

PENGARUH LARUTAN ALKALI DAN ETANOL TERHADAP KEKUATAN TARIK SERAT ENCENG GONDOK DAN KOMPATIBILITAS SERAT ENCENG GONDOK PADA MATRIK *UNSATURATED POLYESTER YUKALAC* TIPE 157 BQTN-EX

Yusuf Umardani*, Catur Pramono**

*Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof.H.Sudharto,SH Tembalang-Semarang Kotak Pos 1269

Abstrak

Serat enceng gondok merupakan serat yang berasal dari tumbuhan enceng gondok (*eichornia crassipes*). Serat enceng gondok mempunyai bentuk silinder seperti benang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik serat enceng gondok dan kompatibilitas serat enceng gondok pada matrik *unsaturated polyester yukalac* tipe 157 BQTN-EX. Pembuatan spesimen uji serat enceng gondok terdiri dari serat non perlakuan dan perlakuan perendaman selama 2 jam dengan larutan alkali (NaOH kadar 5%, 10%, dan 15%) dan etanol (C₂H₅OH kadar 5%, 10%, dan 15 %). Spesimen uji tarik serat enceng gondok mengacu pada standar JIS R-7601, dan spesimen uji kompatibilitas dengan metode pengujian *single fiber pull out*. Hasil pengujian tarik mulur serat enceng gondok menunjukkan tegangan tarik terbesar pada serat non perlakuan 27.397 N/mm² namun elongasi pada serat non perlakuan tersebut menunjukkan nilai yang terendah yaitu 0.857%. Sedangkan hasil pengujian kompatibilitas menunjukkan tegangan interfacial tertinggi terdapat pada spesimen perlakuan perendaman etanol kadar 10% sebesar 0.020 N/mm² dan nilai elongasi sebesar 1.999%. Bentuk patahan serat dilihat dari samping akibat pengujian tarik menunjukkan patahan yang berbentuk tak beraturan seperti gerigi dan semakin ke ujung meruncing, sedangkan akibat pengujian kompatibilitas menunjukkan patahan yang sebagian matrik ikut tercabut pada ujung matrik yang menunjukkan adanya kecocokan serat terhadap matrik.

Kata kunci : Serat enceng gondok, NaOH, etanol, elongasi, tegangan tarik & tegangan interfacial

1. PENDAHULUAN

Selama ini, enceng gondok belum banyak digunakan di dunia industri. Penggunaannya masih terbatas pada pembuatan tas dan mebel anyam. Padahal, akhir-akhir ini para ilmuwan memberikan perhatian yang lebih terhadap material komposit yang ramah lingkungan. Material komposit yang banyak digunakan adalah komposit penguatan serat. Dalam perkembangannya, komposit yang terbuat dari *glass fibre reinforced plastic* (GFRP) merupakan polutan sehingga banyak peneliti yang beralih menggunakan serat alam. (Sigit, 2007) Salah satu jenis serat alam yang berpotensi untuk digunakan sebagai penguat bahan komposit adalah serat dari tumbuhan enceng gondok.

Potensi serat enceng gondok (*Eichornia crassipes*) sebagai material komposit sangat potensial mengingat dari segi ketersediaan bahan baku serat alam Indonesia cukup melimpah. Data perkembangan enceng gondok di Rawa Pening, Ambarawa - Jawa Tengah saat ini telah mencapai jumlah yang sangat banyak. Dari permukaan air Rawa Pening yang berkisar 7200 hektar, ± 6000 hektar diantaranya tertutup enceng gondok. Tumbuhan enceng gondok yang termasuk dalam kelompok gulma perairan memiliki kecepatan berkembang biak vegetatif yang sangat tinggi, terutama di daerah tropis dan subtropis. Tingkat pertumbuhan enceng gondok yang pesat yaitu satu batang enceng gondok dalam waktu 52 hari mampu menghasilkan tanaman baru seluas 1 m². (Harahap, 2003) Hal ini merupakan potensi besar enceng gondok untuk dapat

dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit serat alam yang ramah lingkungan.



Gambar 1. Enceng Gondok.

Dari segi internasional, konsep *back to nature* pun semakin digalakkan. Bahkan anjuran FAO kepada dunia industri dengan dideklarasikannya *International Year of Natural Fibres 2009* (IYNF 2009) pada tanggal 20 Desember 2006 yang menganjurkan mulai tahun 2009 sudah menggunakan bahan baku yang ramah lingkungan dan mudah terdegradasi. Hal ini merupakan peluang besar bagi serat enceng gondok agar segera diterapkan dalam dunia industri manufaktur komposit.

Riset pengaruh larutan alkali dan etanol terhadap kekuatan tarik serat enceng gondok dan kompatibilitas serat enceng gondok dipandang sangat penting untuk dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui kekuatan tarik dan kompatibilitas serat enceng gondok pada matrik *unsaturated polyester yukalac* tipe 157 BQTN-EX. Variabel yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kompatibilitas dalam penelitian ini adalah pengaruh perendaman serat enceng gondok dengan larutan alkali dan larutan

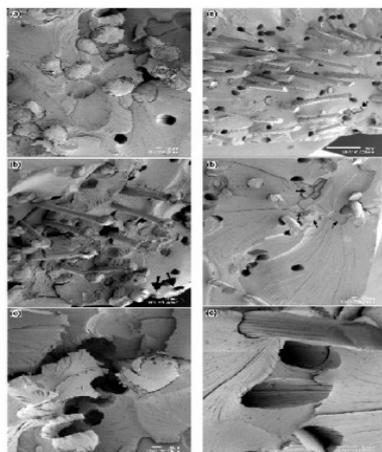
etanol. Variabel-variabel tersebut menjadi acuan penting untuk mengetahui sifat mekanis serat enceng gondok.

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan data kekuatan tarik dan kompatibilitas serat enceng gondok pada matrik *unsaturated polyester yukalac* tipe 157 BQTN-EX dan pemercepat pengembangan *natural fiber* yang ramah lingkungan pada dunia industri manufaktur komposit.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bentuk serat utamanya adalah benang panjang atau pendek dan biasanya dalam bentuk acak atau sudah dalam bentuk anyaman dari pabrik dengan variasi berat. Serat dalam bentuk anyaman atau acak bertujuan untuk memberikan pilihan agar kualitas komposit sesuai dengan keinginan dan fungsi dari material. (Sigit, 2007).

Zhu, dkk melakukan pengujian kompatibilitas pada material *BSS-fiber composites* dan *CSS-fiber composites* memberikan perbedaan yang signifikan pada hasil uji setelah dilihat dengan SEM seperti ditunjukkan pada gambar 2. Pada *BSS-fiber* menunjukkan terdapat gelembung matrik yang terangkat ke atas, sedangkan pada *CSS-fiber* relatif kecil. Rata-rata kekuatan *BSS-fiber composites* lebih besar dibandingkan *CSS-fiber composites* yaitu sebesar 11,1% dan 22,4% untuk kedalaman serat 3 mm dan 4,5 mm.



(a) (b)

Gambar 2. (a) Mikrografi SEM permukaan patahan pada *BSS-fiber composites*. (b) Mikrografi SEM permukaan patahan pada *CSS-fiber composites*.

George dkk (1996) melakukan perlakuan serat daun nanas dengan urutan: treatment NaOH 0,5% selama 1,5 jam, pencucian dengan air dingin, pencucian dengan HCl 0,1 M, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Selama perlakuan alkali, permukaan serat akan menjadi kasar. Topografi permukaan serat yang kasar menghasilkan *mechanical interlocking* yang lebih kuat dengan matrik. Adanya *mechanical interlocking* juga akan meningkatkan

viskositas campuran serat-matrik *polyethylene*. Selanjutnya, Eichhorn dkk (2001) juga membuktikan bahwa perlakuan alkali 8% NaOH pada serat jute dapat mengubah topografi permukaan serat dan struktur kristalnya.

Mechanical bonding komposit yang diperkuat serat alam dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia serat atau menggunakan *coupling agent*. Matrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin *unsaturated polyester yukalac* tipe 157 BQTN-EX dengan *hardener* MEKPO 1%. Komposit dibuat dengan metode 35%. Semua spesimen dilakukan post cure pada suhu 62°C cetak tekan selama 4 jam. Spesimen uji tarik mengacu pada standar ASTM D-638. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190.27 Mpa dan 0.44%. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya *fiber pull out*. (Diharjo, 2006).

Tegangan - Regangan

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Tegangan menurut Smith (1986) dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

dimana : σ = tegangan (N/mm²)

F = beban (Newton)

A_0 = Luas penampang awal (mm²)

Regangan (*strain*), e , adalah besar deformasi per satuan panjang. Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara pembagian antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang mula-mula. Perumusan regangan menurut Callister (1986) sesuai dengan persamaan 2.

$$\text{Regangan} = \frac{Lu - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots(2)$$

Keterangan : Lu = panjang sesudah patah (mm)

L_0 = panjang mula – mula (mm)

Regangan juga dapat dipengaruhi oleh luas penampang bahan material, yang dirumuskan seperti persamaan 3.

$$e = \frac{(A_0 - A_u)}{A_0} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Keterangan: e = regangan (%)

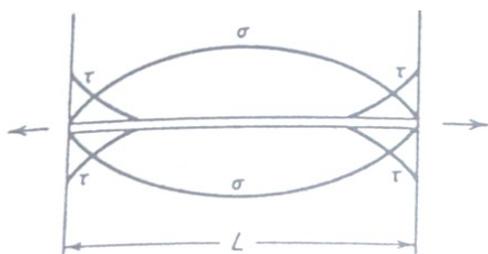
A_u = luas setelah pengujian (mm²)

A_0 = luas penampang awal (mm²)

Kekuatan Tarik Serat pada Matrik

Penurunan rumus kekuatan tarik dari komposit yang diperkuat serat dengan kaidah campuran (pendekatan) dirumuskan oleh Dieter (1987) yang digambarkan pada distribusi tegangan geser τ dan

tegangan tarik aksial σ sepanjang serat seperti gambar 3.



Gambar 3. Variasi tegangan sepanjang serat.

Bila bekerja gaya tarik P dalam arah serat, dapat dianggap bahwa serat dan matriks mengalami regangan yang sama yaitu $e_f = e_m = e_c$, maka gaya tarik P menurut Dieter (1987) seperti persamaan 4.

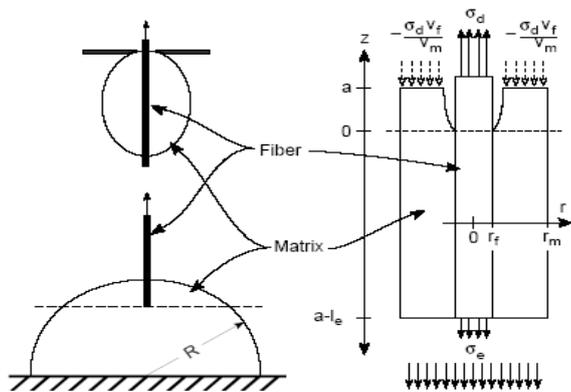
$$P = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m \dots\dots\dots(4)$$

dimana A_f adalah penampang serat dan A_m adalah penampang matriks. Jika luas komposit dinyatakan $A_c = A_f + A_m$, maka kekuatan rata-rata komposit sesuai persamaan 5.

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} = \frac{\sigma_f A_f}{A_c} + \frac{\sigma_m A_m}{A_c} \dots\dots\dots(5)$$

Kompatibilitas

Menurut John A. Nairn (2001) untuk menginterpretasikan terjadinya *fiber pull-out* dapat dimodelkan seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Bagian kiri menunjukkan ikatan mikro (atas) dan *pull-out* (bawah) geometri spesimen dan bagian kanan menunjukkan ekuivalen model silinder kedalam serat di dalam matrik.

Dari gambar 5 tersebut, apabila $a-l_e$ dianggap besarnya sama dengan l_e maka dapat dirumuskan tegangan geser *interfacial* sesuai dengan persamaan 6.

$$\tau = \frac{P}{2\pi r_f l_e} \dots\dots\dots(6)$$

dimana r_f adalah radius serat dan l_e adalah panjang serat di dalam matrik.

3. METODE PENELITIAN

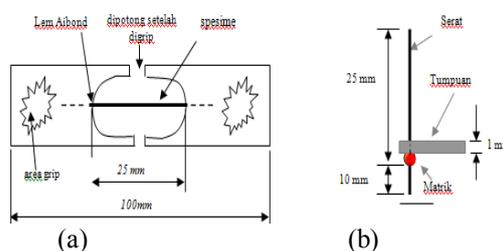
Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pembuatan penelitian ini meliputi serat enceng gondok (*eichhorniae crassipes*), resin *unsaturated polyester yukalac* tipe 157 BQTN-EX, *hardener metyl etyl keton peroksida* (MEKPO), kertas karton, lem aibon, larutan alkali (NaOH kadar 5%, 10%, 15 %), larutan etanol (C₂H₅OH kadar 5%, 10%, 15 %), dan aquades. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sikat baja, timbangan digital skala 0,001 gram, plat aluminium sebagai kedudukan uji kompatibilitas, gelas ukur, gelas plastik, gunting, cutter, mikrografi dan dial indicator, Kamera digital merk kodak 8 megapixels, dan alat uji tarik-mulur TENSO-LAB.UII model tenso 300 tipe 168E seri 397 produk Italy tahun 1997 yang dilengkapi dengan komputer.

Metode Perlakuan dan Pembuatan Spesimen

Tanaman enceng gondok dicuci hingga bersih kemudian dikeringkan selama 10 hari. Pembuatan serat dilakukan setelah enceng gondok kering disikat membujur searah dengan batang enceng gondok, lalu serat akan memisah dari daging tanaman enceng gondok. Serat kemudian diikatkan pada lidi posisi menggantung lalu direndam selama 2 jam pada larutan alkali (NaOH kadar 5%, 10 %, 15%) dan larutan etanol (C₂H₅OH kadar 5%, 10 %, dan 15%) seperti gambar. Pengangkatan serat dilakukan dengan mengangkat batang lidi lalu serat dinetralkan dengan larutan akuades. Kemudian serat dikeringkan secara alami pada suhu kamar selama 3 hari.

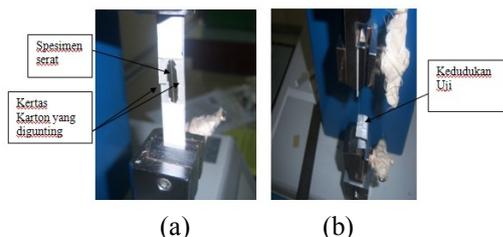
Pembuatan spesimen uji tarik dengan mengacu pada standar JIS R-7601 dengan menggunakan frame dari kertas karton seperti gambar 5a. Spesimen uji kompatibilitas dibuat dengan cara ujung serat enceng gondok ditetesi resin seperti gambar 5b. Pencampuran antara resin dan katalis adalah 1% yaitu setiap 100 cc resin, katalis yang digunakan 1 cc.



Gambar 5. (a) Spesimen uji tarik serat. (b) Spesimen uji kompatibilitas.

Metode Pengujian

Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik mulur TENSO LAB UII seperti gambar 6a dan pengujian kompatibilitas seperti gambar 6b.



Gambar 6. (a) Pengujian tarik serat, (b) Pengujian kompatibilitas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

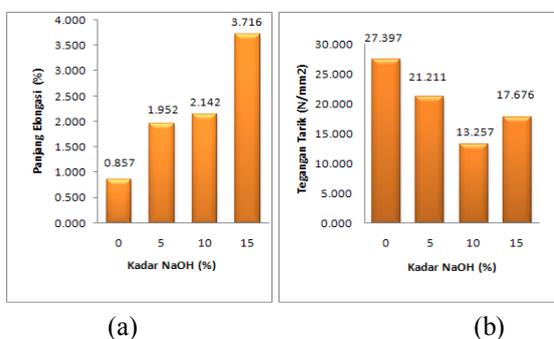
Batasan yang digunakan untuk menganalisa kekuatan tarik dan kompatibilitas adalah diameter serat enceng gondok dianggap seragam baik spesimen uji tarik maupun spesimen uji kompatibilitas. Pengukuran diameter serat dilakukan dengan menggunakan alat mikrofografi yang dirata-rata dari lima pengukuran sampel uji serat.

Pengujian Tarik-Mulur Serat

Tabel 1. Tabel hasil pengujian tarik mulur serat enceng gondok perlakuan alkali (NaOH)

No.	Perlakuan	Kadar (%)	Elongasi (%)	Luas Serat (mm ²)	Gaya Tarik (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)
1	Non Perlakuan	0	0.857	0.037	1.014	27.397
2	NaOH	5	1.952	0.037	0.785	21.211
3	NaOH	10	2.142	0.037	0.491	13.257
4	NaOH	15	3.716	0.037	0.654	17.676

Hasil pengujian menunjukkan nilai elongasi yang semakin meningkat, sedangkan kekuatan tarik terjadi penurunan akibat perendaman NaOH. Sehingga dapat dikatakan semakin banyak kadar NaOH akan meningkatkan nilai elongasi serat enceng gondok namun tidak dapat meningkatkan tegangan tarik yang melebihi serat enceng gondok non perlakuan. Diagram batang panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar NaOH sesuai dengan gambar 7a dan diagram batang tegangan tarik serat enceng gondok terhadap kadar NaOH sesuai gambar 7b.

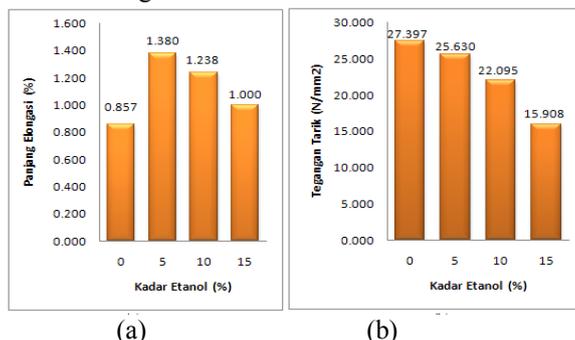


Gambar 7. (a) Grafik panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar NaOH dan (b) Grafik tegangan tarik serat enceng gondok terhadap kadar NaOH

Tabel 2. Tabel hasil pengujian tarik mulur serat enceng gondok perlakuan etanol (C₂H₅OH)

No.	Perlakuan	Kadar (%)	Elongasi (%)	Luas Serat (mm ²)	Gaya Tarik (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)
1	Non Perlakuan	0	0.857	0.037	1.014	27.397
2	Etanol	5	1.380	0.037	0.948	25.630
3	Etanol	10	1.238	0.037	0.817	22.095
4	Etanol	15	1.000	0.037	0.589	15.908

Hasil pengujian menunjukkan nilai elongasi meningkat dibandingkan dengan non perlakuan namun peningkatan kadar etanol akan menyebabkan penurunan nilai elongasi serat enceng gondok. Sehingga dapat dikatakan semakin banyak kadar etanol akan menurunkan nilai elongasi serat enceng gondok. Kekuatan tarik serat enceng gondok akibat perendaman dengan etanol semakin menurun dan semakin menurun seiring penambahan kadar etanol. Diagram batang panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar etanol sesuai dengan gambar 8a dan diagram batang tegangan tarik serat enceng gondok terhadap kadar etanol sesuai gambar 8b.



Gambar 8. (a) Grafik panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar etanol dan (b) Grafik tegangan tarik serat enceng gondok terhadap kadar etanol.

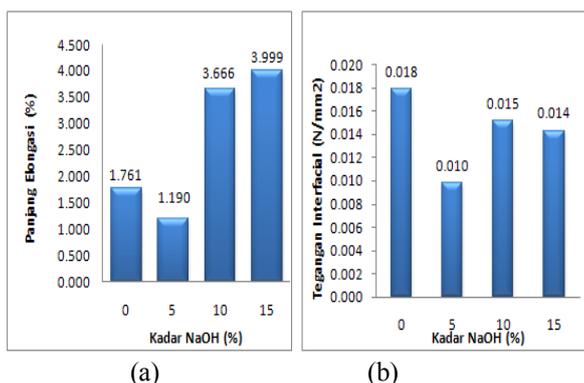
Pengujian Kopatibilitas

Tabel 3. Tabel hasil pengujian *single fiber pull out* perlakuan alkali

No.	Perlakuan	Kadar (%)	Elongasi (%)	Jari-jari Serat (mm)	Panjang Matrik (mm)	Gaya Tarik (N)	Tegangan Intefacial (N/mm ²)
1	Non Perlakuan	0	1.761	0.109	53.500	0.654	0.018
2	NaOH	5	1.190	0.109	53.500	0.360	0.010
3	NaOH	10	3.666	0.109	53.500	0.556	0.015
4	NaOH	15	3.999	0.109	53.500	0.523	0.014

Pengujian kompatibilitas dilakukan dengan metode *single fiber pull out*. Tegangan *interfacial* serat enceng gondok mengalami penurunan akibat perendaman dengan NaOH. Tegangan *interfacial* serat

enceng gondok dengan perlakuan perendaman dengan NaOH tertinggi pada serat dengan perendaman NaOH 10%. Hal tersebut terjadi akibat perubahan topografi serat yang menyebabkan *mechanical interlocking* serat terhadap matrik semakin kuat. Diagram batang panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar NaOH pada pengujian kompatibilitas sesuai pada gambar 9a dan diagram batang tegangan interfacial serat enceng gondok terhadap kadar NaOH sesuai gambar 9b.

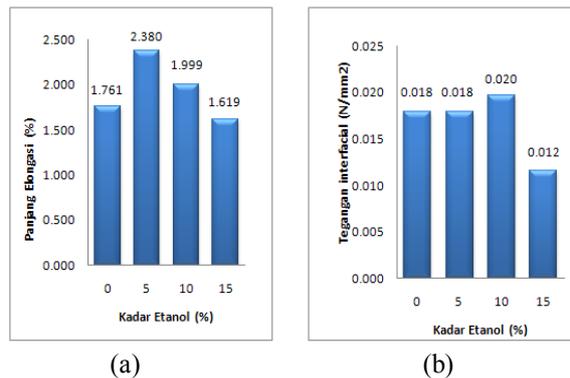


Gambar 9.(a) Grafik panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar NaOH dan (b) Grafik tegangan interfacial serat enceng gondok terhadap kadar NaOH

Tabel 3. Tabel hasil pengujian *single fiber pull out* perlakuan etanol

No.	Perlakuan	Kadar (%)	Elongasi (%)	Jari-jari Serat (mm)	Panjang matrik (mm)	Gaya Tarik (N)	Tegangan Interfacial (N/mm ²)
1	Non Perlakuan	0	1.761	0.109	53.500	0.654	0.018
2	Etanol	5	2.380	0.109	53.500	0.654	0.018
3	Etanol	10	1.999	0.109	53.500	0.719	0.020
4	Etanol	15	1.619	0.109	53.500	0.425	0.012

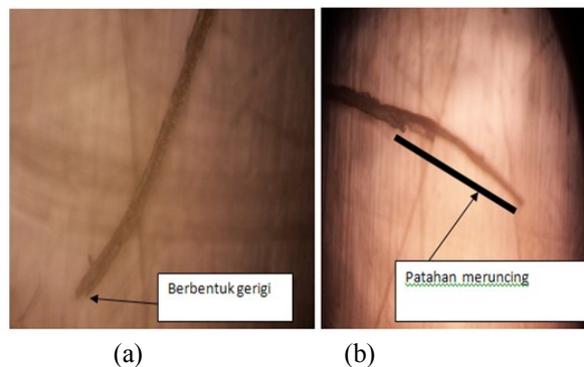
Hasil pengujian kompatibilitas serat enceng menunjukkan semakin banyak kadar etanol akan menurunkan nilai elongasi serat enceng gondok dan elongasi tertinggi etanol kadar 5%. Tegangan *interfacial* serat enceng tertinggi pada serat yang mengalami perlakuan perendaman dengan etanol dengan kadar 10%. Kondisi tersebut terjadi akibat adanya kompatibilitas serat dengan matrik yang baik pada serat dengan perlakuan perendaman pada etanol kadar 10%. Diagram batang panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar etanol pada pengujian *single fiber pull out* sesuai dengan gambar 10a dan diagram batang tegangan *interfacial* serat enceng gondok terhadap kadar etanol sesuai gambar 10b.



Gambar 10.(a) Grafik panjang elongasi serat enceng gondok terhadap kadar etanol dan (b) Grafik tegangan interfacial serat enceng gondok terhadap kadar etanol.

Penampang Patahan

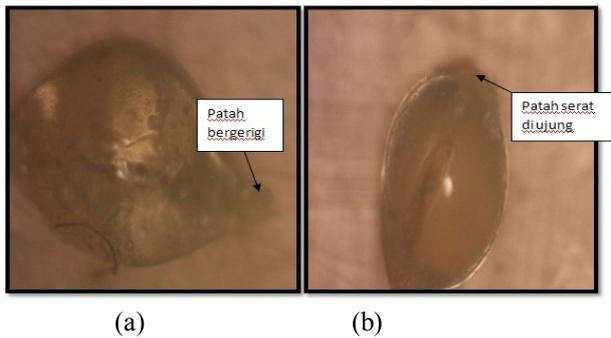
Berdasarkan hasil foto dengan alat mikrofografi, serat enceng gondok akibat pengujian tarik terdapat beberapa bentuk patahan yaitu patahan yang tidak teratur seperti gerigi dan patahan yang semakin ke ujung semakin meruncing. Patahan ujung yang berbentuk gerigi disebabkan akibat patahan yang langsung pada ujung serat tanpa adanya bagian yang saling melepas. Sedangkan patahan yang ujungnya semakin meruncing disebabkan karena serat mengalami tarikan yang sebagian serat terkelupas sehingga menyebabkan patahan yang semakin ke ujung semakin meruncing. Gambar patahan serat sesuai gambar 11a dan 11b.



Gambar 11.(a) Patahan serat berbentuk serat gerigi (perbesaran 50 kali) dan (b) Patahan serat meruncing (perbesaran 50 kali).

Foto mikrofografi akibat pengujian *single fiber pull out* menunjukkan beberapa bentuk patahan dilihat dari samping yaitu patahan yang ujungnya berbentuk tak teratur dan patah serat di ujung. Patahan yang tak teratur disebabkan akibat patahan yang sebagian matrik ikut tercabut bersamaan dengan serat sehingga ujung matrik menyerupai gerigi. Sedangkan patah serat di ujung disebabkan karena matrik tidak ikut tercabut sehingga ujung dari patahan terlihat halus dari samping. Hal tersebut menunjukkan adanya

kompatibilitas (kecocokan) antara serat dan matrik. Gambar patahan sesuai gambar 12a dan 12b.



Gambar 12.(a) Patahan ujung matrik berbentuk gerigi (perbesaran 50 kali) dan (b) Patahan ujung matrik meruncing (perbesaran 50 kali).

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh perendaman serat enceng gondok pada larutan alkali (NaOH) kadar 5 %, 10 %, 15% dan etanol (C₂H₅OH) kadar 5 %, 10 %, 15% selama 2 jam, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin banyak kadar NaOH akan meningkatkan nilai elongasi serat enceng gondok namun tidak dapat meningkatkan tegangan tarik serat enceng gondok.
2. Kekuatan tarik serat enceng gondok akibat perendaman dengan etanol semakin menurun seiring penambahan kadar etanol.
3. Pengaruh perendaman larutan alkali dan etanol selama 2 jam menunjukkan nilai tegangan *interfacial* tertinggi pada perlakuan perendaman dengan menggunakan larutan etanol dengan kadar 10%.
4. Bentuk patahan serat dilihat dari posisi samping akibat pengujian tarik menunjukkan patahan yang berbentuk gerigi dan semakin meruncing ke ujung, sedangkan akibat pengujian kompatibilitas menunjukkan patahan yang sebagian matrik ikut tercabut pada ujung matrik yang menunjukkan adanya kecocokan serat terhadap matrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1981. "JIS Hand Book", Japan
- Callister D.W., 1996. "Materials Science And Engineering". John Wiley & Sons, Univ of Utah
- Dieter G., E., (1987). "Mechanical Metallurgy", 2nd Edition, McGraw Hills Company, Tokyo.
- Eichorn, 2001. "Review Current International Research Into Cellulosic Fibres And Composites". Journal of Materials Science 36 (2001) 2107 – 2131. UMIST
- George J., Janardhan R., Anand J.S., Bhagawan S.S. dan Thomas S., 1996. "Melt Rheological behavior of Short Pineapple Fibre Reinforced Low Density Polyethylene Composites", Journal of Polymer, Volume 37, No. 24, Gret Brittain
- Harahap, A.S., Suhariyuwanto, dan Bambang SM., 2003. "Kerajinan Tangan Enceng Gondok" Balai Pengembangan Pendidikan Luar Sekolah dan Pemuda (BPPLSP) Jawa Tengah.
- Nairn J.A., Liu C.H., Mendels D.A., Zhandarov S., 2001. "Fracture Mechanics Analysis Of The Single-Fiber Pull-Out Test And The Microbond Test Including The Effects Of Friction And Thermal Stresses". Univ. of Utah, Salt Lake City, USA
- Sigit. 2007., "Diskusi Pembuatan Komposit Sandwich" PT.INKA, Madiun
- Smith F.W., 1986. "Principles of Materials Science And Engineering". Mc.Graw-Hill, Univ. of Central Florida.
- Y.T. Zhu, J.A. Valdez, I.J. Beyerlein, S.J. Zhou, C. Liu, M.G. Stout, D.P. Butt, dan T.C. Lowe. "Mechanical Properties of Bone-Shaped-Short-Fiber Reinforced Composites". Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.