

Pengujian tarik dan kekerasan permukaan komposit anyaman serat jute menggunakan variasi viskositas matrik resin epoksi

I Wayan Windra Nugraha¹, I Made Astika¹, I Dewa Gede Ary Subagia^{1,2}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Pusat Penelitian Teknologi dan Material, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Udayana
Jl. Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80361
Email korespondensi: arsubmt@unud.ac.id

Abstrak

Kajian ini difokuskan untuk menyelidiki sifat ketegangan tarik dan kekerasan permukaan dari komposit anyaman serat jute dengan variasi ketebalan matrik. Resin epoksi telah diaplikasikan sebagai matrik pada komposit dengan variasi ketebalan. Komposisi resin epoksi dan pengeras yang digunakan adalah rasio 60:40 wt%, 65:35 wt% dan 70:30 wt%. Ketebalan resin epoksi dilakukan melalui penambahan 5% dan 10% pelarut thinner NC. Ketebalan resin epoksi diukur menggunakan metode bola jatuh, sedangkan Vacuum Resin Transfer Molding (VRTM) diaplikasikan untuk membuat panel komposit. Sifat tarik dan kekerasan komposit masing-masing diuji oleh Universal Testing Machine (UTM) dan Rockwell hardness testing machine (RH). Pengujian patahan komposit dilakukan menggunakan pemindaian mikroskop elektron (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik pada komposit tertinggi adalah terjadi komposit dengan komposisi matriks tanpa sat pelarut yaitu 60:40 wt% yaitu 41,823 MPa. Kemudian, Modulus tarik adalah 1,370 GPa, serta perpanjangan mulur adalah 0,04% maksimum. Hasil uji kekerasan permukaan dari komposit dihasilkan terbaik pada rasio 65:35 wt% yang ditambahkan thinner 10%. Kesimpulannya, ketebalan tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai tegangan tarik dan kekerasan, tetapi berpengaruh efektif terhadap daya ikat serat karena perilaku pull-out dan delaminasi sangat kecil terjadi.

Kata kunci: komposit, ketebalan, kekerasan, uji tarik, epoksi, anyaman serat jute

Abstract

This experiment focused to investigate tension strength and surface hardness of jute woven fabric composites with varieties of matrix viscosities. Epoxy resin with several viscosity was applied as matrix of composites. The matrix ratios that used are 60:40 wt.%, 65:35 wt.%, and 70:30 wt.%, with NC thinner solvent about 5% and 10% for reduced viscosity. The falling ball method was used to analyzing the epoxy resin viscosities, while the Vacuum Resin Transfer Molding was applied for fabricated the composites panel. The Universal Tension Machine and Rockwell Hardness machine were used to testing of tension strength and surface hardness, respectively. The failures were analyzed on scanning electron microscope. The results show that, composite matrix with ratio 60:40 wt% without solvent of has a highest value about 41.823 MPa. Meanwhile, the tension modulus is 1.370 GPa, as well as the tensile deflection is about 0.04% maximum. The best surface hardness value was shown by ratio 70:30 wt% with 5% NC solvent. The conclusions are viscosity do not affect significantly tensile strength and surfaces hardness of composite. However, viscosity of matrix has effectively influenced interface bond, because of pull-out and delamination almost do not occurred.

Keywords: composite, viscosity, hardness, tensile test, epoxy, jute woven fiber.

1. Pendahuluan

Komposit dengan gabungan serat dan *polymer* telah secara luas diaplikasikan pada produk teknologi sejak dua dekade terakhir [1]. Bahan komposit sangat tergantung pada unjuk kerja dari penguat dan bahan matrik. Secara umum, rasio bahan komposit adalah 60% penguat (*filler*) dari volume yang tersedia dan 40% matrik (*polymer*) atau sebaliknya. Matrik adalah bahan polimer yang berfungsi untuk mengikat serat, sehingga fiber tidak terlepas (tidak terjadi *fenomena fiber pull out*) [2, 3]. Selain itu, polimer berfungsi untuk menentukan sensitivitas komposit terhadap pengaruh luar seperti kelembaban, bahan kimia, kekerasan dan cahaya

ultraviolet, serta sifat bakar [4]. Epoksi merupakan kelompok *polymer thermosetting* yang cukup populer dalam penggunaan sebagai matriks komposit [5, 6]. Keunggulan dari resin epoksi meliputi sifat perekat yang baik, unggul pada sifat kekuatan dan kekakuan, tahanan terhadap kelelahan dan retak-mikro, dan daya serap air, serta degradasi permukaan oleh *permeabilitas* air rendah [7, 8].

Beberapa kajian yang telah dilakukan terkait dengan perilaku ketebalan epoksi pada struktur komposit. Gilav, dkk [9], berdasarkan persamaan *Arrheniu* melaksanakan eksperimen pengaruh ketebalan terhadap polimerisasi resin epoksi. Hasil eksperimen ditunjukkan bahwa polimerisasi resin epoksi

tergantung pada konsentrasi dan suhu. Szewczak,dkk [2] melakukan modifikasi kekentalan resin epoksi dengan menambahkan mikro-silika dan *carbon nanotube*. Abdel,dkk [10] mempelajari sifat kekentalan, derajat *polimerisasi*, *water uptake*, dan *water solubility* pada bahan komposit yang diaplikasikan untuk gigi. Ali,dkk [11] melakukan pengurangan *kekentalan* melalui proses sintesa turunan *bisphenol A-glycidyl methacrylate* (BisGMA), dengan memasukkan atom *chlorine*. Vahid [12] meneliti *viskoelastik* dari resin epoksi pada suhu konstan 25°C secara reologis berdasarkan variasi waktu yaitu 15, 30, dan 60 menit setelah pencampuran epoksi dan pengeras. Dihasilkan peningkatan laju geser (*shear rate*) dengan penurunan kekentalan dari resin epoksi.

Bertitik tolak dari kajian sebelumnya, kekentalan matriks menjadi hal yang menarik untuk dianalisis lebih lanjut, di mana pengaruhnya terhadap daya ikat dan kekerasan setelah pengeringan. Permasalahan yang menarik diuji dalam kajian ini adalah sifat tarik dan kekerasan permukaan dari komposit dengan kekentalan matriks epoksi yang ditambahkan dengan zat pelarut yaitu *thinner*. Selanjutnya, eksperimen dilakukan pada komposit dengan penguat serat anyaman jute menggunakan variasi kekentalan matriks. Kekentalan epoksi diatur melalui penambahan 5% dan 10% zat pelarut yaitu thinner. Kajian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh kekentalan matriks pada struktur bahan komposit serat alami terhadap pembebanan tarik dan kekerasan permukaan. ASTM D9039 dan ASTM E384 serta ASTM E10 masing-masing digunakan sebagai standar dalam pengujian unjuk kerja. *Universal testing machine* (UTM) digunakan untuk menguji sifat mekanik karena pembebanan tarik dan *microhardness* dipergunakan untuk menguji kekerasan permukaan dari benda kerja dengan mengaplikasikan *brinell test*, serta *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis *interface* matriks dan epoksi.

2. Metode

Bahan komposit terdiri dari penguat adalah serat jute dan matriks diaplikasikan resin epoksi *Bisphenol A Epichlorohydrin* (EPR-174). Kemudian pengering *curing agent epoxy* dipergunakan *Cyclonliphatic Amine* (EPH-555). Sedangkan pengencer dari epoksi dipergunakan minyak *thinner Nitro Cellulose* (NC) dengan rumus kimia C₃H₆O atau CH₃COCH₃ yang mengandung 80% minimum aseton, yang diproduksi oleh PT.Mataram. *Thinner* adalah zat yang terdiri dari golongan keton, alkohol dan *hydrocarbon* yang umumnya digunakan untuk menurunkan kekentalan (*viscosity*) dari larutan kental seperti epoksi dan cat. Disamping menurunkan kekentalan juga mampu memberikan daya ikatan dan mengkilapkan serta memiliki daya penguapan yang tinggi. Diketahui bahwa *thinner* mengandung *metanol* [CH₃OH]

sebanyak 47,8%, *propana* [C₃H₈] sebanyak 34,3%, dan *Carbonic Acid* 10,12%. Ciri khas dari *thinner* adalah cairan tidak berwarna (bening) dan berbau menyengat. Kekurangan dari *thinner* adalah berbahaya bagi kesehatan. Adapun bahan jute, epoksi dan *thinner* ditunjukkan seperti Gambar 1. Sifat mekanik dan kimia dari masing-masing bahan ditunjukkan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Sifat mekanik serat jute, epoksi, dan thinner.

Sifat	Jute	Epoksi	Thinner
Kerapatan (g/cm ³)	1,6	1,16	-
Tensile strength (MPa)	393	51	-
Tensile modulus (MPa)	26.5	2979	-
Tensile elongation (%)	8	2,8	-
Hardness (shoreD)	-	81	-

Tabel 2. Karakteristik fisik serat jute, epoksi, dan thinner.

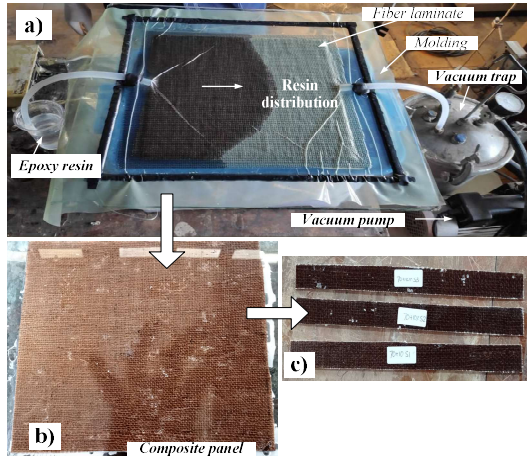
Sifat	Jute	Epoksi	Thinner
Berat mol (g/mol)		242,3	58,08
Titik lebur (°C)		-	-0,79
Titik didih (°C)		120	56,53
Kekentalan (20°C) cP		13.000	0,32



Gambar 1. (a) anyaman serat jute, (b) epoksi dan hardener dan (c) thinner.

Komposit diproduksi dengan menggunakan metode injeksi yaitu *vacuum assisted resin transfer molding* [13, 14] ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya, Tabel 3 menunjukkan komposisi dari pencampuran antara epoksi, pengering dan *thinner*. Pada Tabel 3, angka 1 adalah menyatakan rasio campuran epoksi dan pengering 60:40 wt%, angka 2 menyatakan

campuran 65:35 wt% dan angka 3 adalah campuran 70:30 wt%.



Gambar 2. (a) proses injeksi komposit, (b) panel komposit hasil cetakan dan (c) benda uji.

Tabel 3. Rasio resin epoksi-hardener-thinner.

Sampel	Epoksi (wt%)	Hardener (wt%)	Thinner (%)
Me-1	60	40	
Me-2	65	35	0
Me-3	70	30	
Me(5)-1	60	40	
Me(5)-2	65	35	5
Me(5)-3	70	30	
Me(10)-1	60	40	
Me(10)-2	65	35	10
Me(10)-3	70	30	

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai ukuran gesekan internal cairan. Dengan kata lain didefinisikan sebagai rasio tegangan geser dibagi dengan *gradien* kecepatan (laju geser). Ada dua jenis kekentalan yaitu *dynamic viscosities* dan *kinematic viscosities* [15]. Pengujian kekentalan epoksi dilakukan menggunakan metode bola jatuh (*Falling Ball Method*). Metode ini menggunakan *Stokes formula* untuk menghitung kekentalan cairan dilakukan dengan mengukur waktu jatuh dari benda bulat (*spherical body*) di dalam cairan [15], seperti ditampilkan pada Gambar 3. Pada pengujian ini, gerakan bola bekerja di bawah gaya gravitasi yang menimbulkan gaya gesek dan dihitung menggunakan persamaan *Stokes hydrodynamic* seperti pada Persamaan 1 berikut [15].

$$\Gamma = 6\pi \cdot \mu \cdot r \cdot v \quad (1)$$

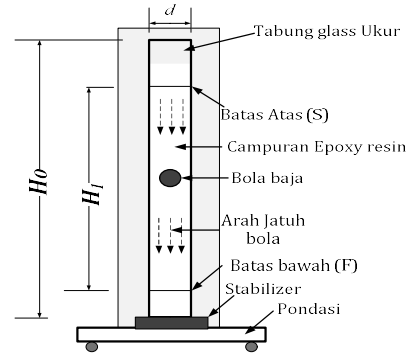
Notasi v adalah kecepatan bola jatuh (mm/dt), r adalah radius bola (mm), μ adalah koefisien dinamik kekentalan dan π adalah *medium viscosities coefficient*.

Alat yang digunakan untuk mengukur kekentalan dengan metode *falling ball* adalah *Hoeppler Viscometer* (ditunjukkan seperti pada Gambar 3). Di

mana dalam persamaan empiris hubungan kekentalan dan waktu jatuhnya bola dan melewati jarak yang ditentukan diberikan oleh Persamaan 2 berikut.

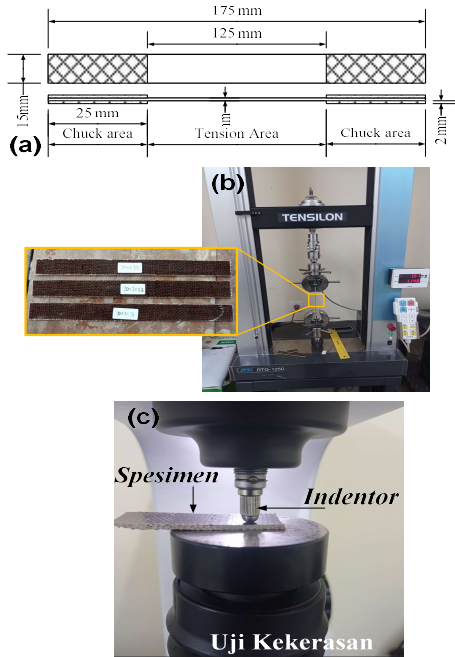
$$\theta = K_H (\rho_F - \rho_B) \cdot t \quad (2)$$

Notasi θ merupakan viskositas absolut (cps), K_H adalah konstanta *Viscometer Hoppler*, ρ_B adalah *density* bola, ρ_F adalah *density* cairan dan t merupakan rata-rata waktu aliran yang diukur sebanyak 5 kali pengulangan.

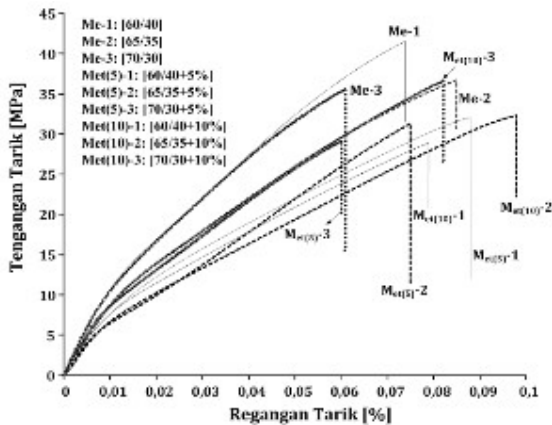


Gambar 3. Skematik alat uji kekentalan (Hoeppler Viscometer).

Pengujian pengaruh kekentalan dari matriks adalah diuji terhadap pembebanan tarik dan kekerasan. Gambar 4(a) menunjukkan geometri benda uji dan Gambar 4(b) menunjukkan proses pengujian tarik pada dilakukan pada UTM *Tensilon* RTG-1250, dengan kapasitas *loadcell* 5 kN pada *cross head speeds* 3 mm/min. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan untuk setiap variasi sampel uji yang didasarkan pada standar ASTM D9039 [16].

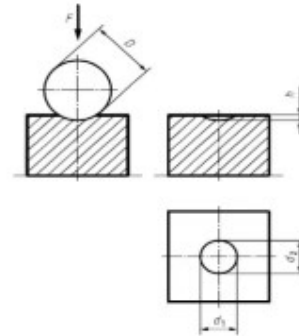


Gambar 4. (a) Geometri benda uji tarik, (b) benda Uji Tarik, c) proses uji tarik dengan UTM dan (d) proses uji Rockwell test.



Gambar 5. Grafik tegangan dan regangan tarik material komposit dari variasi kekentalan.

Pengujian kekerasan permukaan untuk setiap variasi kekentalan matriks epoksi diuji dengan menggunakan *Rockwell hardness testing machine* HR-400, Mitutoyo dengan mengacu pada standar ASTM E384 dan ASTM E10. Pengujian kekerasan ditunjukkan seperti pada Gambar 4(d). Pengujian *Brinell* (HB) telah diterapkan sebanyak 5 titik untuk masing-masing variasi benda uji. Data uji HB didapatkan berupa besaran diameter indentasi pada bidang horizontal dan bidang vertikal ditunjukkan seperti Gambar 6. Dimensi diameter horizontal dan vertikal dirata-ratakan untuk menghitung besarnya nilai kekerasan *HB*.



Gambar 6. Skematik uji kekerasan permukaan dengan microhardness brinell.

Pengujian HB adalah sangat tergantung dari ketebalan benda kerja yaitu $8h$, yang mana ketebalan (h) dari benda kerja dapat ditentukan dengan Persamaan 3 sebagai berikut.

$$h = \frac{P}{d \cdot HB} \quad (3)$$

sedangkan HB (kg/mm^2) dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$HB = \frac{\text{beban indentasi}}{\text{Diameter Indentasi}} \quad (4)$$

atau

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5)$$

Notasi P adalah beban indentasi (kg), D adalah diameter bola penekan (mm) dan d merupakan diameter indentasi (mm).

Pengujian tarik komposit epoksi dengan penguat anyaman serat jute untuk masing-masing penambahan 5% dan 10% pelarut (*thinner*) ditunjukkan seperti pada Gambar 5. Rata-rata tegangan dan regangan dengan 5 kali pengulangan ditampilkan seperti pada Tabel 4. Kemudian kekerasan permukaan terhadap variasi kekentalan masing-masing benda uji ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Rata-rata hasil uji tarik.

Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (GPa)	Kekentalan (cp)
Me-1	41.823	0,031	1,370	0.478
Me-2	34.920	0,033	1,051	0.760
Me-3	35.833	0,026	1,386	0.610
Met(5)-1	23.180	0,035	0,683	0.270
Met(5)-2	34.098	0,033	1,011	0.390
Met(5)-3	30.306	0,026	1,161	0.450
Met(10)-1	30.553	0,035	0,874	0.103
Met(10)-2	30.425	0,040	0,763	0.147
Met(10)-3	37.396	0,034	1,111	0.165

Tabel 5. Data hasil uji kekerasan permukaan.

Spesimen	Dia indentasi (d)	Dia. Indentor (D)	Beban (P) (kg)	HB
Me-1	0.047	1.58	588.6	477.39
Me-2	0.046	1.58	588.6	477.39
Me-3	0.045	1.58	588.6	477.40
Met(5)-1	0.047	1.58	588.6	477.39
Met(5)-2	0.046	1.58	588.6	477.39
Met(5)-3	0.043	1.58	588.6	477.41
Met(10)-1	0.046	1.58	588.6	477.39
Met(10)-2	0.046	1.58	588.6	477.39
Met(10)-3	0.045	1.58	588.6	477.40

Analisis patahan dari benda uji akibat pembebanan tarik dilakukan dengan menggunakan pengamatan SEM JEOL-JSM 6510 LA. Pengamatan patahan benda uji difokuskan pada sifat *pull-out* serat dan *interfaces* serta *delaminasi* efek dari perubahan ketebalan matrik.

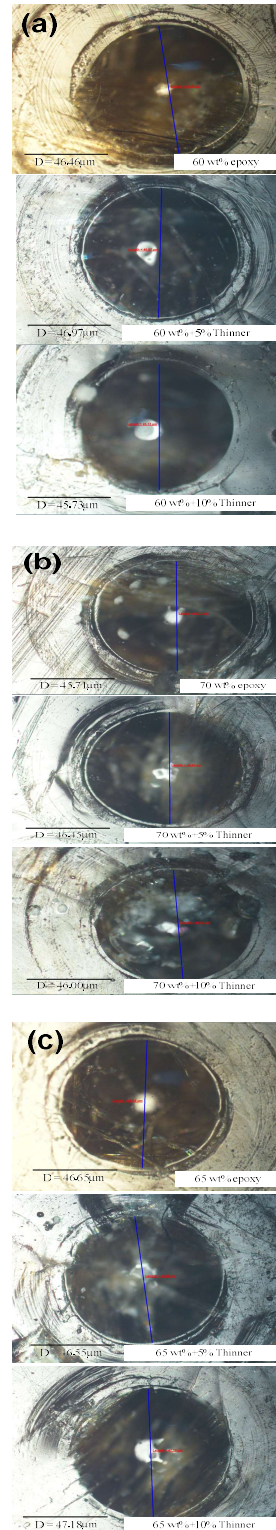
3. Hasil dan Pembahasan

Kekentalan matrik pada tensile test

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan tegangan dan regangan dari variasi ketebalan matrik untuk komposit epoksi dengan penguat anyaman serat jute pada pembebanan tarik. Pada Gambar 5, dapat diamati bahwa kenaikan tegangan terjadi secara linier untuk semua benda uji dengan maksimum tegangan untuk masing-masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4. Regangan dari masing-masing sampel didapatkan adalah maksimum 0,035%. Pengamatan dari hasil dengan kandungan zat pelarut pada epoksi yang meningkat menimbulkan adanya peningkatan pencabangan. Peningkatan ini mempengaruhi sifat mekanik epoksi seperti kekuatan tarik. Tren variasi ini dapat dikaitkan dengan efek kepadatan *cross-linking* dan kekakuan rantai molekul epoksi *hyperbranched*. Penurunan ketebalan berkontribusi efektif dalam proses fabrikasi yaitu menjadi lebih mudah dibanding dengan bahan berbasis epoksi murni [7, 17], yang mana epoksi akan menjadi lebih mudah terserap oleh serat penguat [18].

Kekentalan matrik pada kekerasan permukaan

Tabel 5 menunjukkan nilai rata-rata dari 5 kali pengulangan uji kekerasan permukaan komposit serat jute menggunakan variasi ketebalan epoksi matriks. Hasil pengujian kekerasan dengan Brinnel ditunjukkan bahwa ketebalan epoksi tidak berdampak utuh pada kekerasan permukaan. Hal ini ditunjukkan dari nilai yang dihasilkan tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari setiap variasi, di mana kekerasan dari epoksi sangat tergantung pada temperatur *curing* dan tingkat polimerisasi yang dilakukan [2].



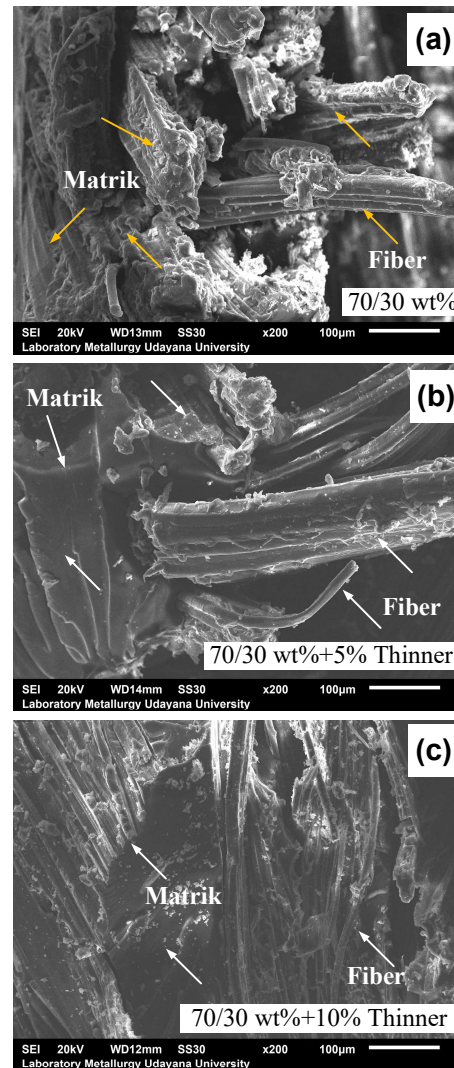
Gambar 7. Kubah penekanan HB (a) campuran epoksi 60:40wt%, 60:40wt% + 5%, dan 60:40wt% + 10%, (b) campuran epoksi 70:30wt%, 70:30wt% + 5%, dan 70:30wt% + 10% dan (c) campuran epoksi 65:35wt%, 65:35wt% + 5%, dan 65:35wt% + 10%.

Gambar 7(a)-7(c) menunjukkan kubah hasil penekanan Brinnel untuk masing-masing konfigurasi

campuran. Seperti didapatkan (Tabel 5) bahwa tidak terjadi perbedaan yang berarti pada kekerasan permukaan untuk masing-masing konfigurasi, begitu halnya dengan perbedaan diameter kubah yang dihasilkan sangat kecil sehingga bisa diabaikan. Dari analisis yang dilakukan bahwa kekerasan tergantung pada jumlah pengering yang ditambahkan, bukan karena kekentalan. Sebagaimana dinyatakan bahwa pengering berpengaruh pada kekerasan permukaan dan menurunkan kerapatan (densitas) seperti disampaikan pada kajian sebelumnya [1, 6]. Akan tetapi, kubah yang dihasilkan menjadi lebih mengkilap seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Kekentalan matrik pada interface serat penguat.

Gambar 8(a)-8(c) menampilkan hasil pengamatan SEM pada komposit serat jute dengan variasi kekentalan epoksi matrik setelah pembebanan tarik. Pada gambar tersebut ditampilkan untuk komposit anyaman serat goni dengan rasio epoksi dan pengering 70:30 wt%, dengan penambahan masing-masing 5% dan 10% zat pelarut *thinner*. Gambar 8(a) menampilkan ikatan antara serat dan epoksi tanpa penambahan zat pelarut. Teramati, terdapat gugus epoksi yang tidak terikat sempurna dengan serat penguat, sehingga memungkinkan terjadinya epoksi *shear* dan *pull-out* serta *delamination* antar lapisan serat, yang menurunkan sifat tegangan tarik dari komposit. Kemudian, dengan penambahan zat pelarut di mana mengakibatkan penurunan kekentalan dan kerapatan dari epoksi seperti ditampilkan pada Gambar 8(b) dan 8(c) berturut turut. Hasil pengamatan SEM tidak terlihat adanya perilaku *pull out*. Hasil ini menunjukkan bahwa kekentalan matriks sangat berpengaruh terhadap sifat ikatan, di mana serat jute yang memiliki daya serap yang tinggi menjadi mudah menyerap ke dalam serat dan membuat ikatan yang *solid*. Dengan demikian, penurunan kekentalan meningkatkan daya ikat antar matriks dan penguat, serta meningkatkan kekakuan yang dihasilkan melalui proses polimerisasi. Selanjutnya, untuk lebih meningkatkan daya ikat serat dan matriks dapat dilakukan dengan penambahan *nanofiller* [5, 9].



Gambar 8. (a) Hasil SEM rasio 70+30wt% tanpa pelarut, (b) Hasil SEM rasio 70+30wt% + 5% *thinner* dan (c) Hasil SEM rasio 70+30wt% + 10% *thinner*.

4. Kesimpulan

Penambahan 5% dan 10% pelarut *thinner* masing-masing pada rasio epoksi:hardener 60:40 wt%, 65:35 wt% dan 70:30wt% telah dilakukan. Pengujian tarik dan kekerasan permukaan untuk masing-masing komposisi menurut standar ASTM D9039, ASTM E38 dan ASTM E10 telah dilakukan.

Hasil pengujian menunjukkan campuran epoksi 60:40wt% tanpa pelarut memiliki tegangan tarik 41,823 MPa untuk kekentalan 0,478cp, dengan modulus dari komposit adalah 1,370 GPa, dan regangan mulur adalah rata-rata 0,04% maksimum.

Pada kekerasan permukaan, penambahan zat pengencer (*thinner*) 5% dan 10% tidak memberikan perubahan efektif pada kekerasan permukaan secara umum, walaupun kekerasan tertinggi terjadi pada campuran epoksi dan pengering (65wt%+35wt%+10%) sebesar 477,41.

Penurunan kekentalan berpengaruh efektif pada daya ikatan (*interfaces*) antar serat dan matriks yang terbukti cacat *pull-out* dan *delaminasi tidak ada*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada tim peneliti bahan maju dan Laboratorium Metalurgi atas bantuan dan kerjasamanya, sehingga karya tulis ini dapat terwujud.

Daftar Pustaka

- [1] Sri Rahayu and M. Siahaan. 2017, "Karakteristik raw material epoxy resin tipe bqtn-ex 157 yang digunakan sebagai matrik pada komposit (the characteristics of raw material bqtn-ex 157 epoxy resin used as composites matrix)." *Jurnal Teknologi Dirgantara*, Vol. 15, 151 -160.
- [2] A. Szweczek and M. Szelag. 2019, "Modifications of Epoxy Resins and their Influence on their Viscosity." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 471, 022038.
- [3] A. Bekhta, R. Hsissou, M. Berradi, M. El Bouchti, and A. Elharfi. 2019, "Viscosimetric and rheological properties of epoxy resin TGEUBA and their composite (TGEUBA/MDA/TGEMDA+TSP)." *Results in Engineering*, Vol. 4, 100058.
- [4] Z. Su, Z. Wang, D. Zhang, and T. Wei. 2019, "Study on Rheological Behavior and Surface Properties of Epoxy Resin Chemical Grouting Material Considering Time Variation." *Materials (Basel)*, Vol. 12.
- [5] S. Shibasaki, T. Takamizawa, K. Nojiri, A. Imai, A. Tsujimoto, H. Endo, *et al.* 2017, "Polymerization Behavior and Mechanical Properties of High-Viscosity Bulk Fill and Low Shrinkage Resin Composites." *Oper Dent*, Vol. 42, E177-E187.
- [6] Zulkifli Djafar, Jamasri, Heru S.B. Rochardjo, and J. P. G. Sutapa. 2014, Pengaruh Campuran Epoksi Resin (Er) terhadap Hardener Resin (Hr) Pada Sifat Mekanis Matriks Komposit, presented at the, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII) Depok*, .
- [7] Zhongwei ZHANG, Xiaolong WANG, Xiaoguang HU, Ting XU, Yanyan LIN, and a. Y. TAN. 2015, Mechanical properties and fracture toughness of epoxy resin improved by low-viscosity hyperbranched epoxy, presented at the, *5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering* 1662-1666.
- [8] M. M. Adnan, I.-E. Nylund, A. Jaworski, S. Hvidsten, M.-H. G. Ese, J. Glaum, *et al.* 2021, "The Structure, Morphology, and Complex Permittivity of Epoxy Nanodielectrics with In Situ Synthesized Surface-Functionalized SiO₂." *Polymers*, Vol. 13, 1469.
- [9] V. G. Gilev, A. V. Kondyurin, and S. V. Rusakov. 2017, "Investigation of epoxy matrix viscosity in the initial stage of its formation." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 208, 012014.
- [10] A.-B. Al-Odayni, W. S. Saeed, R. Khan, A. Al-Kahtani, T. Aouak, K. Almutairi, *et al.* 2021, "Viscosity, Degree of Polymerization, Water Uptake, and Water Solubility Studies on Experimental Dichloro-BisGMA-Based Dental Composites." *Applied Sciences*, Vol. 11, 3577.
- [11] A. Alrahlah, A. B. Al-Odayni, H. F. Al-Mutairi, B. M. Almousa, F. S. Alsubaie, R. Khan, *et al.* 2021, "A Low-Viscosity BisGMA Derivative for Resin Composites: Synthesis, Characterization, and Evaluation of Its Rheological Properties." *Materials (Basel)*, Vol. 14.
- [12] S. Vahid, V. Burattini, S. Afshinjavid, and A. Dashtkar. 2021, "Comparison of Rheological Behaviour of Bio-Based and Synthetic Epoxy Resins for Making Ecomposites." *Fluids*, Vol. 6, 38.
- [13] M. P. Falaschetti, F. Rondina, N. Zavatta, L. Gragnani, M. Gironi, E. Troiani, *et al.* 2020, "Material Characterization for Reliable Resin Transfer Molding Process Simulation." *Applied Sciences*, Vol. 10, 1814.
- [14] S. Caba and M. Koch. 2015, "Analysis of the resin transfer molding (RTM) process for FRP and its process simulation fundamentals." Vol. 1664, 060010.
- [15] J. Stabik, A. Dybowska, M. Szczepanik, and Suchoñ. 2009, "Viscosity measurements of epoxy resin filled with ferrite powders." *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol. 38, 34-40.
- [16] K. Abdurrohman, T. Satrio, N. L. Muzayadah, and Teten. 2018, "A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites." *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1130, 012018.
- [17] Kusai Baroudi and R. S. Mahmoud. 2015, "Improving Composite Resin Performance Through Decreasing its Viscosity by Different Methods " *The Open Dentistry Journal*, Vol. 9, 235-242
- [18] Marcio R. Loos, Luiz Antonio F. Coelho, and S. H. Pezzin. 2008, "The effect of acetone addition on the properties of epoxy." *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 18, 76-80.