Modulus Young

Gambar 5 menunjukkan pengaruh kandungan bahan pengisi selulosa terhadap modulus Young pada komposit LDPE.

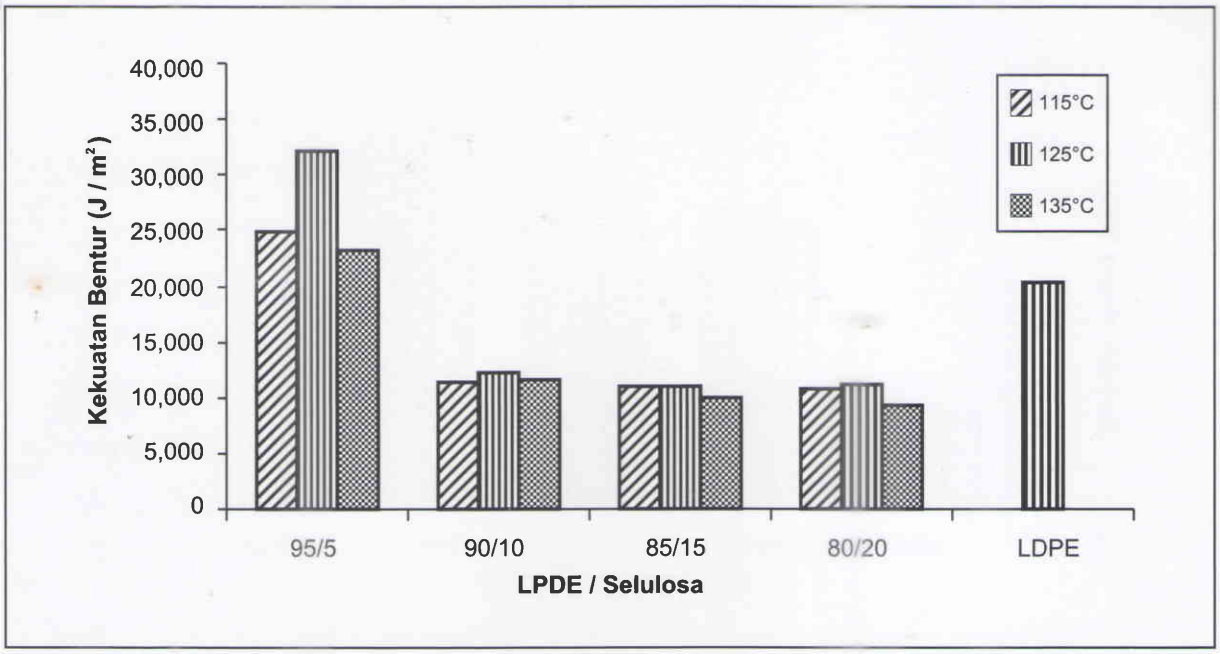
Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa modulus Young semakin meningkat dengan semakin bertambahnya kandungan bahan pengisi di dalam matriks LDPE. Modulus Young tertinggi diperoleh pada kandungan selulosa 20% yaitu sebesar 164,78 MPa. Justin dan Schmidt (2005) juga melaporkan kenaikan modulus Young pada komposit polietilena yang terisi dengan 20% serat keratin dari bulu ayam.

Peningkatan modulus Young pada komposit LDPE terisi selulosa disebabkan oleh peningkatan sifat kekakuan komposit yang terbentuk. Hal ini juga dapat dijelaskan dari hubungan kekuatan tarik, pemanjangan terhadap modulus Young, dimana modulus Young merupakan perbandingan tegangan tarik dengan pemanjangan. Secara matematis, modulus Young identik dengan *slope* garis *linier* pada kurva tekanan-regangan (Richardson dan Lokensgard, 1997).

Sementara itu, pengaruh suhu terhadap modulus Young dapat dilihat, bahwa pada temperatur 125^{0}C, modulus Young relatif lebih besar dibandingkan dengan pada temperatur 115^{0}C dan 135^{0}C. Hal ini dapat dijelaskan bahwa temperatur 125^{0}C tidak terlalu berbeda jauh dari titik leleh LDPE antara 110^{0}C dan 124^{0}C, sehingga temperatur 125^{0}C merupakan temperatur yang optimal untuk pemrosesan komposit.

Pengaruh Kandungan Bahan Pengisi dan Temperatur Terhadap Sifat Kekuatan Bentur.

Gambar 6 menunjukkan pengaruh kandungan bahan pengisi terhadap kekuatan bentur komposit. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan bentur komposit LDPE dengan kandungan bahan pengisi 5% lebih besar dibandingkan dengan kekuatan bentur LDPE tanpa bahan pengisi, dimana kekuatan bentur paling besar terdapat pada komposit dengan kandungan bahan pengisi 5% yaitu sebesar 32141,1 J/m^2 sedangkan kekuatan bentur komposit yang paling kecil terdapat pada komposit dengan kandungan bahan pengisi 20%, yaitu sebesar 9346,1 J/m^2 dan kekuatan bentur LDPE tanpa bahan pengisi adalah sebesar 20345,5 J/m^2.



Gambar 6. Pengaruh kandungan bahan pengisi dan temperatur terhadap kekuatan bentur komposit.

Kekuatan bentur komposit semakin menurun dengan semakin meningkatnya kandungan bahan pengisi. Hal ini disebabkan penurunan volume matriks berkurang sedangkan massa bahan pengisi bertambah, sehingga permukaan matriks tidak dapat menutupi, artinya interaksi antara matriks dan bahan pengisi tidak maksimal. Hal lain yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan bentur adalah dengan semakin bertambahnya bahan pengisi akan menurunkan derajat kristalinitas. Menurut Wikberg dan Mauna (2004), kandungan bahan organik seperti lignin dan hemiselulosa yang memiliki struktur amorf dapat menurunkan derajat kristalinitas bahan komposit. Stevens (2001), juga mengatakan bahwa efek struktur kimia terhadap sifat-sifat polimer merupakan aspek yang paling penting dalam kimia polimer, artinya bahwa polimer-polimer kristal umumnya lebih keras, lebih kuat, lebih tahan dibandingkan dengan polimer amorfous. Hal yang sama juga menurut Yang *et al.* (2007), polimer polietilena densitas rendah (LDPE) yang pada awalnya fleksibel menjadi lebih kaku dan rapuh setelah penambahan bahan pengisi lignoselulosa. Sedangkan perubahan temperatur pada saat pencampuran komposit terhadap sifat kekuatan bentur tidak terlalu signifikan, walaupun pada umumnya sifat kekuatan bentur lebih besar pada temperatur 125^{0}C dibandingkan pada temperatur 115^{0}C dan 135^{0}C.

KESIMPULAN

1. Pengisi selulosa yang berasal dari serat tandan kosong sawit telah meningkatkan kekuatan tarik komposit LDPE pada rasio 95/5 dibandingkan dengan kekuatan tarik LDPE murni (100%), tetapi kembali mengalami penurunan seiring bertambahnya komposisi pengisi.
2. Demikian juga dari hasil uji kekuatan bentur komposit dengan pengisi selulosa dari serat tandan kosong sawit, ditunjukkan bahwa nilai kekuatan bentur paling optimum pada rasio 95/5 dan semakin menurun dengan bertambahnya kandungan pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

Bledzki, A.K., O. Faruk, and V.E. Sperber. 2006. Cars from bio-fibers. Macromolecular Materials Engineering, 291: 449-1772.

Cowd, M.A. 1991. Kimia polimer. Terjemahan oleh H. Firman. ITB Press. Bandung.

Habibi, Y., K. Waleed, El-Zawawy, M.M. Ibrahim, and A. Dufresne. 2008. Processing and caracterization of reinforced polyethylene composites made with lignocellulosic fibers from Egyptian Agro Industrial Residues.

Halimatuddahliana. 2009. Pengaruh kandungan pengisi terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit polipropilena/karet alam PP/NR berpengisi serbuk tempurung kelapa. Jurnal Teknik dan Teknologi. Vol. 4. No. 7.

Halimatuddahliana. 2010. Kekuatan tarik dan kekuatan bengkok komposit polipropilena/ karet alam PP/NR berpengisi serat tandan kosong sawit STKS, Jurnal Teknik dan Teknologi, vol. 5 No. 9.

Hamid, Z.F.T. 2008. Pengaruh modifikasi kimia terhadap sifat-sifat komposit polietilena densitas rendah LDPE terisi tempurung kelapa. Tesis Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.

Hariadi, I. 2000. Bahan komposit. Millis Fisika Indonesia.

Jalal, R. 2005. Pembuatan komposit polipropilena dengan penguat serat polipropilena terorientasi dan bahan pengikat anhidrida maleat. Tesis Sekolah Pascasarjana. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Justin, R.B. and W.F. Schmidt. 2005. Polyethylene reinforced with keratin fibres obtained from chicken feathers. Composites Science an Technology, 65: 173-181.

Kim, H.S., B.H. Lee, S.W. Choi, S. Kim, and H.J. Kim. 2007. The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene MAAP on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites. Composites Applied Science and Manufacturing. 38: 1473-1482.

Mwaikambo, L.L. and M.P. Ansell. 1999. The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement, Second International Wood and Natural Fibre Composite Symposium, Kassel-Germany.

Nurjana, S. 2007. Komposit polietilena dengan penguat serat tandan kosong sawit. Tesis Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.

Oksman, K. and C. Clemons. 1998. Mechanical properties of impact modifier polypropylene wood flour composites. Journal Appl. Polym. Sci. 67: 1503-1513.

Richardson, T.L., and E. Lokensgard. 1997. Industrial plastics: Theory and application, 3rd ed. USA: Delmar Publisher.

Siriwardena, S., H. Ismail, U.S. Ishiaku, and M.C.S. Perera. 2002. Mechanical and morphological properties of white rice husk ash filled polypropylenen/ethylene propylene diene terpolymer thermoplastic elastomer composites. J. Appl. Polym. Sci, 85: 438-453.

Stevens, M. 2001. Kimia polimer. Terjemahan Lis Sopyan. Penerbit Pradnya Paramita Jakarta.

Suddell, B.C. and W.J. Evans. 2005. Natural fiber composites in automotive applications. In: Natural fibers, biopolymers, and biocomposites (eds): Mohanty, Misra, Drzal. CRC Press. pp.231-260.

Van Vlack, L. 2004. Elemen-elemen ilmu dan rekayasa material. Terjemahan Sriati. Edisi Keenam. Penerbit Erlangga.

Wikberg, H. and S.L. Mauna. 2004. Characterisation of thermally modified hard and softwoods by 13C CPMAS NMR. Carbohydrate Polymer. 58: 461-466.

www.ptli.com/testlopedia/tests/Composite-Tensile-ASTM-D3039.asp, 1996

Yang, H.S., Wolcott, P. Michael, H.S. Kim, S. Kim, and H.J. Kim. 2007. Effect of different compatibilizing agents on the mechanical properties of lignocellulosic material filled polyethylene bio-composites. Composite Structures 79:369-375.