

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Hibrid Kenaf/Silica Fume/Epoksi

Judul Naskah Publikasi: Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Hibrid Kenaf/Silica Fume/Epoksi

Nama Mahasiswa: Haqqy Arifin Nur

NIM: 20150130034

Pembimbing 1: Dr. Ir. Harini Sosiati, M.Eng.

Pembimbing 2: Cahyo Budiyantoro, S.T., M. Sc.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai

Tanda Tangan
Haqqy Arifin Nur

Tanggal 26 - Juli - 2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan
Dr. Ir. Harini Sosiati, M.Eng

Tanggal 27 - Juli 2019

Tanda Tangan
Berti Paripurna Kamuel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Tanggal 27 - Juli - 2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT HIBRID KENAF/ SILICA FUME /EPOXY

Haqqy Arifin Nur^a, Harini Sosiati^a, Cahyo Budiyanoro^a

^a Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
 Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183
 Haqqyarifin0@gmail.com

Abstrak

Komposit berpenguat serat alam kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) sudah banyak dikembangkan dalam dunia industri otomotif khususnya pada interior maupun exterior mobil. Namun, untuk aplikasi otomotif, sifat mekanis dari komposit berpenguat serat alam harus ditingkatkan. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanis komposit yaitu dengan menggunakan metode hibridisasi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit hibrida kenaf/ *silica fume*/ epoksi serta mengetahui pengaruh fraksi volume *filler* (kenaf dan *silica fume*) pada sifat mekanis bending dan dampak, serta sifat fisis *water absorption*. Dalam penelitian ini, komposit hibrida kenaf / *silica fume* / epoksi di fabrikasi dengan mesin *hot press molding* pada suhu 100°C dengan tekanan untuk spesimen bending sebesar 1.449 MPa dan untuk spesimen dampak sebesar 0,967 MPa. Serat kenaf di alkalisasi dengan NaOH 6% selama 36 jam kemudian di potong dengan panjang 5 mm. Variasi dilakukan pada perbandingan fraksi volume serat yaitu 15, 20, dan 30 %. Partikel silika yang digunakan yaitu sebesar 2 % dengan ukuran 37 µm (400 mesh). Pengujian mekanis yang dilakukan adalah uji dampak dan bending yang masing-masing mengacu pada standar ASTM D6110 dan ASTM D790. Pengujian fisis yang dilakukan adalah uji daya serap air yang mengacu standar pada ASTM D570-98 dengan waktu perendaman 216 jam. Patahan komposit hasil uji dampak dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui persebaran serat dan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dampak tertinggi (7,49 kJ / m²), kekuatan bending tertinggi (59.180 MPa), dan modulus elastisitas (4.658 GPa) dicapai oleh komposit hibrida dengan fraksi volume serat 30%. Namun, presentase penyerapan air terendah (6,14%) dimiliki oleh komposit hibrida dengan fraksi volume serat 15%.

ata Kunci: epoksi, serat Kenaf, silika-fume, uji bending, uji dampak, uji daya serap air, *scanning electron microscopy* (SEM).

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia otomotif saat ini sangat pesat, terutama dalam bidang pemanfaatan bahan untuk pembuatan komposit salah satunya serat alam. Serat alam memiliki sifat ramah lingkungan, tidak beracun, biaya relatif murah, densitas rendah serta memiliki kekuatan sifat mekanis yang baik sehingga cocok di gunakan sebagai penguat. Serat alam dapat dijadikan sebagai bahan untuk pembuatan komposit, karena memiliki sifat yang dapat terurai (*biodegradable*) (Gowthami *et.al.* 2013).

Komposit merupakan suatu jenis hasil rekayasa gabungan dua bahan material atau lebih yang terdiri dari pengisi (*filler*) dan pengikat (matrik) dimana sifat masing-masing bahan berbeda (Elmarakbi, 2014). Saat ini komposit serat alam diaplikasikan sebagai pengganti bahan material logam karena memiliki sifat-sifat unggul yaitu ringan, kaku, kuat, serta tahan pada korosi dan beban lelah (Wicaksono, 2006). Penelitian yang mengarah dalam pengembangan bahan material komposit telah banyak dilakukan, salah satunya yang berkaitan dengan komposit berpenguat serat alam dengan matrik polimer.

Polimer yang digunakan yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik. Polimer termoset meliputi *polyester*, *epoxy* dan *vinylester*. Sedangkan polimer termoplastik meliputi PVC (*polyvinyl chloride*), PP (*polypropylene*), HDPE (*high density polyethylene* dan) LDPE (*low density polyethylene*). Polimer termoset digunakan sebagai bahan material induk (matrik) karena memiliki viskositas rendah proses fabrikasi yang mudah (Mallick, 2007). Matriks

thermoset epoksi terbentuk dari dua macam bahan kimia yaitu resin dan pengeras. Matrik epoksi ini memiliki modulus elastisitas yang tinggi, densitas rendah, keuletan tinggi, dan memiliki kadar air yang cukup rendah sehingga cocok di gunakan sebagai matrik sebagai penguat serat alam (Faruk *et.al.* 2012).

Kenaf merupakan serat alam yang berasal dari tumbuhan *Hibiscus Cannabinus* yang memiliki sifat mekanis dan sifat termal yang baik (Fauzi *et.al* 2016). Penggunaan kenaf sudah banyak digunakan di industri otomotif, namun penambahan bahan pengisi (*filler*) seperti partikel mikrosilika dapat meningkatkan sifat mekanisnya yaitu meningkat 1,3 kali lebih besar dari pada tanpa dari pada komposit tanpa pengisi (*filler*) (Gowthami *et.al.* 2013).

Penelitian tentang komposit yang menggunakan silika sebagai bahan pengisinya (*filler*) telah dilaporkan oleh Jaafar *et.al.* (2018) yaitu melakukan penelitian dengan penambahan silika 10, 20, 30 dan 50 % dari matrik epoksi dengan fraksi volume 70 : 30. Yusminar dan suryani (2012) melakukan penelitian dengan variasi partikel dengan ukuran ayak 60 mesh, 230 mesh, 400 mesh. Raghavendra *et.al.* (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh panjang serat dengan *composite* hybrid epoksi/*banana fiber* dengan variasi panjang serat 2, 4, 6 mm fraksi volume 80:20. Bajuri *et.al.* (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh silika dengan variasi 0, 0,5, 2, 3, dan 4%. Bozkurt *et.al.* (2017) melakukan penelitian pengaruh *nanosilica* terhadap kuat tarik dan bending dengan *glass/epoxy/nanosilica*, variasi *nanosilica* sebesar 0, 1, 1,5, 2, dan 3%. Bakar *et.al.* (2016) melakukan penelitian komposit serat kenaf menggunakan termoset epoksi dan polyester melihat kekuatan mekanis terbaik pada fraksi volume kenaf/epoksi 25:75, 10:90, 15:85, dan 20:80.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaporkan, penelitian komposit hibrid kenaf/*silica fume*/epoksi menggunakan variasi fraksi volume serat 30:70, 20:80, dan 15:85 belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu pada penelitian ini telah dibuat komposit hibrid dengan matriks epoksi berpenguat serat kenaf dengan panjang serat ± 5 mm, penambahan 2% *silica fume* yang di ayak 400 mesh (37 μ m), dan difabrikasi menggunakan mesin *press* dengan metode *hot press* dengan tekanan untuk spesimen bending sebesar 1,449 MPa dan impak sebesar 0,967 MPa pada suhu 100°C selama 20-25 menit. Selanjutnya uji mekanis yang dilakukan pada spesimen komposit tersebut adalah uji impak dan bending. Sedangkan untuk uji fisis yaitu uji daya serap air dan uji mikro patahan hasil uji impak di amati dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Hasil penelitian ini juga dibandingkan dengan penelitian sebelumnya

2. METODE

2.1 Preparasi Serat dan Matriks

Serat kenaf dan silika di persiapkan sesuai berat yang telah di tentukan sebelumnya. Persiapan serat kenaf dicuci menggunakan aquades lalu serat kenaf direndam dengan larutan NaOH konsentrasi 6 % pada temperatur ruangan selama 36 jam, setelah itu serat direndam dengan larutan asam asetat konsentrasi 1% selama 1 jam untuk menghilangkan sisa NaOH yang bersifat basa, setelah itu serat dikeringkan dan dipotong ± 5 mm. Untuk silika sendiri di ayak dengan ayakan 400 mesh (37 μ m) setelah itu silika di oven dengan suhu 50° selama 30 menit. Matrik yang digunakan adalah matrik epoksi dengan perbandingan 1:1.

2.2 Pembuatan Komposit

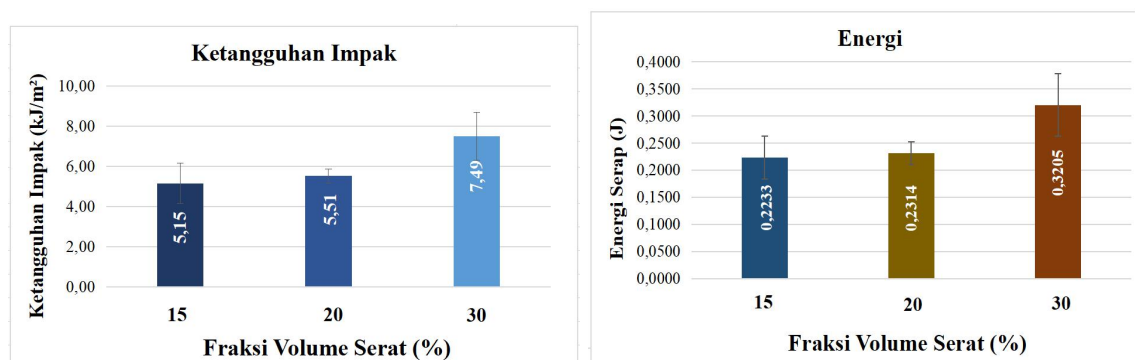
Komposit menggunakan fraksi volume antara serat dan matriks 15:85, 20:80 dan 30,70. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode penataan serat dan matriks dengan cara *hand lay up*. Setelah serat dan matriks disusun kedalam cetakan langkah selanjutnya pengepresan menggunakan mesin *hot press* dengan suhu 100 °c selama 20-25 menit dengan tekanan bending 1700 Psi dan impak 1160 Psi. hasil dari pengepresan selanjutnya dipotong sesuai ASTM yang telah di tentukan sebelumnya yaitu 3 *point bending* standar ASTM D790-03 ,impak standar ASTM D6110-04 dan *water absorption* standar ASTM D570.

2.3 Uji Mekanis, Fisis dan Karakterisasi

Pengujian mekanis dilakukan pada semua spesimen yang telah difabrikasi. Pengujian impact dan *bending* dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D6110-04 dan ASTM D790-03 menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) di Politeknik ATMI Surakarta pada impact menggunakan sudut pelepasan $107,5^{\circ}$ dengan kecepatan 2,901 m/s, pada pebgujian *bending* menggunakan *load cell* 20 kN, panjang span 80 mm. Lima sampel untuk setiap spesimen telah diuji, dan rata-rata *flexural strength*, modulus elastisitas (E_b) dan regangan (ϵ_b) telah diperoleh dari kurva tegangan-defleksi. Data ditampilkan dalam bentuk rata-rata. Sedangkan pengujian *water absorption* mengacu pada standar ASTM D570 dimana pengujian spesimen sampai kenaikan konstan dan dihitung setiap 12 jam untuk pengukuran berat dan ketebalan setelah perendaman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengujian impact

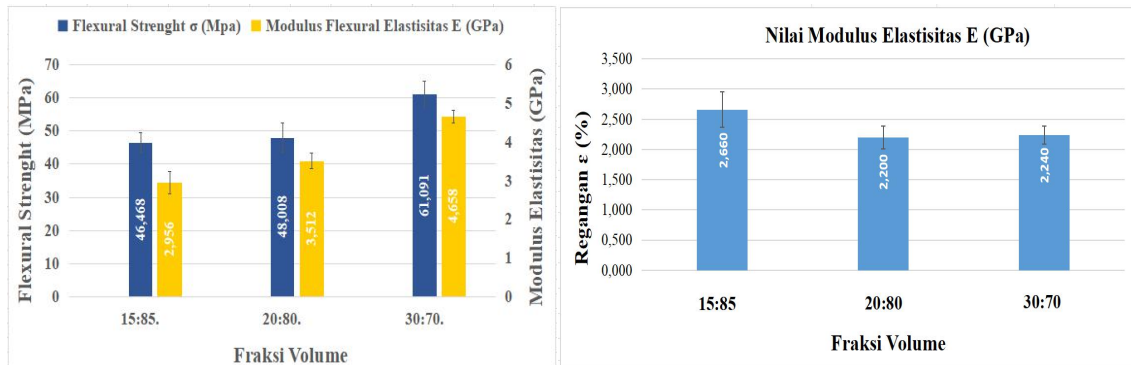


Gambar 3.1 Grafik kekuatan impact dan impact energy

Grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1 Grafik menunjukkan fraksi volume serat tertentu mampu meningkatkan sifat mekanis pada komposit. Nilai kekuatan impact tertinggi yaitu pada komposit dengan fraksi volume serat 30% menghasilkan kekuatan nilai impact strength optimal 7.49 kJ/m². Sedangkan impact energy optimal sebesar 0,32 J. Hal ini disebabkan oleh volume serat yang lebih banyak sehingga terjadi ikatan yang sangat baik antara resin dan serat yang mengakibatkan tidak terjadi kekosongan pada matrik

Hasil uji impact pada penelitian ini apabila dibandingkan dengan penelitian Bakar. *et al.* (2010) yang meneliti tentang variasi fraksi volume serat kenaf menggunakan matrik epoksi menunjukan nilai kekuatan impact optimal pada fraksi volume serat 15% sebesar 5,1 kJ/m². Jika dibandingkan dengan fraksi volume serat yang sama pada penelitian ini juga menunjukan hasil lebih tinggi yaitu sebesar 51,5 kJ/m². Hal ini disebabkan karena tidak adanya penambahan pengisi yang mempengaruhi sifat mekanis pada komposit. Menurut Gowthami *et.al.* (2013) penambahan pengisi silica dapat meningkatkan kekuatan mekanis pada komposit.

3.2 Hasil pengujian bending

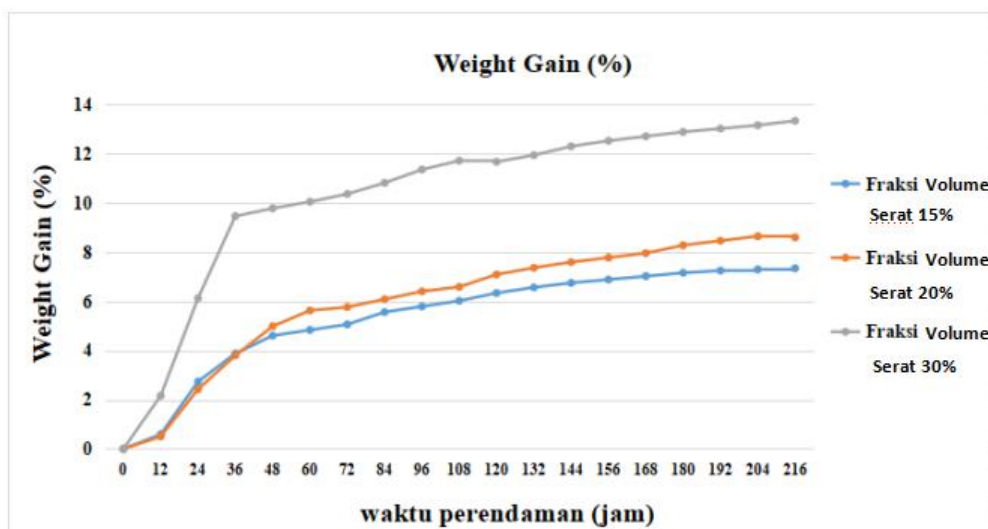


Gambar 3.2. Grafik kekuatan, modulus elastisitas dan regangan bending

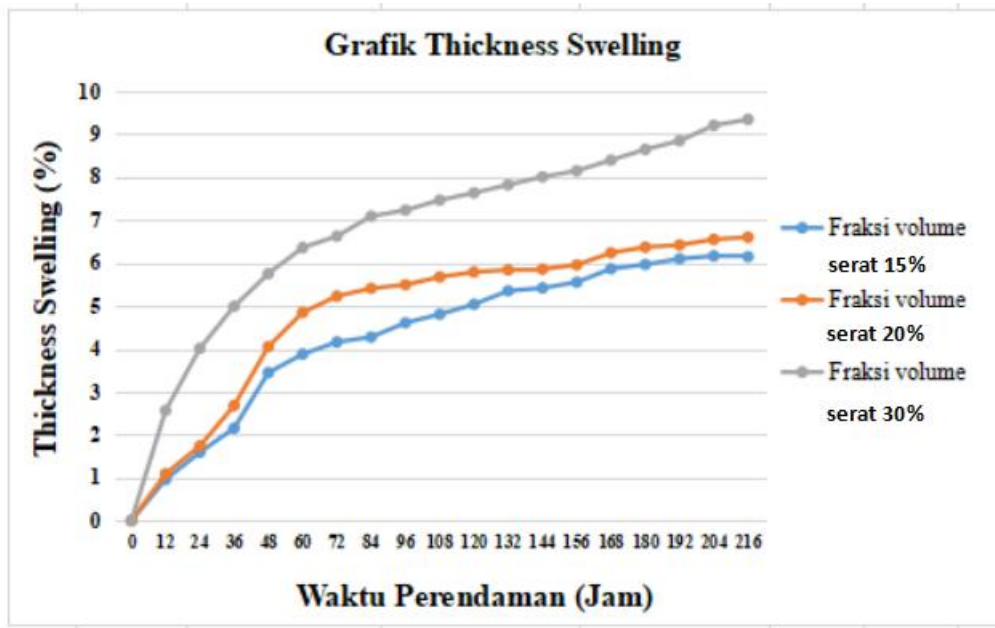
Dapat dilihat dari gambar 3.2 diatas, hasil pengujian bending menunjukkan terjadi kenaikan pada kekuatan bending dengan fraksi volum serat yang semakin banyak. Nilai kekuatan bending tertinggi yaitu pada komposit dengan fraksi volume serat 30% bernilai 61,091 MPa. Pada modulus elastisitasnya Semakin banyak fraksi volume serat meningkatkan nilai modulus bending komposit. Nilai modulus tertinggi pada fraksi volume serat 30% yang bernilai 4,658 Gpa. Hal ini di sebabkan oleh ikatan serat yang teralkalisasi menghasilkan kekuatan ikatan yang tinggi sehingga sangat berpengaruh pada sifat mekanis.

Hasil uji bending pada penelitian ini apabila dibandingkan dengan penelitian Bakar *et al.* (2010) yang meneliti tentang variasi fraksi volume serat kenaf dengan matrik epoksi. Menunjukkan hasil dari penelitian tersebut lebih rendah, dimana nilai kekuatan flexural strength tertinggi yaitu sebesar 53,5 MPa dengan fraksi volume serat 25%. Hal ini disebabkan karena volume matrik kurang, sehingga tidak merata sempurna dan tidak adanya penambahan pengisi lain pada komposit yang mempengaruhi sifat mekanis.

3.3 Hasil pengujian uji daya serap air



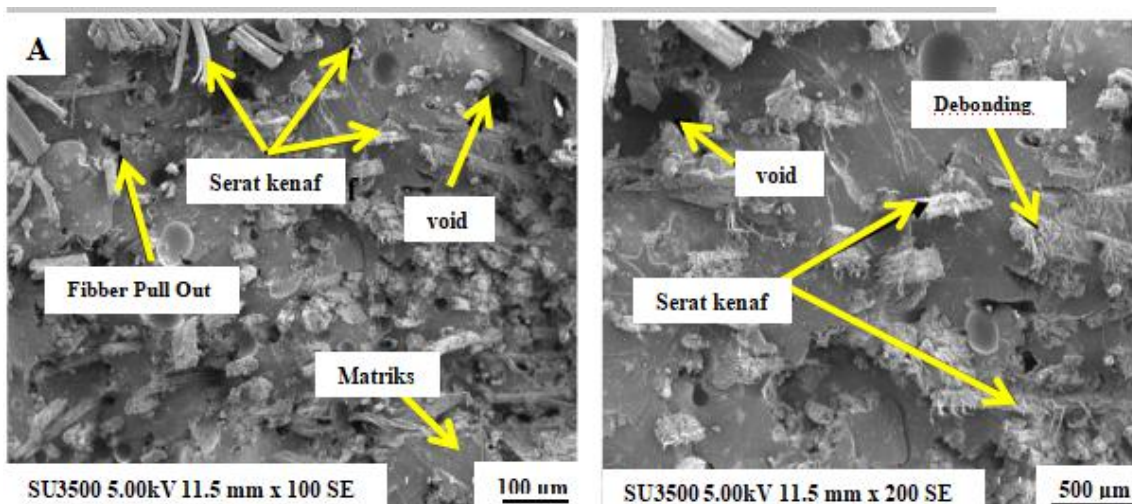
Gambar 3.3. Penyerapan air

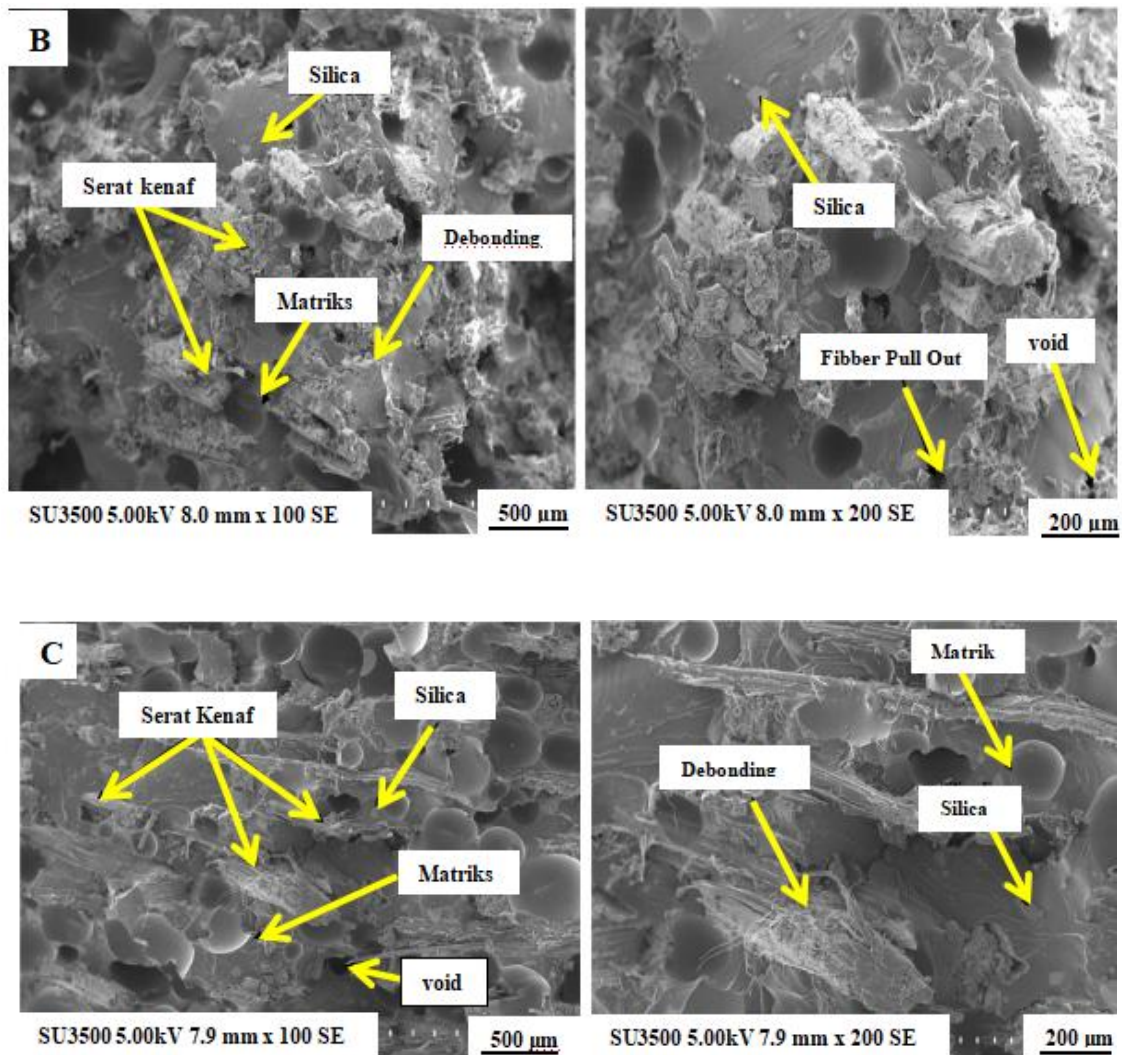


Gambar 3.4 thicknes swelling

Dari data pada Gambar 4.5 dan 4.6 grafik pertambahan tebal (*thickness swelling*) dan pertambahan berat (*weight gain*) menunjukkan bahwa daya serap air tertinggi yaitu pada variasi spesimen komposit serat kenaf/*silica fume*/epoksi dengan fraksi volume serat 30% sebesar 9,4% sedangkan daya serap air terendah yaitu pada variasi fraksi volume sera 15% sebesar 6,1% disetiap waktu perendaman. Hal ini disebabkan karena sifat serat alam kenaf yang *hidrofilik* (menyerap air) dan tanpa terhalang oleh partikel *silica fume* akan lebih mudah dalam menyerap air. Penyerapan air akan semakin meningkat karena adanya ikatan matriks dan *filler* yang buruk kemudian mengakibatkan *micro void* akan memungkinkan penyerapan air yang lebih (Shakeri, 2010). Daya serap air akan mengakibatkan spesimen komposit bertambah berat dan tebal.

3.4 Analisis SEM





Gambar 3.5 Hasil Foto Mikro menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (A) Fraksi volume serat 30% (B) Fraksi volume serat 20% (C) Fraksi volume serat 15%

Dari citra SEM Gambar 3.5 struktur patahan komposit dengan pada gambar (A) terlihat bahwa persebaran matriks dan serat pada cenderung merata dan tidak terjadi void terlalu besar pada struktur patahan. Akan tetapi, terjadinya ikatan kurang bagus antara serat dan matriks (*debonding*). Hal ini terlihat banyaknya serat yang cenderung rapuh akibat interaksi permukaan antara matriks dan serat. Dikarenakan serat tidak mampu mengikat secara sempurna akibat sifat polimer epoxy cenderung *hidrofobik* (tidak menyerap air). Terlihat partikel silica mampu mengikat matriks akan tetapi meningkatkan adanya *micro void* di sekitar serat.

Menurut Jaafar dkk, (2018) proses alkalisasi serat kenaf mampu meningkatkan interaksi antara matriks dan serat. Tetapi kecenderungan akan serat rusak meningkat. Terjadinya *fiber pull out* atau serat tertarik keluar setelah pembebanan atau terjadinya putus dan patah setelah pembenanan menandakan interaksi permukaan yang lemah antara matriks dan serat.

Pada gambar B persebaran serat dan matriks cenderung cukup merata. Akan tetapi, terjadinya ikatan kurang bagus antara serat dan matriks (*debonding*). Hal ini terlihat banyaknya serat yang cenderung rapuh akibat interaksi permukaan antara matriks dan serat serat tidak mampu mengikat secara sempurna akibat sifat polimer epoxy cenderung *hidrofobik* (tidak menyerap air). Hal inilah yang menyebabkan *debonding* antara serat kenaf dengan matriks epoksi. Terdapat *micro void* dan *fiber pull out* yang mengakibatkan sifat mekanis dari komposit menurun. Adanya *micro void* karena ketika proses fabrikasi ada udara yang terjebak serta sifat serat kenaf yang *hidrofilik* (menyerap air) yang juga memungkinkan terbentuknya *micro void*.

Dan Pengurangan volume kenaf mengakibatkan komposit memiliki kepadatan yang tinggi sehingga mempengaruhi sifat mekanis (Diharjo dkk, 2014).

Pada gambar C persebaran serat tidak merata dan matrik lebih mendominasi sehingga terjadi ikatan yang tidak bagus (*debonding*) antara matriks epoksi dengan serat kenaf yang mengakibatkan sifat mekanis dari komposit rendah. Sifat dari serat alam yang *hidrofilik* (menyerap air) bertolak belakang dengan sifat dari matriks epoksi yang *hidrofobik* (tidak menyerap air). Hal inilah yang menyebabkan *debonding* antara serat kenaf dengan matriks epoksi. Terdapat *micro void* dan *fiber pull out* dari foto patahan komposit epoksi/kenaf tanpa *silica fume* yang mengakibatkan sifat mekanis dari komposit menurun. Adanya *micro void* karena ketika proses fabrikasi ada udara yang terjebak serta sifat serat kenaf yang *hidrofilik* (menyerap air) yang juga memungkinkan terbentuknya *micro void*.

Menurut Raharjo (2015) ciri dari ikatan yang kuat antara matriks dengan seratnya yaitu tidak adanya *fiber pull out* ketika adanya pembebanan dan ketika adanya serat yang putus atau patah akibat adanya pembebanan. Hal ini terjadi karena adanya ikatan yang kuat antara matriks dan serat.

Dari hasil analisa foto patahan pada Gambar 4.8 komposit kenaf/ *silica fume*/epoksi pada gambar (A) terdapat adanya ikatan matrik yang kuat terlihat dari persebaran serat dan matrik lebih merata dibandingkan pada gambar B dan C. Sehingga tidak terjadi kekosongan ruang dan Pengurangan volume kenaf mengakibatkan komposit memiliki kepadatan yang tinggi sehingga mempengaruhi sifat mekanis (Diharjo dkk, 2014).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fraksi volume serat dapat mempengaruhi kekuatan mekanis maupun fisis pada komposit hibrid kenaf/*silica fume*/epoksi. Hasil menunjukkan ketangguhan impak, kekuatan bending, dan modulus elastisitas bending tertinggi adalah pada komposit dengan fraksi volume serat 30% dengan nilai masing- masing sebesar 7,49 kJ/m², 59,180 MPa, dan 4,658 GPa. Dari hasil uji fisis, fraksi volume serat 85:15 menghasilkan daya serap air terendah dengan penambahan berat 6,14%. Hal di sebabkan karena sifat serat yang mudah menyerap air
2. Hasil SEM menunjukkan bahwa dengan fraksi volume serat 30% lebih merata tercampur dengan matriks di tambah dengan *silica fume* yang mudah terdispersi kedalam matrik sehingga dapat mengakibatkan ikatan antara serat, matriks dan *silica fume* lebih kuat. Hal ini akan mempengaruhi dalam sifat mekanis.

REFERENSI

- Akil, H.M., Omar, M.F., Mazuki, A.A.M., Safiee, S., Ishak, Z.A.M., Bakar, A.A. (2011). *Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Riview*: Journal of Materials and Design Vol. 4107-4121. Science Direct.
- Bajuri, F., Mazlan, N., Ishak, M.R., Imatomi, J. (2016). *Flexural and Compressive Properties of Hybrid Kenaf/Silica Nanoparticles in Epoxy Composite*. Procedia Chemistry Vol. 955-960. Science Direct.
- Bakar, N. H., Hye, K. M., Mohamed, A. F., Salleh, Z. & Kalam, A. (2014). *Kenaf fibre composites using thermoset epoxy and polyester polymer resins: energy absorbed versus tensile properties*. Materials Research Innovations. 18:sup6, S6-505-509.
- Bakar, M.AA, Ahmad, and Kuntjoro (2010). The Mechanical Properties of Treated and Untreated Kenaf Fibre Reinforce Epoxy Composite. Journal of biobased Material and Bioenergy Vol. 4,pp.1-5.
- Bozkurt, O.Y., Al-Azzawi, W.K., Ozkan, O. (2017) *The Effect of Nanosilica on Tensile and Flexural Behavior of Glass Fiber Reinforced Composite Laminates*. Mechanical Engineering Department, Gaziantep University, Turkey. 5(3).
- Diharjo, K., Elharomy, I., Purwanto, A. (2014) Pengaruh Fraksi Volume Filler terhadap kekuatan bending dan ketangguhan impak komposit nano silika-Phenolic. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5, No.1 Tahun 2014,pp. 27-32.
- Elmarakbi, A. (2014). *Advanced composite materials for automotive applications (First Edition)*. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom.
- Faruk, O., Bledzki K.A., Fink H.P., Sain M. (2012). *Biocomposites Reinforced With Natural Fibers: 2000-2010*. Progres in Polymer Science Vol. 1552-1596. Science Direct.
- Gowthami, A., Ramanaiah, K., Prasad, A.V.R., Reddy, K.H.C., Rao, K.M., Babu, G.S. (2013). *Effect of Silica on Thermal and Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyester Composites*. JMES Vol. 199-204.
- Ismail, N.F., Muhamad, N., Sulong, A.B., Haron, C.H.C., Tholibon, D., Tharazi, I., MdRadzi, M.K.F., Razak, Z. (2017). *Mechanical Properties of Compression Molded Epoxy Polymer Composites Reinforced with Kenaf Fibers*. Journal of Mechanical Engineering Vol. SI 3 (2), 1-12, 2017. Department of Mechanical and Material Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia.
- Khater, H.M. (2013). *Effect of Silica Fume on the Characterization of the Geopolymer Materials*. International Journal of Advanced Structural Engineering. Original Research. 5(1), p.12.
- Kosmatka, S., H., & Wilson, M., L. (2011). Design and Control of Concrete Mixtures. The guide to applications, methods, and materials. Fifteenth Edition. Portland Cement Association.
- Mallick, P. K. 2007. *Fiber Reinforced Composites, Materials, Manufacturing and Design*. Taylor & Francis. Boca Raton, USA.
- Matthews, F.L, and R.D. Rawling. (1993). *Composite Materials Engineering and Science*. Imperial College of Science Technology and Medicine. London, England.
- Nahyudin, A., & Sosiati, H. (2016). Pengaruh Maleated Polypropylene (MAPP) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sisal Polypropylene (PP). Skripsi. UGM. Yogyakarta, Indonesia.
- Raharjo, W., Aries, H., Fitriyani, R. (2015). Sifat Tarik dan Lentur Komposit rHDPE/Serat Cantula dengan Variasi Panjang Serat. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin.