

KELAKUAN DELAMINASI KOMPOSIT LAMINAT HIBRID ANYAMAN GENTIAN MENGKUANG/ GENTIAN ASLI SUTERA/ EPOKSI

Mohd Azwan Husin^{a,b}, Rozli Zulkifli^{b,c*}, Shahrum Abdullah^{b,c}, Wan Ramli Wan Daud^a

^aInstitut Sel Fuel, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

^bJabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

^cPusat Penyelidikan Automotif, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

Article history

Received

18 December 2015

Received in revised form

10 March 2016

Accepted

25 April 2016

*Corresponding author
rozlizulkifli@ukm.edu.my

Abstract

Recent advances in research and manufacturing techniques of natural fiber based composites have allowed the manufacturers to use natural fiber based composites in various applications. Natural fiber based composites are fast emerging as viable alternative to traditional materials due to their unique properties. This paper discusses the development of new natural fiber hybrid composites using mengkuang and silk fibre to achieve a unique natural fiber composites. The effects of hybridization between woven mengkuang / natural silk fiber on mode II delamination (G_{IIC}) of laminated composites were investigated by performing the End-Notched Flexure (ENF) test. The composite samples were prepared using hand lay-up method with compression machine. After fabrication, the test specimens were subjected to ENF testing for mode II delamination based on ASTM D790-03 standards. The additional of natural silk fiber in composites fabrication provided an excellent improvement in the rate of critical strain energy release, G_{IIC} . The Scanning Electronic Microscope (SEM) images show the delamination behaviour of the samples after failure is based on the arrangement of mengkuang and silk fibre.

Keywords: Woven mengkuang fiber; woven silk fiber; end-notched flexure, hybrid laminated composites; the rate of critical strain energy release

Abstrak

Kemajuan dalam penyelidikan dan teknik pembuatan bahan komposit berasaskan gentian asli telah memberi ruang kepada pengeluar menggunakannya dalam pelbagai aplikasi. Komposit berasaskan gentian asli pantas muncul sebagai alternatif yang berdaya saing kepada bahan tradisional kerana sifat mereka yang unik. Kertas ini membincangkan pembangunan komposit gentian semula jadi hibrid dengan menggunakan gabungan gentian asli anyaman mengkuang dan sutera bagi membentuk komposit gentian asli yang unik. Kesan penghibridan antara gentian anyaman mengkuang gentian asli sutera pada delaminasi mod II pada komposit laminat hibrid telah disiasat dengan melakukan ujian Lenturan Akhir Bertakuk (ENF). Sampel bahan komposit disediakan dengan menggunakan teknik bengkalai tangan dan mesin mampatan. Kemudian, spesimen dikenakan ujian ENF untuk delaminasi mod II berdasarkan piawaian ASTM D790-03. Penambahan gentian asli sutera dalam pembuatan bahan komposit laminat anyaman gentian mengkuang memberikan peningkatan yang ketara pada kadar pelepasan tenaga terikan kritikal, G_{IIC} . Imej Mikroskop Imbasan Elektronik (SEM) menunjukkan kelakuan delaminasi sampel selepas gagal adalah berbeza mengikut susunan gentian mengkuang dan sutera.

Kata kunci: Gentian anyaman mengkuang, Gentian asli sutera, Lenturan Akhir Bertakuk, Komposit Laminat Hibrid, Kadar pelepasan tenaga terikan kritikal

© 2016 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Penggunaan gentian asli dalam penghasilan bahan komposit kembali mendapat perhatian apabila dunia sekarang semakin menfokuskan pada teknologi hijau dan penggunaan bahan yang mesra alam. Kelebihan lain bagi bahan komposit ini adalah mempunyai berat yang ringan, wujud dalam ketersediaan yang banyak, kos yang rendah, dan boleh dikitar semula [1,2]. Keperluan untuk bahan-bahan alternatif yang mesra alam ini telah membawa kepada beberapa kerja penyelidikan berkaitan komposit yang menfokuskan penggunaan gentian asli sebagai tetulang. Penggunaan gentian asli sebagai tetulang dalam komposit memberikan peluang baik untuk penggunaan berkesan daripada hasil sampingan pertanian. Pengeluaran produk yang berasaskan bahan mesra alam serta mengekalkan sifat-sifat mekanik yang bertepatan dengan kehendak pasaran adalah salah satu cabaran bagi para penyelidik.

Pembangunan komposit hibrid didorong oleh keupayaan untuk menggabungkan ciri-ciri berfaedah pelbagai sistem gentian, meningkatkan prestasi dan fleksibiliti, serta, mengurangkan berat badan dan kos. Komposit hibrid bertetulang gentian selulosa, seringkali digabungkan dengan gentian sintetik seperti gentian kaca untuk menghasilkan bahan komposit yang berprestasi tinggi [3,4]. Komposit polimer dengan tetulang hibrid dibuat daripada gentian semula jadi semata-mata adalah kurang, tetapi mereka juga adalah bahan berpotensi sebagai penyelesaian kepada masalah alam sekitar [1,5]. Bergantung kepada bentuk tertentu gentian yang diperlukan, gentian lignoselulosa dalam kebanyakan kes lebih murah daripada gentian kaca. Gentian lignoselulosa juga dijangka akan menyebabkan masalah kesihatan berkurangan untuk pembuat menghasilkan bahan komposit berbanding komposit berasaskan gentian kaca.

Mengkuang merupakan tumbuhan dalam keluarga yang sama dengan pandan. Ia tumbuh liar di kawasan lembab dan berpayau. Biasa kita lihat mengkuang tumbuh di tepi-tepi sawah padi, tali air, paya dan sungai. Daun mengkuang berbentuk tirus memanjang dan berduri tajam pada bahagian tepi daun. Panjang daun mengkuang lebih kurang 75 cm dan lebarnya lebih kurang 4 cm. Jenis yang besar adalah dalam 400 cm hingga 500 cm tinggi pokok dan daunnya dalam 225 cm panjang serta 8 cm lebarnya [6]. Kegunaan utama mengkuang adalah dalam pembuatan barangan kraftangan seperti tikar, bakul dan lain-lain. Sifat daun mengkuang yang panjang dan lasak menjadikan ia pilihan utama untuk membuat anyaman tikar [7].

Walaupun gentian mengkuang ini mempunyai banyak kelebihan, namun kegunaannya masih lagi belum diterokai sepenuhnya. Penggunaan gentian ini dalam industri komposit masih belum popular, jika di bandingkan dengan gentian asli yang lain. Kewujudan pokok mengkuang yang banyak di

Malaysia menjadikan gentian ini mudah didapati, lebih-lebih lagi kerana penggunaannya dalam industri kraf tangan. Peluang ini boleh diambil oleh penyelidik untuk mengkaji sifat dan tingkah laku gentian ini dalam pelbagai bidang, contohnya bidang komposit.

Komposit berlaminat terbentuk daripada pelbagai jumlah bilangan lapisan gentian, yang bertindak sebagai tetulang [8]. Penggunaan bahan komposit berlaminat sebagai elemen struktur utama tidak boleh dicapai sehinggalah sifat-sifat kekuatan bahan ini dikenalpasti terlebih dahulu. Masalah utama dengan bahan komposit berlaminat adalah delaminasi. Pemiakan delaminasi sering dikuasai oleh mod patah II; dengan itu, ketiadaan patah antara lamina di bawah pembebanan mod II adalah asas kepada penganggaran liabiliti bahan terhadap delaminasi [9].

Terdapat tiga ujikaji eksperimen asas yang digunakan untuk mengukur kadar pelepasan tenaga terikan kritikal, G_{IIC} iaitu nilai kadar rintangan bahan komposit melawan perambatan rekahan dibawah satah ricih pada pra-rekahan yang dibuat. Ujikaji yang sering ialah Lenturan Akhir Bertakuk (ENF), yang dibangunkan untuk pencirian patah kayu. Ujian ini terdiri daripada spesimen yang mempunyai pra-rekahan dihujung sampel diletakkan di bawah pembebanan lenturan tiga titik. Perambatan rekahan yang tidak stabil merupakan salah satu daripada keburukan ujikaji ENF ini. Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji nilai G_{IIC} untuk delaminasi mod II pada komposit laminat hibrid anyaman gentian mengkuang/ gentian asli sutera, dengan pelbagai jenis konfigurasi susun atur lapisan gentian. Ia dijangka bahawa mereka boleh menawarkan nilai G_{IIC} yang lebih baik berbanding dengan komposit laminat bertetulang anyaman gentian mengkuang.

2.0 EKSPERIMEN

2.1 Bahan

Dua bahan tetulang yang digunakan dalam kajian ini; anyaman gentian mengkuang dan gentian asli sutera.

2.1.1 Anyaman Gentian Mengkuang

Gentian mengkuang ini diekstrak daripada daun pokok mengkuang. Proses mengekstrak gentian ini mempunyai beberapa peringkat. Peringkat pertama, daun mengkuang ditetak menggunakan parang panjang. Sarung tangan dipakai untuk mengelakkan tangan terkena duri mengkuang. Tidak semua daun mengkuang mempunyai panjang yang sama. Ia dibahagikan kepada mengkuang panjang dan mengkuang pendek. Daun mengkuang disusun supaya senang dipotong mengikut ukuran. Peringkat kedua, proses membelah daun mengkuang menjadi bilah-bilah kecil dengan menggunakan alat jangka.

Saiz bilah mengkuang ditentukan melalui penggunaan jangka. Sekiranya bilah yang bersaiz kecil dikehendaki, jarak mata jangka yang rapat digunakan. Semasa proses dijalankan, duri yang terdapat di bahagian kiri dan kanan daun akan dibuang. Peringkat seterusnya, bilah-bilah daun diikat untuk direbus ke dalam air panas selama 30 minit. Selepas cukup tempoh direbus, ikatan ini dibuka untuk dijemur. Daun mengkuang yang telah dijemur kering dilurut dengan menggunakan alat pelurut. Proses ini dilakukan berulang kali supaya bilah daun menjadi lembut dan tidak bergulung. Peringkat terakhir adalah menganyam, proses anyaman diteruskan setelah proses melagang telah selesai dilakukan. Lagang merupakan tulang kepada suatu rupa bentuk anyaman. Ukuran panjang sebidang tikar bergantung kepada ukuran lagangan yang dibuat. Gentian mengkuang yang sudah selesai dianyam akan disimpan dan dibiarkan selama 3 hingga 4 hari supaya jalinan anyaman tadi menjadi kuat dan kukuh sebelum digunakan sebagai tetulang seperti Rajah 1.



Rajah 1 Anyaman gentian mengkuang

2.1.2 Gentian sutera asli

Gentian sutera asli telah banyak digunakan sebagai tetulang dalam pembinaan bahan komposit seperti ditunjukkan pada Rajah 2. Ia adalah antara gentian asli yang kuat dan mempunyai sifat kekakuan yang tinggi [10,11,12]. Gentian asli sutera fabrik mempunyai kepentingan dalam industri tekstil kerana mempunyai sifat-sifat mekanik berselerak dan kuat. Kajian terdahulu yang dilakukan oleh Craven et al. [13] dan Perez-Rigueriro et al. [14] telah menunjukkan gentian asli sutera Bombyx mori adalah lebih baik berbanding Kevlar berdasarkan sifat pemanjangan pada kegagalan.

Ia mempunyai keupayaan yang baik untuk menyerap dan melepaskan tenaga dengan cara yang sangat terkawal apabila gentian asli sutera mula berubah bentuk [14].



Rajah 2 Gentian asli sutera

2.2 Proses Fabrikasi

Kaedah laminat ini dikenali sebagai teknik bengkalai tangan. Dua kepingan plat aloi yang berukuran 25 cm x 25 cm digunakan. Semasa proses fabrikasi komposit, sejenis bahan penggilap; Meguiar's Mirror Glaze digunakan pada permukaan plat dan digilap. Bahan penggilap ini bertindak sebagai ejen pelepas untuk memudahkan proses membuka acuan dan bahan komposit yang dihasilkan. Satu acuan yang berukuran 17cm x 20 cm dengan ketebalan 3.3 mm digunakan sebagai pemegang untuk menghasilkan sampel komposit yang mengikut spesifikasi yang berasaskan piawaian ujikaji iaitu ASTM D790-03 [15].

Seterusnya, proses mengenakan lapisan yang terdiri dari campuran bahan matriks polimer epoksi (DM 15-F3-A) dan pengeras (DM 15-F3-B) yang mengikut nisbah berat 5:1 pada plat dan diikuti dengan lampiran dari gentian tetulang laminatnya (anyaman gentian mengkuang dan gentian asli sutera yang sudah dipotong mengikut saiz acuan) menggunakan berus.

Semasa proses laminat ini dilakukan, berus perlu ditekan-tekan pada gentian agar gelembung udara yang wujud antara lapisan laminat dapat dihilangkan. Penggunaan resin dan gentian tetulang diteruskan hingga ketebalan tertentu dicapai. Untuk kajian ini, hanya satu ketebalan yang ingin dicapai iaitu 3.3 mm, tetapi dengan perbezaan pada konfigurasi susun atur lapisan anyaman gentian mengkuang dan gentian asli sutera. Setelah selesai proses laminat, acuan ditutup dan dikenakan tekanan padanya; menggunakan mesin tekan pada suhu bilik dan dibiarkan untuk proses pematangan selama 24 jam.

Jadual 1 menunjukkan konfigurasi susun atur lapisan anyaman gentian mengkuang dan gentian asli sutera, dimana (M) adalah anyaman gentian mengkuang dan (S) adalah gentian asli sutera.

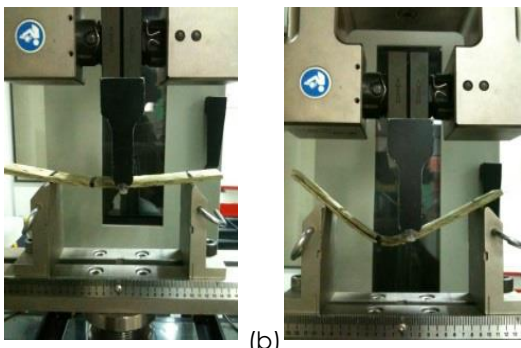
Jadual 1 Konfigurasi susun atur lapisan anyaman gentian mengkuang/ gentian asli sutera

Bilangan	Konfigurasi Susun Atur Lapisan Gentian
a	S/S/M//(<i>pra-rekahan</i>)//M/S/S
b	S/M/S //(i>pra-rekahan)//S/M/S
c	S/M/M//(<i>pra-rekahan</i>)//M/M/S
d	M/S/M//(<i>pra-rekahan</i>)//M/S/M
e	S/S/M/S/S//(<i>pra-rekahan</i>)//S/S/M/S/S
f	M/S/S//(<i>pra-rekahan</i>)//S/S/M
g	S/M/M/S//(<i>pra-rekahan</i>)//S/M/M/S
h	S/M/S/M/S//(<i>pra-rekahan</i>)//S/M/S/M/S
i	S/M/S/M//(<i>pra-rekahan</i>)//M/S/M/S
j	S/S/M/M/S/S//(<i>pra-rekahan</i>)//S/S/M/M/S/S

2.3 Ujikaji ENF

Mesin UTM Instron digunakan untuk pembebanan lenturan tiga titik terhadap sampel ENF seperti dalam Rajah 3. Ujikaji keliatan patah antara lamina dibawah satah mod ubah bentuk ricih ataupun dikenali sebagai Mod II delaminasi menggunakan sampel ENF merupakan salah satu metodologi yang digunakan untuk mengira nilai keliatan patah antara lamina yang dianggap sebagai satu indeks yang penting untuk menentukan toleransi kegagalan terhadap komposit laminat.

Sampel bahan komposit diletakkan pada pembebanan lenturan tiga titik dengan jarak 100 mm (jarak antara titik 1 ke titik 3) dengan kelajuan yang digunakan ialah 2 mm/min. Nilai suhu yang ditetapkan adalah malar iaitu 27°C (suhu bilik). Bebanan akan terus ditingkatkan secara berterusan sehingga kegagalan berlaku pada spesimen. Ujikaji diberhentikan apabila wujudnya penurunan nilai beban secara mendadak.



Rajah 3 Gambar (a) keadaan sampel sebelum pembebanan dikenakan dan (b) semasa pembebanan dikenakan

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan dari ujikaji ENF direkodkan untuk dianalisa bagi mendapatkan nilai kadar pelepasan tenaga terikan kritikal, G_{IIC} . Jadual 2 menunjukkan data yang diperolehi dari ujikaji ENF. Dua parameter yang direkodkan iaitu pembebanan dan sesaran sampel digunakan untuk menentukan sifat kekakuan bahan serta merupakan parameter penting dalam analisa sifat keliatan patah antara lamina.

Berdasarkan Jadual 2, terdapat tiga konfigurasi susun atur hibrid antara anyaman gentian mengkuang dan gentian sutera asli yang menunjukkan ciri-ciri bahan komposit yang kuat iaitu mampu menampung nilai beban yang tinggi. Tiga jenis sampel tersebut adalah sampel (e), (h) dan (j). Manakala sampel (b), (e) dan (j) mempunyai sifat elastik, dimana sampel bahan komposit untuk konfigurasi susun atur lapisan gentian ini mengalami sesaran yang lebih tinggi berbanding sampel yang lain.

3.1 Nilai Kadar Pelepasan Tenaga Terikan Kritikal, G_{IIC} .

Teori langsung Rasuk digunakan untuk menganalis data daripada ujikaji ENF. Pendekatan ini tidak memerlukan nilai modulus lenturan daripada penyelesaian berasaskan teori rasuk dan hanya satu ungkapan menentukan nilai G_{IIC} menggunakan dua parameter utama iaitu beban maksimum yang direkodkan (P) dan sesaran sampel (δ) pada beban yang maksimum. Situasi di mana nilai pembebanan mulai jatuh adalah menunjukkan bahan yang diuji mengalami kegagalan. Ketidakkampuan sesuatu bahan menampung beban yang dikenakan terhadapnya akan mendedahkan had sebenar keupayaannya sebelum berlakunya kegagalan.

Formula untuk mendapatkan nilai kadar pelepasan tenaga terikan kritikal, G_{IIC} ialah;

Jadual 2 Keputusan ujikaji ENF

Jenis Sampel (Bilangan Susun atur lapisan)	Beban Maksimum, P (N)	Sesaran pada beban maksimum, δ (mm)
a	51.6	8.9
b	63.8	12.9
c	36.5	7.8
d	25.2	7.8
e	86.0	10.3
f	33.8	6.5
g	53.9	8.1
h	74.7	6.1
i	39.9	5.6
j	138.1	9.9

$$G_{IIC} = \frac{9P\delta a^2}{2B(2L^3 + 3a^3)}$$

di mana; B adalah lebar sampel (mm), a adalah panjang pra-rekahan (mm), dan L adalah panjang sampel manakala P adalah beban (N), δ adalah sesaran (mm) yang direkodkan semasa ujikaji dijalankan. Untuk pengiraan nilai G_{IIC} dalam kajian ini, nilai maksimum untuk setiap parameter yang direkodkan iaitu nilai maksimum beban yang dikenakan dan nilai sesaran sampel pada beban yang maksimum.

Jadual 3 menunjukkan nilai G_{IIC} untuk sampel bahan komposit laminat hibrid anyaman gentian mengkuang dan gentian asli sutera. Nilai G_{IIC} pada setiap sampel bahan komposit laminat hibrid menunjukkan perbezaan mengikut pada susunan lapisan antara gentian anyaman mengkuang dan gentian asli sutera. Kewujudan nilai G_{IIC} yang berbeza membuktikan kepentingan penggunaan bilangan dan susun atur lapisan gentian pada komposit hibrid. Jawaid et al. [4] telah melaporkan kesan susunan lapisan gentian pada komposit hibrid gentian asli. Pemilihan gentian yang akan digunakan sebagai struktur laminat pada teras ataupun kulit luar bahan komposit dihasilkan akan memberi kesan kepada sifat mekanikal sampel yang dihasilkan [4].

Jadual 3 Nilai G_{IIC} untuk setiap sampel bahan komposit laminat hibrid

Jenis Sampel (Bilangan Susun atur lapisan)	Kadar pelepasan tenaga terikan kritikal, G_{IIC} (J/m ²)
a	225.9
b	401.8
c	138.5
d	96.0
e	432.9
f	107.2
g	214.4
h	221.6
i	108.6
j	670.7

Bilangan susun atur lapisan sampel (d) dan (f) mempunyai nilai G_{IIC} yang rendah iaitu 96.0 J/m^2 dan 107.2 J/m^2 berbanding sampel bahan komposit laminat hibrid yang lain. Situasi ini berlaku kerana penggunaan susun atur lapisan gentian yang meletakkan anyaman gentian mengkuang sebagai lapisan kulit luar sampel. Keretakan mula berlaku pada lapisan kulit luar apabila pembebanan dikenakan, kerana sifat anyaman gentian mengkuang yang mudah bertindak balas dengan beban yang dikenakan.

Manakala bilangan susun atur lapisan sampel (b), (e), (g), (h) dan (j) mempunyai nilai G_{IIC} yang baik iaitu 401.8 J/m^2 , 432.9 J/m^2 , 214.4 J/m^2 , 221.6 J/m^2 dan 670.7 J/m^2 kerana sampel yang dihasilkan menggunakan gentian yang kuat (gentian sutera asli) untuk struktur lapisan pada kulit luar dan terasnya. Setiap lapisan gentian; sama ada gentian asli sutera ataupun gentian anyaman mengkuang mempunyai kekuatan yang tersendiri dan berbeza-beza mengikut sifat fizikalnya, pemilihan susunan yang betul akan membantu meningkatkan keserasian kombinasi antara setiap lapisan gentian yang digunakan [3].

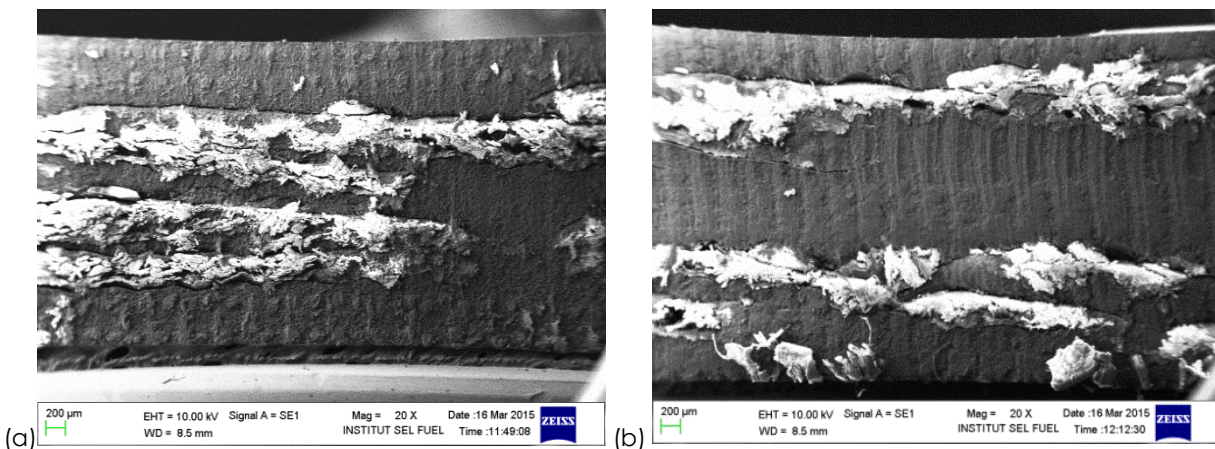
3.2 Analisis Morfologi

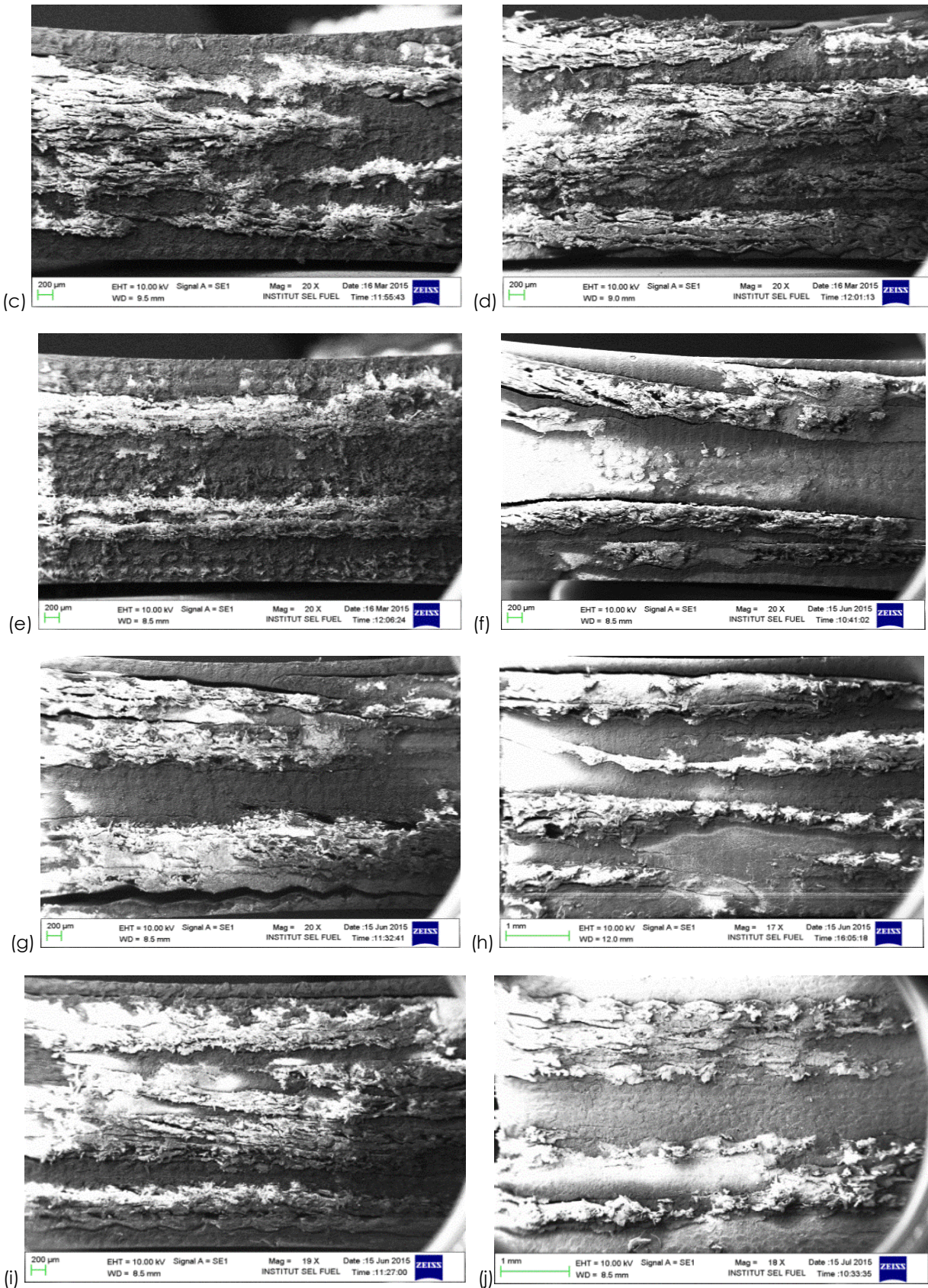
Struktur bahan komposit laminat hibrid diimbis dibawah SEM untuk memahami secara lebih mendalam tentang kesan susunan dan ciri fizikal gentian kepada bahan yang dihasilkan.

Berdasarkan Rajah 4, imej untuk setiap sampel bahan komposit laminat hibrid yang dihasilkan dianalisa melalui pemerhatian. Secara keseluruhannya dapat dilihat struktur dalaman anyaman gentian mengkuang yang jelas tidak sekata iaitu berdasarkan imej sampel (b), (f), (g) dan (h). Rekahan-rekahan kecil dan ruang-ruang persempadanan antara anyaman gentian

mengkuang/ matriks/ gentian asli sutera juga jelas kelihatan wujud pada struktur bahan komposit laminat hibrid ini. Situasi ini berpunca daripada sifat rekatan muka antara gentian/ matriks yang lemah. Imej (b), (f) dan (g) jelas menunjukkan ketidakserasian kombinasi antara anyaman gentian mengkuang/ matriks/ gentian asli sutera. Manakala, kombinasi antara gentian asli sutera (S/S) menunjukkan keserasian yang tinggi, bermakna gentian asli menyerap matriks dengan sempurna. Ini dapat dilihat pada imej sampel (a) pada kulit luar sampel, (e) pada kulit luar dan teras, (f) pada teras dan (j) pada kulit luar dan teras.

Pengkayaan kandungan anyaman gentian mengkuang pada teras sampel jelas kelihatan pada imej sampel (a), (c), (d) dan (i). Kehadiran gentian lebih lemah (anyaman gentian mengkuang) berbanding gentian yang lebih kuat (gentian asli sutera) pada teras mengakibatkan kekuatan bahan komposit yang dihasilkan lemah menurut laporan dari Jawaid et al [4]. Gentian sutera asli apabila dikenakan matriks akan menjadi lebih keras berbanding gentian anyaman mengkuang dikenakan matriks, sifatnya yang lebih keras akan menyebabkan ianya sukar untuk bertindak balas terhadap beban yang dikenakan. Kelebihan ini akan menyebabkan ketidakseragaman antara lenturan pada bahan komposit yang dihasilkan, menyebabkan kegagalan berlaku lebih awal daripada keupayaan sebenar bahan untuk menahan beban yang dikenakan. Bahan komposit laminat hibrid yang kuat boleh dihasilkan dengan susunan lapisan gentian kuat (gentian asli sutera) mengapit lapisan gentian yang lebih lemah (anyaman gentian mengkuang) seperti dalam imej sampel (b), (e), (g), (h) dan (j), dimana nilai G_{IIC} yang dimiliki oleh sampel ini lebih baik berbanding yang lain.





Rajah 4 Imej di bawah imbasan SEM untuk setiap sampel mengikut bilangan susun atur lapisan (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i) dan (j)

5.0 KESIMPULAN

Penggunaan konfigurasi susun atur lapisan gentian yang tepat akan menghasilkan komposit laminat hibrid yang baik. Penghibridan anyaman gentian mengkuang dengan gentian asli sutera dalam penghasilan bahan komposit laminat hibrid telah meningkatkan nilai G_{IIC} dengan ketara. Nilai G_{IIC} adalah berbeza untuk setiap konfigurasi susun atur walaupun jumlah gentian dan kombinasi jenis gentian adalah sama. Pemahaman yang tinggi terhadap sifat fizikal gentian yang digunakan mampu memberi potensi tinggi untuk menghasilkan bahan komposit hibrid yang baik.

Kerja-kerja penyelidikan yang lebih lanjut perlu dijalankan dalam menghasilkan komposit hibrid berasaskan gentian semula jadi yang baik. Penambahbaikan pada sifat rekatan antara muka gentian/ matriks dengan penggunaan bahan kimia yang tertentu juga boleh meningkatkan sifat mekanik serta membuka potensi aplikasi baru kepada penggunaan bahan komposit gentian semula jadi dalam industri [16,17].

Penghargaan

Sokongan kewangan untuk kerja-kerja penyelidikan ini telah disediakan daripada geran penyelidikan kod LRGS/2013/UKM-UKM/TP/01 dan DLP-2013-030. Penulis ingin merakamkan setinggi terima kasih kepada kakitangan di Makmal Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) yang banyak membantu dalam kajian. Juga, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada kakitangan di Institut Sel Fuel, UKM di atas bimbingan semasa menjalankan makmal SEM.

Rujukan

- [1] Joshi, S., Drzal, L., Mohanty, A. and Arora, S. 2004. Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 35(3): 371–376.
- [2] Ude, A. U., Eshkoo, R. A., Zulkifli, R., Ariffin, A. K., Dzuraidah, A. W. and Azhari, C. H. 2014. Bombyx Mori Silk Fibre and Its Composite: A Review of Contemporary Developments. *Materials & Design*. 57: 298–305.
- [3] De Rosa, I. M., Santulli, C., Sarasini, F. and Valente, M. 2009. Post-Impact Damage Characterization of Hybrid Configurations of Jute/Glass Polyester Laminates Using

- Acoustic Emission and Ir Thermography. *Composites Science and Technology*. 69(7-8): 1142–1150.
- [4] Jawaid, M. and Abdul Khalil, H. P. S. 2011. Cellulosic/Synthetic Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites: A Review. *Carbohydrate Polymers*. 86(1): 1–18.
 - [5] Khan, M. A., Ganster, J. and Fink, H. P. 2009. Hybrid Composites of Jute And Man-Made Cellulose Fibers with Polypropylene by Injection Moulding. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 40(6-7): 846–851.
 - [6] Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M., and Scholten, L. 2006. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia, (part II)*. The Netherlands: FAO and Wetlands International.
 - [7] Sheltami, R. M., Abdullah, I., Ahmad, I., Dufresne, A. and Kargazadeh, H. 2012. Extraction of Cellulose Nanocrystals from Mengkuang Leaves (Pandanus Tectorius). *Carbohydrate Polymers*. 88(2): 772–779.
 - [8] Hani, A. R. A., Ahmad, R. and Mariatti, M. 2013. Influence of Laminated Textile Structures on Mechanical Performance of NF-Epoxy Composites. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 7: 757–763.
 - [9] Prasad, M. S. S., Venkatesha, C. S. and Jayaraju, T. 2011. Experimental Methods of Determining Fracture Toughness of Fiber Reinforced Polymer Composites under Various Loading Conditions. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 10(13): 1263–1275.
 - [10] Eshkoo, R. A., Ude, A. U., Oshkovr, S. A., Sulong, A. B., Zulkifli, R., Ariffin, A. K. and Azhari, C. H. 2014. Failure Mechanism of Woven Natural Silk/Epoxy Rectangular Composite Tubes under Axial Quasi-Static Crushing Test using Trigger Mechanism. *International Journal of Impact Engineering*. 64: 53–61.
 - [11] Eshkoo, R.A., Oshkovr, S.A., Sulong, A.B., Zulkifli, R., Ariffin, A.K. and Azhari, C.H. 2013. Comparative Research on the Crashworthiness Characteristics of Woven Natural Silk/Epoxy Composite Tubes. *Materials & Design*. 47: 248–257.
 - [12] Eshkoo, R. A., Ude, A. U., Sulong, A. B., Zulkifli, R., Ariffin, A. K. and Azhari, C. H. 2015. Energy Absorption and Load Carrying Capability of Woven Natural Silk Epoxy-Triggered Composite Tubes. *Composites Part B: Engineering*. 77: 10–18.
 - [13] Craven, J. P., Cripps, R., and Viney, C. 2000. Evaluating the Silk/Epoxy Interface by Means of the Microbond Test. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 31: 653–660.
 - [14] Perez-Rigueiro, J., Viney, C., Llorca, J., and Elices, M. 2000. Mechanical Properties of Singlebrin Silkworm Silk. *Journal of Applied Polymer Science*. 75: 1270–1277.
 - [15] ASTM D790-03. 2003. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM International. West Conshohocken, PA.
 - [16] Zulkifli, R. and Azhari, C. H. 2010. Interfacial Treatment of Multi-Layer Woven Silk/Epoxy Composites. *International Review of Mechanical Engineering*. 4(1):1-6.
 - [17] Zulkifli, R., Azhari, C. H., Ghazali, M.J., Ismail, A. R. and Sulong, A.B. 2009. Interlaminar Fracture Toughness of Multi-Layer Woven Silk/Epoxy Composites Treated with Coupling Agent. *European Journal of Scientific Research*. 27(3): 454–462.