

Pengaruh *Moisture Content* dan *Thermal Shock* Terhadap Sifat Mekanik Komposit Hibrid Berbasis Serat Gelas dan Coir (Aplikasi: *Blade* Turbin Angin)

Mastariyanto Perdana ^{a)}, Jamasri

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

a) E-mail : mastariyanto.perdana@gmail.com

Abstrak

Salah satu pemanfaatan komposit adalah sebagai material *blade* turbin angin. Ini disebabkan komposit memiliki sifat ringan dan relatif kuat. Namun, komposit yang berbasis serat sintesis dikurangi penggunaannya untuk mendapatkan sifat ramah lingkungan. Sehingga penelitian ini menggunakan serat hibrid yang terdiri dari 60% *fiberglass* dan 40% *coir*. Fraksi volume antara serat hibrid dan epoksi adalah 30:70. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *trendline* perubahan sifat mekanik dari komposit akibat pengaruh lingkungan (*moisture content* dan *thermal shock*) karena komposit akan diaplikasikan sebagai bahan *blade* turbin angin. Komposit direndam dalam air dengan variasi perendaman 6, 12, 18, dan 24 jam untuk mengetahui pengaruh *moisture content*. Pengaruh *thermal shock* diuji dengan pemanasan 80°C dan pendinginan dengan siklus 5, 10, 15, dan 20. Hasil pengujian menunjukkan degradasi kekuatan tarik dan ketangguhan impak komposit. Penurunan kekuatan tarik akibat pengaruh perendaman untuk masing-masing variasi sebesar 6.63%, 15.60%, 22.65% dan 28,61%. Penurunan kekuatan tarik akibat pengaruh siklus *thermal shock* berturut-turut 3.83%, 9.60%, 17.28%, dan 4.98%. Penurunan ketangguhan impak akibat pengaruh perendaman untuk masing-masing variasi sebesar 40.66%, 44.00%, 47.33% dan 48.00%. Penurunan ketangguhan impak akibat siklus *thermal shock* berturut-turut 24.67%, 46.67%, 51.33%, dan 51.33%. Degradasi kekuatan komposit disebabkan terjadinya *pull-out*, delaminasi, dan perubahan struktur komposit menjadi lebih getas (*brittle*).

Kata kunci : Komposit, serat hibrid, *moisture content*, *thermal shock*, sifat mekanik

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material komposit sebagai bahan konstruksi atau komponen suatu produk berkembang sangat pesat pada saat ini. Ini dikarenakan keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh material komposit, diantaranya adalah massa jenis yang rendah, kekuatan yang relatif besar, dan nilai ekonomis yang tinggi. Namun, penggunaan serat sintetis yang banyak menimbulkan masalah yang cukup serius bagi lingkungan, maka penggunaan serat sintetis sebagai penguat pada komposit saat ini mulai ditinggalkan dan sebagai penguat pada komposit. Industri cenderung menggunakan serat alam (*natural fiber*) karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan, disamping ketersediaan serat alam yang sangat melimpah dan pemanfaatannya sampai saat ini masih belum optimal. Pohon kelapa (*cocos nucifera*) merupakan salah satu sumber serat alam alternatif yang sangat menjanjikan

untuk digunakan sebagai penguat pada material komposit, mengingat sumbernya yang cukup melimpah, apalagi di daerah tropis seperti Indonesia. Produksi buah kelapa Indonesia rata-rata 15,5 milyar butir/tahun atau setara dengan 1,8 juta ton serat sabut [1].

Namun pemanfaatan dari serat kelapa (*coir*) ini untuk aplikasi bidang keteknikan masih sedikit sekali. Pemanfaatan serat *coir* masih dalam bentuk papan partikel [2].

Penelitian tentang *coir* ini telah banyak dilakukan pada akhir-akhir ini, salah satunya adalah cara untuk meningkatkan daya ikat *coir* dengan matrik dengan cara memberikan perlakuan alkali pada serat sehingga menghasilkan kekuatan komposit yang maksimal. Pengaruh perlakuan alkali berbeda-beda

untuk tiap jenis serat. Menurut Rahmat dkk, untuk meningkatkan daya ikat serat coir dengan matrik maka serat diberikan perlakuan alkali (NaOH) dengan cara merendam serat dalam larutan NaOH 20% selama 30 menit karena memberikan kekuatan komposit yang paling tinggi [3].

Sedangkan perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam pada serat rami memberikan kekuatan tarik yang paling tinggi [4].

Aplikasi coir sebagai bahan dasar komposit untuk komponen teknik belum banyak dimanfaatkan. Pada saat ini, salah satu aplikasi komposit adalah pada sudu turbin angin. Komposit yang dipakai adalah komposit yang menggunakan serat sintetis [5].

Serat gelas dan matrik epoksi sangat sering digunakan sebagai bahan *blade* turbin angin [6].

Namun penggunaan serat sintetis membutuhkan biaya yang besar dan ketersediaan serat coir yang melimpah di alam, maka pada penelitian ini bahan komposit yang nantinya bisa digunakan untuk aplikasi sudu turbin ini dibuat dengan menggabungkan serat gelas (*fiberglass*) dengan serat coir menjadi serat hibrid. Serat coir bisa menggantikan penggunaan serat gelas untuk mendapatkan biaya pembuatan komposit yang lebih murah dan ramah lingkungan [7].

Untuk mendapatkan kekuatan yang relatif tinggi tapi bisa mengurangi polusi pada lingkungan maka komposit bisa menggunakan serat hibrid antara serat coir dan serat gelas. Ketahanan terhadap pengaruh lingkungan merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan sudu turbin angin. Material komposit dapat terdegradasi oleh serangan lingkungan seperti *moisture diffusion*, *thermal spikes*, radiasi ultraviolet dan oksidasi panas [8].

Karena komposit berbasis serat coir dan serat gelas ini diharapkan bisa dimanfaatkan sebagai bahan sudu turbin angin, maka pengaruh lingkungan adalah salah satu hal penting yang dianalisis pada material komposit. Komposit serat hibrid diuji untuk melihat pengaruh dari *moisture content* (perendaman) dan pengaruh *thermal shock* terhadap sifat mekanik komposit serat hibrid.

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, serat yang digunakan adalah serat hibrid yang terdiri dari 60% *fiberglass* dan 40% serat kelapa (coir). Matrik yang digunakan adalah resin epoksi dari PT. Justus Semarang. Perbandingan epoksi dengan *hardener* adalah 1:1. Fraksi volume antara serat dengan matrik adalah 30% : 70%.

Sebelum pembuatan sampel komposit, serat coir diberikan perlakuan perlakuan alkali (NaOH) 20%

selama 30 menit. Kemudian serat coir dibilas dengan air dan setelah itu dikeringkan pada udara terbuka.

Prosedur pembuatan sampel yang terbuat dari komposit berbasis serat hibrid ini adalah sebagai berikut :

1. Siapkan cetakan yang berbentuk dengan dimensi 17 mm x 17 mm x 5 mm yang telah diberi wax diseluruh permukaannya. Pemberian wax ini bertujuan agar komposit tidak menempel jika dikeluarkan dari cetakan.
2. Campurkan resin *epoxy* dengan *hardener* sampai merata, kemudian tuang ke dalam cetakan komposit.
3. Siapkan serat coir dan *fiberglass* (serat hibrid), kemudian masukkan *fiberglass* kedalam cetakan yang telah diisi *epoxy* dengan cara ditekan selanjutnya diikuti dengan memasukkan serat coir pada lapisan berikutnya.
4. Prosedur diatas dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan beberapa lapisan dimana penempatan *fiberglass* dengan serat coir dilakukan selang-seling sehingga memenuhi cetakan dan tercapai fraksi volume serat dan matrik 30% : 70%.
5. Setelah cetakan penuh, maka dilakukan proses penekanan (*compression molding*) pada komposit hibrid ini. Kemudian tunggu komposit sampai kering merata.

Setelah komposit hibrid ini dibuat, maka setelah itu akan dibuat spesimen uji tarik (ASTM D-638) [9] dan uji impak (ASTM D-256) [10]. Setelah itu spesimen komposit ini diuji mengenai pengaruh dari *thermal shock* dan *moisture content* akibat pengaruh lingkungan dalam skala laboratorium. Untuk melihat pengaruh dari *thermal shock* terhadap sifat mekanik komposit, spesimen uji dipanaskan dalam oven sampai temperatur 80°C selama 1 jam kemudian didinginkan pada udara terbuka dengan variasi jumlah siklus 5, 10, 15, dan 20 kali. Untuk melihat pengaruh dari *moisture content* terhadap sifat mekanik komposit, spesimen uji direndam dalam air dengan variasi waktu 6, 12, 18, dan 24 jam. Setelah dilakukan proses pemanasan dan perendaman, spesimen untuk masing-masing variabel dilakukan pengujian tarik dan impak. Kemudian spesimen difoto makro untuk melihat bentuk patahan komposit.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Moisture Content

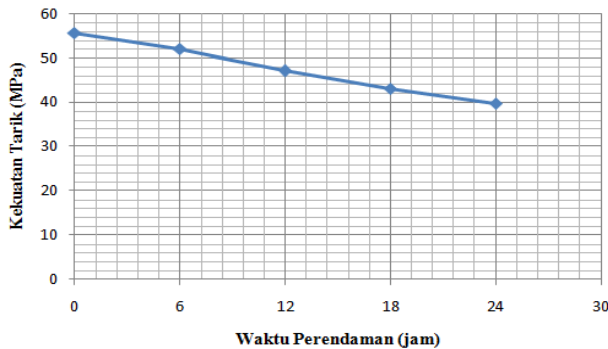
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 1, menunjukkan bahwa terjadinya degradasi kekuatan tarik dari komposit berbasis serat hibrid. Hubungan waktu perendaman dengan kekuatan komposit adalah berbanding terbalik, dimana semakin lama komposit

direndam dalam air, maka semakin turun nilai kekuatan tariknya.

Tabel 1. Kekuatan Tarik Komposit Hibrid akibat Pengaruh *Moisture Content*

Spesimen	Tanpa Perlakuan (MPa)	6 Jam (MPa)	12 Jam (MPa)	18 Jam (MPa)	24 Jam (MPa)
1	54,52	52,73	47,53	43,33	40,32
2	55,28	53,49	47,25	43,16	40,65
3	57,20	49,72	46,21	42,68	38,29
Rata-rata	55,67	51,98	46,99	43,06	39,75

Grafik penurunan kekuatan tarik dari komposit hibrid terhadap waktu perendaman ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penurunan kekuatan tarik terhadap waktu perendaman menunjukkan *trendline* linear. Persentase penurunan kekuatan tarik komposit akibat pengaruh waktu perendaman untuk masing-masing variasi berturut-turut sebesar 6.63%, 15.60%, 22.65% dan 28,61%.



Gambar 1. Grafik kekuatan tarik komposit terhadap waktu perendaman

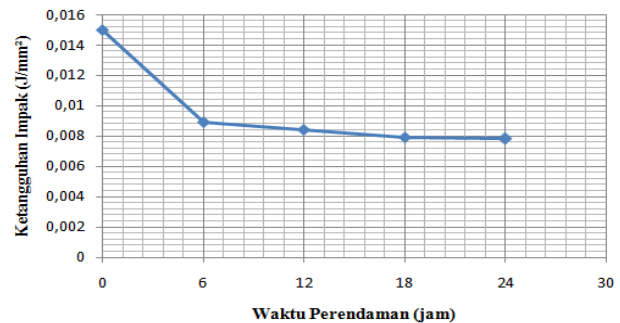
Untuk kekuatan impact komposit juga menunjukkan terjadinya degradasi seperti yang terjadi pada kekuatan tarik. Ini terlihat pada Tabel 2 data hasil pengujian impact komposit hibrid.

Tabel 2. Ketangguhan Impact Komposit Hibrid akibat Pengaruh *Moisture Content*

Sampel	Tanpa Perlakuan (J/mm ²)	6 Jam (J/mm ²)	12 Jam (J/mm ²)	18 Jam (J/mm ²)	24 Jam (J/mm ²)
1	0,0143	0,0097	0,0090	0,0070	0,0076
2	0,0144	0,0084	0,0080	0,0082	0,0079
3	0,0163	0,0085	0,0083	0,0085	0,0079
Rata-rata	0,0150	0,0089	0,0084	0,0079	0,0078

Gambar 2 menunjukkan grafik degradasi penurunan ketangguhan impact akibat pengaruh perendaman. Grafik ketangguhan impact komposit hibrid cenderung menunjukkan *trendline* polinomial, dimana penurunan ketangguhan impact semakin lama semakin kecil. Penurunan ketangguhan impact akibat pengaruh perendaman untuk masing-masing variasi sebesar 40.66%, 44.00%, 47.33% dan 48.00%.

Pada variasi 6 jam perendaman terjadi penurunan ketangguhan yang cukup signifikan. Setelah variasi 6 jam perendaman, penurunan ketangguhan impact komposit tidak terlalu signifikan lagi bahkan cenderung sama. Ini terlihat dari nilai ketangguhan impact yang relatif hampir sama. Penurunan nilai ketangguhan yang tidak signifikan tersebut disebabkan karena pada waktu perendaman diatas 6 jam, air semakin sulit berdifusi ke dalam serat terutama serat coir yang nantinya akan sampai pada titik jenuh dimana serat telah menyerap air secara maksimal.



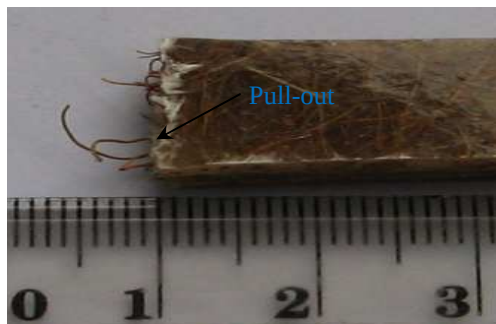
Gambar 2. Grafik Ketangguhan Impact Komposit Terhadap Waktu Perendaman

Penurunan kekuatan tarik dan ketangguhan impact dari komposit ini disebabkan karena kegagalan yang didominasi oleh delaminasi serat gelas dan lepasnya ikatan antara serat dengan epoksi atau dikenal dengan istilah *pull-out*. *Pull-out* terjadi karena air berdifusi ke dalam serat terutama serat coir yang bersifat *hydrophilic* sehingga daya ikat antara serat dengan matrik semakin rendah. Gambar 3 menunjukkan bentuk patahan komposit serat hibrid tanpa perendaman dan pengaruh perendaman.

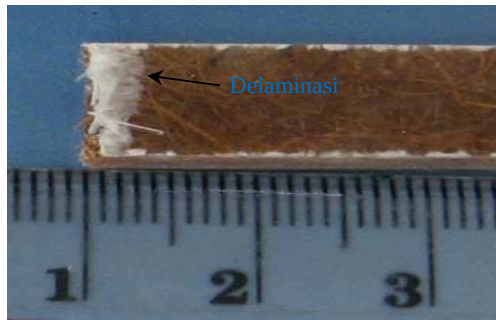
Berdasarkan bentuk patahan pada Gambar 3(a) dan 3(b), untuk spesimen uji tarik, spesimen tanpa perlakuan terlihat tidak adanya *pull-out* antara serat dengan matrik sedangkan spesimen setelah perendaman terlihat banyaknya *pull-out* yang terjadi khususnya serat coir. *Pull-out* yang terjadi setelah perendaman ini yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik pada komposit hibrid karena daya *interfacial bonding* antara serat dan matrik menurun.



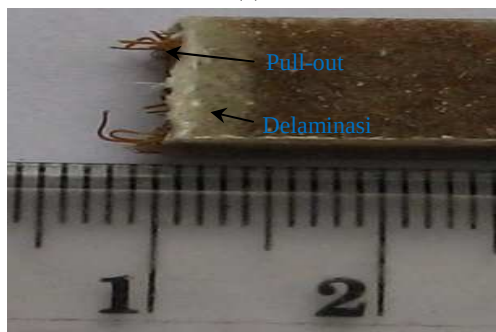
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Bentuk Patahan komposit; (a) Uji tarik tanpa perlakuan, (b) Uji tarik setelah perendaman, (c) Uji tarik tanpa perlakuan, (d) Uji tarik setelah perendaman

Gambar 3(c) menunjukkan bentuk patahan spesimen uji tarik tanpa perlakuan. Bentuk patahan didominasi oleh delaminasi lapisan serat gelas. Bentuk patahan juga tidak terjadi *pull-out* pada serat coir. Sedangkan pada Gambar 3(d) menunjukkan bentuk patahan spesimen uji tarik setelah perendaman, dimana terlihat adanya delaminasi yang lebih besar dari pada spesimen uji tarik tanpa perendaman. Dan sama halnya dengan spesimen uji tarik akibat perendaman, spesimen uji tarik juga terjadi *pull-out* pada serat coir.

Dari uraian diatas, pengaruh *moisture content* terhadap komposit hibrid menyebabkan degradasi sifat mekanik. Ini disebabkan karena air dapat mengurangi daya ikat antara serat dan matrik, dengan ditandai terjadinya delaminasi serat gelas dan *pull-out* serat coir.

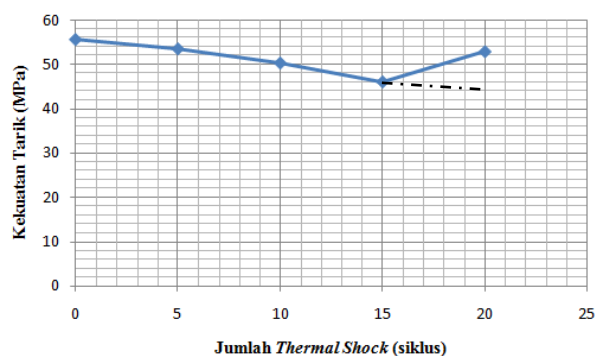
Pengaruh *Thermal Shock*

Pada Tabel 3 menunjukkan pengaruh *thermal shock* terhadap kekuatan tarik komposit. Hubungan antara jumlah siklus *thermal shock* dengan kekuatan tarik komposit serat hibrid adalah berbanding terbalik, dimana semakin banyak jumlah siklus yang diberikan akan menyebabkan penurunan kekuatan tarik komposit serat hibrid. Persentase penurunan kekuatan tarik akibat pengaruh jumlah siklus *thermal shock* ini berturut-turut adalah 3.83%, 9.60%, 17.28%, dan 4.98%. Penurunan kekuatan tarik terhadap jumlah siklus *thermal shock* cenderung *trendline* linear.

Tabel 3. Kekuatan Tarik Komposit Hibrid Akibat Pengaruh Siklus *Thermal Shock*

Spesimen	Tanpa Perlakuan (MPa)	5 Siklus (MPa)	10 Siklus (MPa)	15 Siklus (MPa)	20 Siklus (MPa)
1	54,52	55,33	48,53	45,33	50,70
2	55,28	52,08	48,25	47,16	54,44
3	57,20	53,21	54,21	45,68	53,55
Rata-rata	55,67	53,54	50,33	46,05	52,90

Grafik penurunan kekuatan tarik komposit akibat dari perlakuan *thermal shock* dapat dilihat pada Gambar 4. Pada grafik terlihat terjadinya penurunan kekuatan komposit sampai siklus yang ke-15. Pada siklus 20, terjadi kenaikan kekuatan tarik komposit tetapi masih dibawah kekuatan komposit tanpa perlakuan *thermal shock*. Nilai kekuatan tarik yang naik pada siklus 20, kemungkinan disebabkan karena kesalahan dalam manufaktur komposit serat hibrid. Berdasarkan literatur dan penurunan dari siklus sebelumnya, kemungkinan nilai kekuatan tarik komposit hibrid diprediksi dibawah nilai kekuatan tarik siklus ke 15. Nilai prediksi penurunan kekuatan tarik tersebut terlihat dengan garis putus-putus pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik kekuatan tarik komposit terhadap siklus *thermal shock*

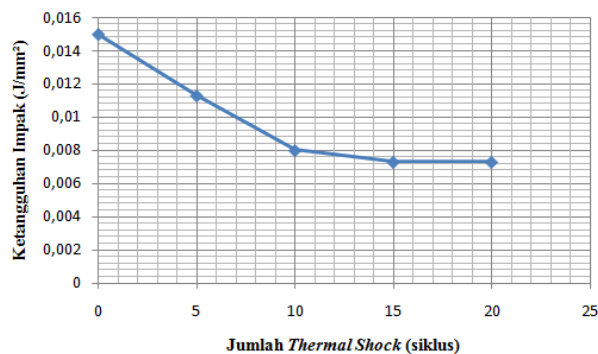
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4, menunjukkan terjadinya degradasi nilai ketangguhan tarik akibat pengaruh siklus *thermal shock*. Hubungan antara jumlah siklus *thermal shock* dengan ketangguhan tarik komposit serat hibrid adalah berbanding terbalik dimana semakin banyak jumlah

siklus yang diberikan akan menyebabkan penurunan ketangguhan impact komposit serat hibrid. Persentase penurunan ketangguhan impact akibat jumlah siklus *thermal shock* berturut-turut adalah 24.67%, 46.67%, 51.33%, dan 51.33%.

Tabel 4. Ketangguhan Impact Komposit Hibrid Akibat Pengaruh *Thermal Shock*

Sampel	Tanpa Perlakuan (J/mm ²)	5 Siklus (J/mm ²)	10 Siklus (J/mm ²)	15 Siklus (J/mm ²)	20 Siklus (J/mm ²)
1	0,0143	0,0110	0,0084	0,0075	0,0073
2	0,0144	0,0114	0,0079	0,0070	0,0073
3	0,0163	0,0114	0,0078	0,0073	0,0072
Rata-rata	0,0150	0,0113	0,0080	0,0073	0,0073

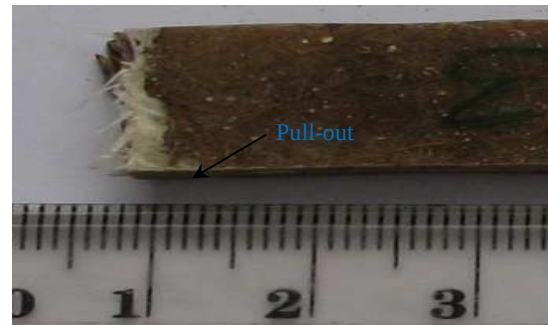
Gambar 5 menunjukkan *trendline* degradasi penurunan kekuatan impact akibat siklus *thermal shock* yang diberikan pada komposit hibrid. Sama halnya dengan grafik ketangguhan impact akibat pengaruh *moisture content*, *trendline* yang terbentuk juga cenderung polinomial. Pada siklus 5 sampai siklus 10 terjadi penurunan ketangguhan impact yang relatif tinggi. Namun pada siklus 15 dan siklus 20 terjadi penurunan ketangguhan yang relatif rendah. Gambar 6 menunjukkan bentuk patahan komposit serat hibrid setelah diberikan perlakuan *thermal shock*. Gambar 6(a) adalah bentuk patahan spesimen uji tarik komposit serat hibrid setelah diberikan perlakuan *thermal shock* dimana terjadinya *pull-out* pada serat gelas. *Pull-out* terjadi karena matrik semakin getas sehingga daya ikat antara serat gelas dengan matrik semakin lemah. Tidak sama seperti pengaruh *moisture content*, untuk pengaruh *thermal shock* tidak terjadi *pull-out* serat coir pada komposit serat hibrid.



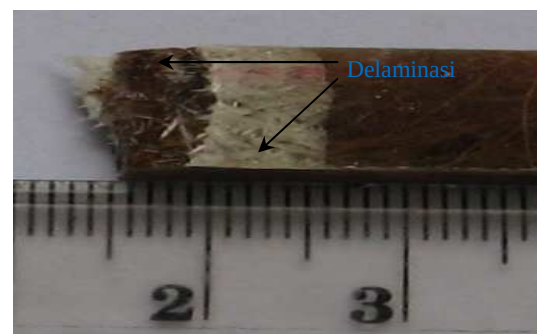
Gambar 5. Grafik ketangguhan impact komposit terhadap siklus *thermal shock*

Gambar 6 (b) menunjukkan bentuk patahan spesimen uji impact setelah diberikan siklus *thermal shock* menunjukkan terjadinya delaminasi yang cukup besar pada serat gelas dan tidak terjadi *pull-out* pada serat coir. Tidak terjadinya *pull-out* pada serat coir disebabkan karena sifat serat coir yang *hydrophilic*, jadi akibat *thermal shock* ini, kandungan air pada serat serat coir akan hilang sehingga daya ikat antara serat coir dan matrik semakin tinggi tapi menyebabkan serat coir semakin rapuh. Sebagai perbandingan, bentuk patahan komposit hibrid tanpa perlakuan bisa

dilihat pada Gambar 3(a) untuk spesimen uji tarik dan Gambar 3(c) untuk spesimen uji impact.



(a)



(b)

Gambar 6. Bentuk patahan komposit (a) uji tarik setelah diberikan siklus *thermal shock* dan (b) uji impact setelah diberikan siklus *thermal shock*

Berdasarkan dari uraian diatas, penurunan kekuatan sifat mekanik akibat *thermal shock* disebabkan karena terjadinya perubahan struktur komposit hibrid menjadi lebih getas dan semakin rapuhnya serat coir. Ini ditandai dari bentuk patahan dari komposit serat hibrid yang patah getas, *pull-out* dan delaminasi lapisan serat gelas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hubungan sifat mekanik terhadap pengaruh *moisture content* dan *thermal shock* adalah berbanding terbalik. Sifat mekanik dari komposit serat alam akan menurun seiring kenaikan waktu perendaman (*moisture content*) dan jumlah siklus *thermal shock*.
2. Penurunan kekuatan tarik akibat pengaruh perendaman untuk masing-masing variasi sebesar 6.63%, 15.60%, 22.65% dan 28,61% sedangkan penurunan ketangguhan impact akibat pengaruh perendaman untuk masing-masing variasi sebesar 40.66%, 44.00%, 47.33% dan 48.00%

3. Penurunan kekuatan tarik akibat pengaruh siklus *thermal shock* masing-masing variasi sebesar 3.83%, 9.60%, 17.28%, dan 4.98% sedangkan Penurunan ketangguhan impak akibat siklus *thermal shock* masing-masing variasi sebesar 24.67%, 46.67%, 51.33%, dan 51.33%.
4. *Trendline* penurunan kekuatan uji tarik komposit serat hibrid adalah linear sedangkan *trendline* penurunan ketangguhan impak komposit serat hibrid adalah polinomial.
5. Bentuk patahan spesimen uji tarik untuk pengaruh *moisture content* didominasi oleh *pull-out* serat coir dan bentuk patahan spesimen uji impak adalah terjadinya *pull-out* serat coir dan delaminasi serat gelas.
6. Bentuk patahan spesimen uji tarik untuk pengaruh *thermal shock* didominasi oleh *pull-out* serat gelas dan bentuk patahan spesimen uji impak adalah terjadinya *pull-out* dan delaminasi serat gelas.
6. **Li, M.**, 2000. *Temperature And Moisture Effects On Composite Materials For Wind Turbine Blades*. Thesis. Master of Science in Chemical Engineering. Montana State University-Bozeman. Montana
7. **Harish, S., Michael, D.P., Bensely, A., Lal, D.M., Rajadurai, A.**, 2008 *Mechanical Property Evaluation Of Natural Fiber Coir Composite*. Materials characterization. Elsevier. MTL-06460
8. **Tsotsis, K.T.**, 1998. "Long-Term Thermo-Oxidative Aging in Composite Materials: Experimental Methods," Journal of Composite Materials, Vol.32, No.11,1998, PP.1115-1133.
9. **Anonim.** 2004. *Annual Book ASTM Standart Volume 8 D 638*. USA
10. **Anonim.** 2004. *Annual Book ASTM Standart Volume 8 D5942-96*.USA

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada teknisi Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada dan semua rekan-rekan pascasarjana Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Kepustakaan

1. **Alwis, H.** 2010. *Analisis Kelayakan Pendirian Pabrik Panel Board Berbahan Dasar Cocopeat Di Sumatera Barat*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Industri Universitas Andalas. Padang
2. **Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J., Teekasab, S.**, 2003. *New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir*. Science Direct. Building and Environment 39 (2004) 59 – 65
3. **Rahman, M. M., and Mubarak A. K.** 2007. *Surface treatment of coir (Cocos nucifera) fibers and its influence on the fibers' physico-mechanical properties*. Composites Science and Technology 67. 2369-2376
4. **Diharjo, K.** 2006. *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester*. Jurnal Teknik Mesin vol. 8, no. 1 : 8 – 13.
5. **Arwoko, H.** 1999. *Desain Turbin Angin*. Fakultas Teknik Universitas Surabaya, NULL Volume 20, 16-18