

Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Peningkatan Kekuatan Impak Komposit Berpenguat Serat Nanas-Nanas (*Bromeliaceae*) Kontinyu Searah dengan Matrik *Unsaturated Polyester*

(The Effect of Fiber Volume Fraction on The Impact Strength of Continuous Bromeliaceae Fiber/Unsaturated-Polyester Composites)

MUH. BUDI NUR RAHMAN, TOTOK SUWANDA

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the effect of fiber volume fraction and alkali (5% NaOH solution) treatment on the impact strength and failure mode of continuous *bromeliaceae* fiber/BQTN 157 polyester composites. Specimens being tested were produced using press mold technique. Fiber volume fraction was varied from 20% to 40%, while the the soaking time of the alkali treatment was between 2 and 8 hours. Whilst the impact test was carried out in accordance with the ASTM D5941 standard, the micro-structures of the broken specimens were presented as photo macrographs. The result showed that failure energy was sharply increase, 0.22 J (69.23%), upto fiber volume fraction of 34,44%. Further increase of fiber content resulted in decreasing slope of the failure energy increase. The corresponding impact strength was found being 0,0046 J/mm². The effect of soaking time of the alkali treatment on the failure energy and impact strength showed similar trend. Optimum result was obtained at 6 hours of soaking time, *i.e.* 0,27 J of failure energy and 0,0055 J/mm² of impact strength. Eight hours of soaking time resulted in the damage of fiber surface leading to decrease of failure energy and impact strength of the resulted composites. Hinge break showing fiber pull out was observed in the failure surfaces of various fiber contents, with the increase of soaking time resulted in decrease of the amount of pulled-out fibers.

Keywords: bromeliaceae fibers, impact strength, hinge break, fiber pull out.

PENDAHULUAN

Sejak dekade 1950-an, para ilmuwan memberikan perhatian yang lebih terhadap material komposit. Jenis komposit yang paling banyak dikembangkan adalah komposit berpenguat serat. Keuntungan penggunaan komposit antara lain ringan, tahan korosi, tahan air, *performance*-nya baik, dan tanpa proses pemesinan. Beban konstruksi pun menjadi lebih ringan. Harga produk komponen yang dibuat dari komposit *glass fibre reinforced polyester* (GFRP) dapat turun hingga 60%, dibanding produk logam (Diharjo, et al., 2003). Penggunaan komposit mampu mereduksi penggunaan bahan logam impor.

Perkembangan plastik meningkat sejak ditemukannya material komposit yang secara harfiah disebut *reinforced plastic*. Komposit

cepat diserap dan dipakai di industri pesawat terbang, otomotif, militer, alat olah raga, kedokteran, bahkan sampai peralatan rumah tangga. Boeing 757 menggunakan komposit pada badan dan sirip belakang. Casis mobil Formula-1 dan rangka sepeda balap juga menggunakan komposit sebagai struktur utama.

Produsen mobil *Daimler-Benz* bekerjasama dengan UNICEF mengembangkan serat alam pada komponen otomotif dan pesawat terbang. PT. INKA juga termasuk perusahaan yang mengembangkan aplikasi komposit pada gerbong kereta api dan telah mampu mengaplikasikan komposit GFRP untuk *front end* KRLI dan *mask* KRL-Nas (Diharjo, et al., 2003). Saat ini penggunaan komposit GFRP ini telah meluas pada berbagai komponen kendaraan. Namun demikian serat gelas merupakan material yang tidak ramah

lingkungan, karena limbahnya memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai secara alami.

Solusi dengan mencari serat alam alternatif yang memiliki sifat mekanis tinggi dipandang penting dilakukan. Di daerah Piyungan, Bantul, Yogyakarta banyak terdapat tanaman sejenis nanas liar (*bromeliaceae*), yang tahan terhadap musim kemarau (Nuri, et al., 2006). Tanaman ini merupakan salah satu jenis tanaman penghasil serat di bagian daunnya yang tebal, seperti pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Tanaman nanas-nanasan

Dahulu serat tanaman ini dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan tali. Karena harga tali plastik jauh lebih murah, akibatnya usaha pembuatan tali dari bahan serat nanas-nanasan menjadi punah. Oleh karena itu pemanfaatan serat nanas-nanasan sebagai penguat bahan komposit di bidang rekayasa merupakan salah satu gagasan kreatif yang layak dikembangkan.

Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan fraksi volume serat V_f dan pengaruh perlakuan alkali serat terhadap peningkatan kekuatan impak komposit serat nanas-nanasan-UPRs serta mengetahui karakteristik penampang patahan uji impak komposit.

Yanuar dan Diharjo (2002) melakukan pengujian kekuatan tarik, bending dan impak terhadap komposit dengan serat gelas 3 layer dalam bentuk *chopped strand mat* dengan berat 300 gram/m². Dari pengujian tersebut diperoleh hasil kekuatan tarik sebesar 67,118 MPa, kekuatan bending 175,25 MPa dan kekuatan impaknya 0,045 J/mm².

Pada komposit GFRP, penggunaan serat *Chopped strand mat* (CSM) di antara layer *woven roving* dapat mengatasi penurunan kekuatan komposit yang disebabkan oleh adanya daerah yang miskin serat. Besarnya

peningkatan ketahanan impak tersebut mencapai 187% (Diharjo, et al., 2003).

George et al. (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.

Kuat tarik komposit kenaf-poliester dapat meningkat secara signifikan dengan mensubstitusi penguat serat kontinu searah. Komposit yang diperkuat serat kenaf kontinu searah bermatrik poliester pada $V_f = 54.63\%$ atau $W_f = 58.1\%$, memiliki kekuatan tarik 216.8 MPa dan modulus tarik 26.79 GPa. Penampang patahan komposit tersebut mengindikasikan patahan tipe *splitting in multiple area* (Diharjo et al., 2003).

Menurut Jamasri et al. (2005), komposit dengan penguatan serat sawit memberikan peningkatan kuat tarik yang sangat baik, yaitu sebesar 11 MPa, 14,21 MPa, 15,15 MPa dan 18,51 Mpa, masing-masing untuk fraksi berat serat 19%, 27%, 30%, 36% dan 42%. Peningkatan kandungan serat sampai dengan 30% tidak memberikan peningkatan harga modulus dan regangan patah yang signifikan. Peningkatan harga modulus dan regangan patah mulai terlihat pada penguatan di atas 36% fraksi berat serat. Patahan komposit serat sawit pada uji tarik didominasi oleh mekanisme *fiber pull out*.

Ray et al. (2001) melakukan perlakuan serat jute dengan larutan alkali 5% selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam, yang dilanjutkan dengan pencucian dan penetralan alkali dengan asam asetat, serta pengeringan pada temperatur kamar selama 48 jam dan dioven pada 100° C selama 6 jam. Perkembangan serat jute meningkatkan modulus elastisitasnya sebesar 12%, 68%, dan 79% setelah perlakuan berturut-turut, 4, 6, dan 8 jam. *Tenacity* serat juga meningkat 46% setelah 6 dan 8 jam perlakuan. Namun persentase regangan patah serat menurun 23% setelah perlakuan 8 jam. Hasil pengujian kekuatan lentur komposit menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi terjadi pada perlakuan 4 jam, dengan kurva *tenacity* dan % regangan patah bertemu pada satu titik.

Kajian Teori Komposit

Gibson (1994) menyatakan bahwa penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume, agar dihasilkan komposit berkekuatan tinggi. Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik komposit adalah perbandingan matrik dan penguat serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi massa serat (m_f). Fraksi volume dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 (Shackelford, 1992).

$$V_f = \frac{m_f / \rho_f}{m_f / \rho_f + m_m / \rho_m} \quad (1)$$

$$m_f = \frac{\rho_f \cdot v_f}{\rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m} \quad (2)$$

dengan V_f : fraksi volume serat (%), m_f : massa serat (g), m_m : massa matrik (g), v_f : volume serat (mm^3), v_m : volume matrik (mm^3), ρ_f : massa jenis serat (g/mm^3), ρ_m : massa jenis matrik (g/mm^3).

Perhitungan fraksi massa dipandang lebih mudah dibandingkan dengan fraksi volume. Menurut Kaw (1997), fraksi massa serat dapat dihitung secara disederhanakan seperti dalam Persamaan 3.

$$M_f = \frac{m_f}{m_c} \quad (3)$$

dengan M_f : fraksi massa serat (%), m_f : massa serat (kg), m_c : massa komposit (kg).

Kekuatan komposit dapat ditentukan dengan Persamaan 4 (Shackelford, 1992).

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad (4)$$

dengan: σ_c : kekuatan komposit (N/mm^2), σ_f : kekuatan serat (N/mm^2), σ_m : kekuatan matrik (N/mm^2), v_f : volume serat (mm^3), v_m : volume matrik (mm^3).

Kajian Teori Impak Komposit

Pengujian impact dapat dilakukan dengan dua cara yaitu impact *charpy* dan impact *izot*. Jenis beban impact yang diterapkan sebaiknya jenis beban kecil, karena kekuatan impact komposit juga relatif lebih rendah dari bahan logam. Pengujian impact komposit dapat dilakukan dari arah depan dan arah samping, sesuai dengan kondisi beban nyata yang akan diterima oleh panel komposit. Besarnya energi yang terserap pada pengujian impact izot dapat dihitung dengan Persamaan 5 dari *Gotech-manual Book*.

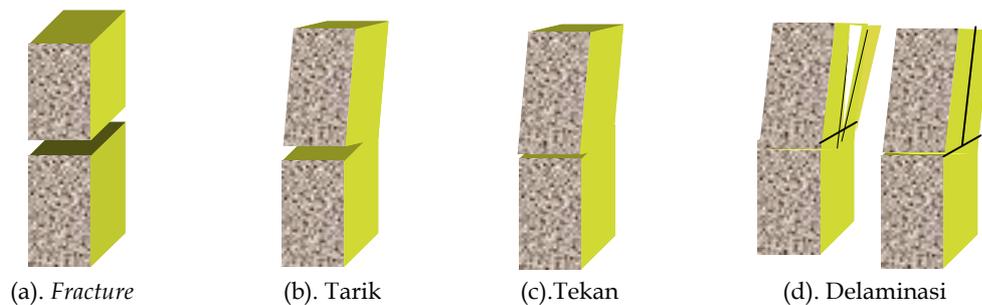
$$E_{patah} = WR[(\cos \beta - \cos \alpha)] \quad (5)$$

$$\sigma_{impak} = \frac{E_{patah}}{A} \quad (6)$$

dengan E_{patah} : energi yang terserap untuk mematahkan spesimen (J), W : berat pendulum (N), R : panjang lengan pendulum (m), β : sudut pantul pendulum ($^\circ$), α : sudut ayun pendulum ($^\circ$), σ_{impak} : kekuatan impact (J/mm^2),

E_{patah} : energi serap (J), A : luas penampang komposit (mm^2).

Beberapa pola kegagalan uji impact ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Karakteristik kegagalan impact

METODE PENELITIAN

Bahan utama penelitian adalah serat nanas-nanasan, NaOH, resin unsaturated *polyester* BQTN 157, dan hardener MEKPO (*metil etil keton peroksida*). Serat nanas-nanasan yang digunakan adalah jenis serat kontinu yang diperoleh dari daerah Piyungan, Bantul, Yogyakarta. Pada serat nanas-nanasan dilakukan perlakuan perendaman dalam larutan 5% NaOH selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam. Penataan serat agar teratur dapat digunakan sisir. Bahan matrik yang digunakan adalah *unsaturated polyester* BQTN 157, yang disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya Jakarta. Kadar hardener MEKPO yang digunakan adalah 1% dari volume poliester.

Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan untuk variasi V_f antara 20 – 50%. Komposit hasil cetakan tersebut dipotong dengan gerinda tangan untuk dijadikan spesimen uji bending. Spesimen tersebut mengacu pada standar ASTM D 5941. Efek pemotongan dieliminasi dengan dihaluskan menggunakan kertas amplas. Bagian *gripping*

area diberi *tab* dari kertas amplas. Semua spesimen dilakukan *post cure* pada suhu 50°C selama 4 jam.

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan mesin uji impak izod. Data hasil uji impak diolah menjadi kurva hubungan antara energi terserap dan kekuatan impak versus W_f . Pada penampang patahan dilakukan foto makro untuk menyelidiki mekanisme perpisahannya.

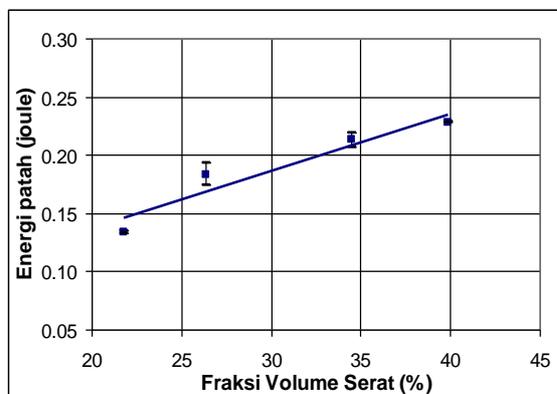
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Impak

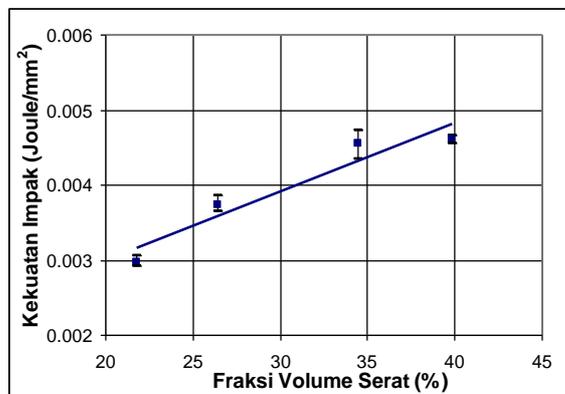
Energi patah komposit serat nanas-nanasan - polyester meningkat secara linier seiring dengan peningkatan fraksi volume serat. Energi patah adalah energi yang diserap untuk mematahkan spesimen. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

TABEL 1. Energi patah dan kekuatan impak komposit berpenguat serat nanas-nanasan kontinyu searah tanpa perlakuan alkali

m_f (gram)	V_f (%)	Energi Patah (J)			Kekuatan Impak (J/mm ²)		
		Min	Rata-rata	Maks	Min	Rata-rata	Maks
13.32	21.76	0.13	0.13	0.13	0.0029	0.0030	0.0031
19.98	26.38	0.17	0.18	0.19	0.0037	0.0037	0.0039
26.64	34.44	0.21	0.22	0.22	0.0043	0.0046	0.0047
33.30	39.85	0.23	0.23	0.23	0.0046	0.0046	0.0047



(a)



(b)

GAMBAR 3. Hubungan antara fraksi volume serat dengan energi dan kekuatan impak komposit berpenguat serat nanas-nanasan kontinyu searah tanpa perlakuan alkali

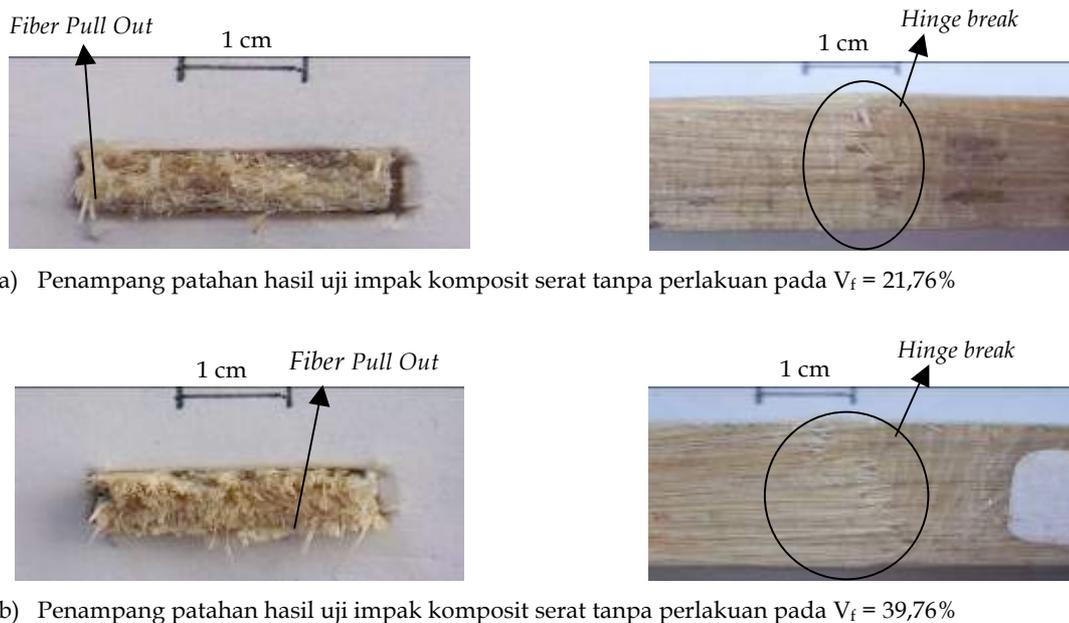
Dari Gambar 3 tampak bahwa kekuatan impact meningkat secara linier seiring dengan penambahan fraksi volume serat. Nilai kekuatan impact dipengaruhi oleh nilai energi patah dan luas penampang komposit yang diuji. Kekuatan impact komposit dengan kandungan serat 34,44% dan 39,85% sama, yaitu sebesar $0,0046 \text{ J/mm}^2$. Hasil ini menunjukkan bahwa kekuatan impact komposit optimum pada fraksi volume sekitar 35%. Hal ini berlaku untuk proses manufaktur dengan metoda cetak tekan. Penambahan jumlah serat menyebabkan peningkatan ketahanan komposit terhadap beban kejut pendulum. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar komposit bahwa serat berfungsi sebagai penguat. Selama matrik mengikat serat dengan baik, semakin besar kandungan serat semakin besar pula kekuatan kompositnya. Ketika serat terputus karena beban kejut, matrik akan meneruskan beban

dari ujung serat yang putus ke serat lain yang belum putus.

Karakteristik patahan komposit pada berbagai fraksi volume serat adalah *hinge break*, seperti pada Gambar 4. Pada fraksi volume serat 21,76 %, jumlah *fiber pull out* lebih sedikit dibandingkan dengan komposit dengan kandungan serat yang lebih banyak. Komposit dengan fraksi volume serat 39,85% memiliki kegagalan *fiber pull out* yang lebih banyak karena kandungan seratnya pun lebih besar. Selain itu penampang patahnya menunjukkan patah banyak, sehingga kekuatan impactnya lebih besar.

2. Pengaruh Perlakuan Alkali Serat terhadap Kekuatan Impact Komposit

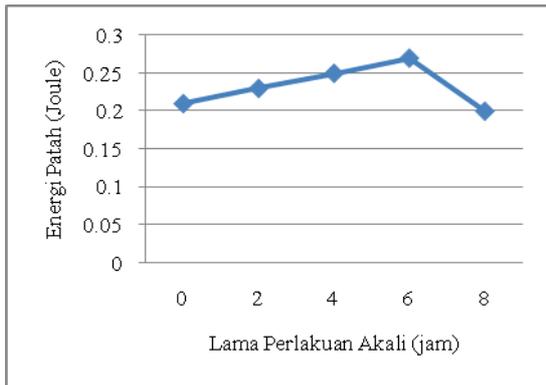
Hasil pengujian kekuatan impact ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5.



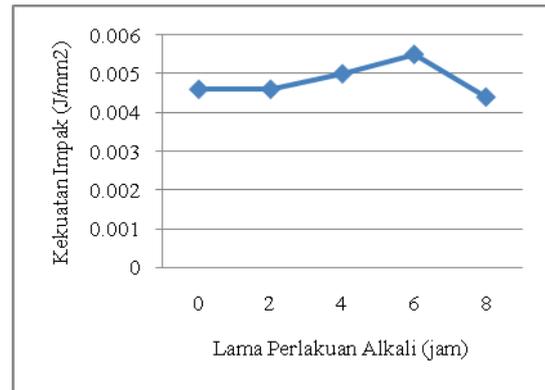
GAMBAR 4. Penampang patahan hasil uji impact dengan fraksi volume berbeda

TABEL 2. Hasil perhitungan pengujian impact komposit serat nanas-nanasan dengan perlakuan alkali

Perlakuan alkali (Jam)	V_f (%)	Energi patah (J)	Kekuatan impact (J/mm^2)
0	33,44	0,21	0,0046
2	33,88	0,23	0,0046
4	33,22	0,25	0,0050
6	33,94	0,27	0,0055
8	32,48	0,20	0,0044



(a) Energi patah



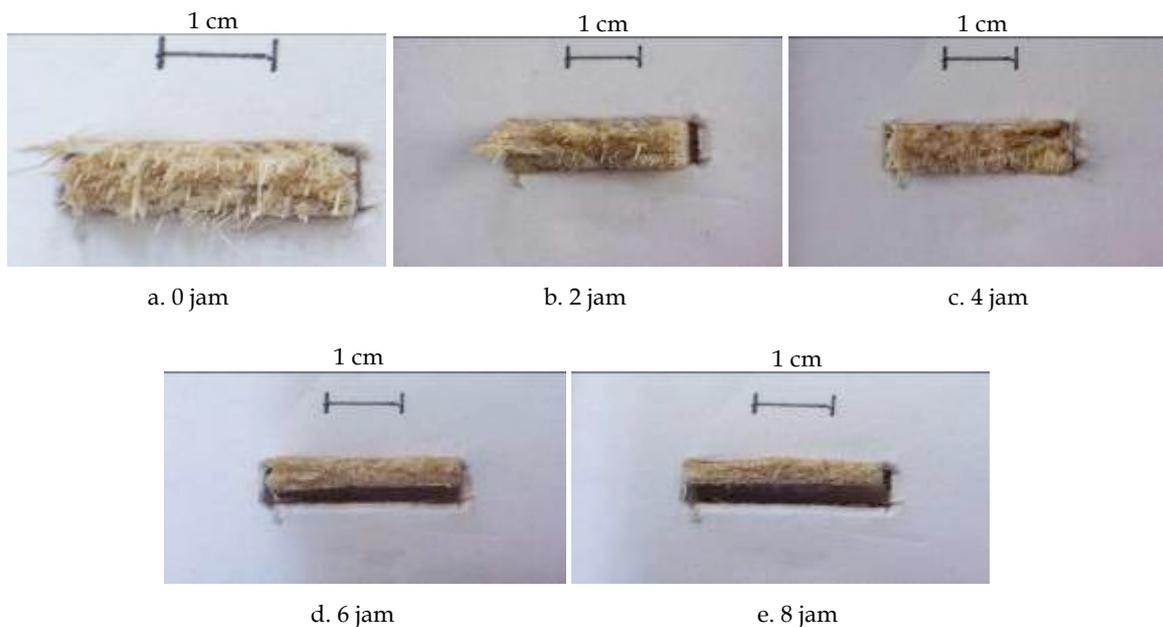
(b) Kekuatan Impak

GAMBAR 5. Pengaruh lama perlakuan alkali pada serat terhadap energi patah dan kekuatan impak komposit serat nanas-nanasan kontinyu searah.

Pada perlakuan alkali (5% NaOH) selama 0 jam, 2 jam dan 4 jam, energi patah dan kekuatan impak meningkat seiring dengan lamanya perlakuan alkali. Kekuatan impak tertinggi terjadi pada komposit berpenguat serat dengan perlakuan alkali 6 jam, yaitu sebesar $0,0055 \text{ J/mm}^2$. Peningkatan kekuatan impak terjadi karena lapisan pelindung serat (*lignin*) dan kotoran-kotoran lain yang melekat pada serat sudah terlepas, sehingga rekatan polyester dengan serat nanas-nanasan menjadi sangat kuat dan menghasilkan energi patah dan kekuatan impak tertinggi. Selanjutnya, pada perlakuan alkali 8 jam terjadi penurunan nilai energi patah dan menghasilkan kekuatan impak terendah, yaitu sebesar $0,0044 \text{ J/mm}^2$.

Terjadinya penurunan kekuatan impak komposit tersebut disebabkan karena adanya kerusakan permukaan serat yang diakibatkan oleh perlakuan alkali yang terlalu lama. Jadi serat mengalami degradasi kekuatan setelah mengalami perlakuan alkali selama 8 jam.

Gambar 6 menunjukkan bahwa kegagalan semua material komposit adalah *hinge break*, dengan patahan yang terjadi adalah menggantung (tidak lepas). Pada 0 jam perlakuan alkali, serat tercabut dari matrik akibat beban impak. Hal ini mengindikasikan lemahnya ikatan matrik terhadap serat karena adanya lapisan *lignin* yang masih melekat pada permukaan serat.



GAMBAR 6. Penampang patahan komposit uji impak *izod* tanpa dan dengan perlakuan alkali pada fraksi volume serat sekitar 34 %

Semakin lama perlakuan alkali serat, semakin sedikit jumlah serat yang mengalami kegagalan *fiber pull out*. Pada perlakuan alkali 6 jam, jumlah serat yang tercabut saat dilakukan pengujian sangat sedikit. Hal ini mengindikasikan pada perlakuan alkali 6 jam lapisan pelindung pada serat sudah terkikis sempurna, sehingga terjadi peningkatan daya rekat matrik terhadap serat. Dengan perlakuan alkali 6 jam didapatkan energi serap dan kekuatan impak paling optimal. Pada 8 jam perlakuan alkali lapisan pelindung pada serat sudah terkikis sempurna, tetapi serat mengalami kerusakan akibat terlalu lamanya perlakuan alkali. Akibatnya kekuatan komposisinya pun menjadi sangat rendah.

KESIMPULAN

1. Peningkatan fraksi volume serat akan meningkatkan nilai energi patah dan kekuatan impak komposit serat nanas-nanasan kontinyu. Kekuatan impak komposit dengan kandungan serat 34,44% dan 39,85% sama, yaitu sebesar 0,0046 J/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa kekuatan impak komposit optimum pada fraksi volume sekitar 35%. Karakteristik patahan komposit adalah *hinge break*, dan *fiber pull out*. Pada fraksi volume 39,85% penampang patah berbentuk patah banyak.
2. Semakin lama waktu perlakuan alkali 5% NaOH akan meningkatkan energi patah dan kekuatan impak sampai waktu 6 jam, namun pada waktu 8 jam nilainya lebih rendah. Perlakuan alkali 6 jam menghasilkan kekuatan impak optimum sebesar 0,0055 J/mm² pada fraksi volume *real* 33,94 %. Penurunan nilai kekuatan impak terjadi pada 8 jam perlakuan alkali menjadi 0,0044 J/mm² pada fraksi volume *real* 32,48 %. Karakteristik hasil foto makro pada penampang patahan komposit 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam perlakuan alkali adalah jenis *hinge break*. Seiring dengan lamanya perlakuan alkali, serat yang tercabut pada patahan makin sedikit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya disampaikan kepada DP2M

Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Dosen Muda Tahun Anggaran 2007. Selain itu, terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada Fadli Budi Dharma, ST yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (2003). Annual Book of ASTM Standard, *ASTM D 790 & ASTM D 5941*, Section 4, Vol. 04.06, ASTM, West Conshohocken, E-1050-90.
- Diharjo K., Soekrisno, Triyono & Abdullah G. (2003). *Rancang bangun dinding kereta api dengan komposit sandwich serat gelas*, Penelitian Hibah Bersaing X, Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia.
- George J., Janardhan R., Anand J.S., Bhagawan S.S. & Thomas S. (1996). Melt rheological behavior of short pineapple fibre reinforced low density polyethylene composites, *Journal of Polymer*, Volume 37, No. 24, Great Britain.
- Gibson, O. F. (1994). *Principle of composite materials Mechanics*, New York: McGraw-Hill Inc.
- Jamasri, Diharjo K. & Gunesti W.H. (2005). Kajian sifat tarik komposit serat buah sawit acak bermatrik polyester, *Jurnal Terakreditasi Media Teknik FT UGM*.
- Nuri S.H., Suwanda T., Diharjo K., & Amin S. (2006). *Kajian komprehensif pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan komposit berpenguat serat nanas-nanasan (bromeliaceae)*, Penelitian Dosen Muda, Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.
- Ray D., Sarkar B.K., Rana A.K., & Bose N.R. (2001). Effect of alkali treated jute fibres on composites properties, *Bulletin of Materials Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 129-135, Indian Academy of science.

Shackelford (1992). *Introduction to material science for engineer*, Third Edition, New York: Mac Millan Publishing Company.

Yanuar D. & Diharjo K. (2002). *Karakteristik mekanis komposit sandwich serat gelas serat chopped strand mat dengan penambahan lapisan gel coat*. Skripsi, Teknik Mesin FT UNS, Surakarta.

PENULIS:

Muh. Budi Nur Rahman✉, Totok Suwanda

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta.

✉Email: nurrahman_umy@yahoo.co.id