

Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Tarik dan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami dengan Matriks Polyester

I Wayan Surata¹, Ni Made Dwidiani², Putu Oka Alfano³

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali – 80361

E-mail: waysurat@yahoo.com

Abstrak

Tanaman rami merupakan salah satu jenis tanaman serat alam yang tumbuh subur di Indonesia yang biasanya digunakan sebagai bahan baku tekstil, dan saat ini banyak diteliti dan dikembangkan sebagai salah satu serat alam untuk membuat bahan komposit menggantikan serat sintetis. Komposit serat rami dapat dibudidayakan dengan mudah dan murah sehingga ketersediaannya bisa berkelanjutan, serta ramah terhadap lingkungan. Kekuatan mekanis komposit yang diperkuat dengan serat alam dapat ditingkatkan dengan mengatur perbandingan fraksi volume serat di dalam komposit tersebut. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat tarik dan lentur komposit berpenguat serat rami dengan matriks *unsaturated polyester*. Serat rami berdiameter 0,04 – 1 mm dipotong dengan ukuran panjang 3 cm, kemudian direndam dalam larutan alkali 5% NaOH selama 2 jam. Matriks yang digunakan adalah *unsaturated polyester* jenis Yukalac 157 BQTN-EX, dengan *hardener* MEKPO 1% (v/v). Komposit dibuat dengan teknik *press hand lay-up*, dengan variasi fraksi volume serat rami 5%, 7,5%, dan 10% yang disusun secara acak. Komposit hasil cetakan mengalami *post curing* pada suhu 65 °C selama 2 jam. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASTM D3039, dan uji lentur mengacu pada standar ASTM D790M. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik, dan pengujian lentur dengan metode tiga titik pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan modulus elastisitas tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dan nilai optimum terjadi pada fraksi volume serat 10%, yaitu 59,20 MPa untuk kekuatan tarik, dan 5,33 GPa untuk modulus elastisitas, sementara regangan tarik optimum terjadi pada fraksi volume serat 5%, yaitu sebesar 1,32%. Kekuatan lentur dan modulus lentur juga meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dan nilai optimum dicapai pada komposit dengan fraksi volume serat 10%, yaitu 124,72 MPa, untuk kekuatan lentur, dan 12,97 GPa untuk modulus elastisitas lentur, sementara regangan lentur optimum terjadi pada fraksi volume serat 5%, yaitu sebesar 1,34%.

Keywords: serat rami, *unsaturated polyester*, fraksi volume, kekuatan tarik, kekuatan lentur.

Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang terdiri atas dua atau lebih bahan yang sifatnya sangat berbeda, dimana satu material berfungsi sebagai pengikat dan yang lainnya sebagai penguat. Dengan penggabungan tersebut didapat material yang sifatnya lebih baik dari bahan tunggal penyusunnya. Sifat-sifat yang dimiliki komposit adalah kuat, ringan, tahan korosi, tahan keausan dan penampilan yang indah. Bahan komposit ideal digunakan dalam struktur dimana ratio kekuatan terhadap berat dan ratio kekakuan terhadap berat menjadi pertimbangan (Gibson, 1994; Phillips, 1989). Penggunaan komposit kini terus meningkat dan mencakup bidang yang sangat luas mulai dari perabot rumah tangga, alat olahraga, *packaging*, panel otomotif, badan kapal laut, pesawat terbang, dan lain sebagainya.

Penggunaan komposit saat ini cenderung bergeser dari komposit berpenguat serat sintetis menjadi komposit berpenguat serat alam. Hal ini karena komposit dengan serat sintetis seperti serat gelas tidak ramah lingkungan, menyebabkan munculnya masalah limbah serat gelas, yang tidak dapat diurai secara alami (Jamasri et al., 2005).

Komposit dengan serat alam memiliki keuntungan yaitu ramah terhadap lingkungan dan harganya murah karena tersedia baik berupa tanaman maupun berupa limbah. Serat alam dapat dibudidayakan sehingga ketersediaannya dapat berkelanjutan. Keuntungan lainnya dibandingkan dengan serat sintetis adalah beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami, dan tidak menyebabkan iritasi kulit (Oksman et al., 2003). Kelemahan serat alam antara lain: dimensinya tidak teratur, kaku, rentan terhadap panas, mudah menyerap air dan cepat lapuk (Jamasri et al., 2005).

Wambua et al. (2003) membandingkan keunggulan dan kekurangan antara serat alam dan serat gelas seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan serat alam dan serat gelas

Sifat	Serat alam	Serat gelas
Densitas	Rendah	Dua kali
Harga	Rendah	Lebih tinggi
Terbarukan	Ya	Tidak
Dapat diolah	Ya	Tidak
Konsumsi energi	Rendah	Tinggi
Distribusi	Luas	Luas
Kenetralan CO ₂	Ya	Tidak
Abrasi pada mesin	Tidak	Ya
Risiko kesehatan	Tidak	Ya
Limbah	Terurai	Tidak terurai

Pemanfaatan serat alam sebagai pengganti serat gelas kebanyakan untuk penggunaan non-struktur, misalnya untuk interior dan eksterior otomotif, karena kekuatannya masih sangat rendah dibandingkan serat gelas. Penggunaan serat alam pada otomotif memiliki dua keuntungan yaitu kendaraan menjadi lebih ringan, yang berarti meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, dan meningkatkan keberlanjutan produksi (Westman et al., 2010; Holbery and Houston, 2006).

Pembuatan komposit dengan serat alam sangat dipengaruhi oleh kualitas ikatan yang terjadi antara matriks dan serat. Peran matriks dalam komposit adalah meneruskan beban ke serat melalui tegangan geser pada *interface*. Proses penyatuhan memerlukan pengikat yang baik antara matriks dan serat. Pengikatan yang buruk pada *interface*, menghasilkan sifat mekanis yang buruk pula. Sifat pengikatan ini dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia pada serat alam antara lain menggunakan NaOH, silane, permanganat, dan peroksida (Wambua et al., 2003).

Serat alam sangat bervariasi tergantung dari kondisi pertumbuhan dan kondisi panen, sehingga sangat sulit mendapatkan sifat mekanis yang sama (Westman et al., 2010). Beberapa serat alam seperti sisal, jute, hemp, flax, coir, daun nanas, pisang, rami, goni, bambu, dan sawit telah dikembangkan sebagai penguat untuk membuat komposit (Bachtiar et al., 2010; Mohan Rao and Mohana Rao, 2005; Wambua et al., 2003).

Jamasri et al. (2005) meningkatkan sifat tarik komposit serat limbah buah kelapa sawit dengan perlakuan alkali NaOH. Hasil penelitian ini sejalan dengan persyaratan bahwa komposit disusun oleh dua unsur yaitu serat dan matriks, dimana serat harus memiliki kekuatan lebih tinggi daripada matriks (Phillips, 1989). Diharjo et al. (2005) meneliti

kekuatan lentur dan impak pada komposit poliester serat goni, dengan mengkombinasikan susunan serat acak dan woven berslang-seling. Irawan et al. (2011) memanfaatkan komposit serat rami sebagai bahan alternatif untuk pembuatan *socket prosthesis* menggantikan komposit serat gelas, karena serat gelas tidak baik untuk kesehatan. Aziz and Ansell (2004) menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat mekanis dan termal serat kenaf dan hemp dengan matriks polyester. Bachtiar et al. (2010) melaporkan hasil penelitian terhadap sifat-sifat mekanis dari beberapa serat alam seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Sifat mekanis beberapa serat alam

Name of the fiber	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Strain (%)	Den sity (g/cm ³)
Sugar palm	190	3.69	19.6	1.29
Caraura	665	20-30	2-3	1.33
Nettle	1594	87	2.11	1.53
Hemp	270	19	0.8	1.48
Jute	393	26.5	1.8	1.18
Coir	138	6	10.5	1.25
Kenaf	215	13-17	1.18	1.40
Bamboo	200	-	10.2	0.80
E-glass	1800	72-83	3	2.55

Sifat mekanis serat dapat diperbaiki dengan perlakuan alkali seperti dengan larutan NaOH, KMnO₄, silane dan sebagainya. Mwaikambo and Ansell (2003) melaporkan perlakuan alkali NaOH dengan konsentrasi antara 4-6% menghasilkan kekakuan dan tegangan maksimum pada serat hemp. Waktu perendaman selama 2 jam pada perlakuan serat kelapa sawit dengan NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (Jamasri et al., 2005). Panjang dan diameter serat juga mempengaruhi kekuatan mekanis komposit. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat pisang/phenol diperoleh pada panjang serat pisang 30 mm (Joseph et al., 2002). Pada serat hemp, ditemukan hubungan semakin kecil diameter serat semakin kuat serat tersebut (Mwaikambo and Ansell, 2003).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat tarik dan lentur komposit berpenguat serat rami dengan matriks polyester yang dicetak secara *hand lay-up*.

Metode Penelitian

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah *unsaturated polyester* jenis Yukalac 157 BQTN, dengan sifat seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Hardener yang digunakan adalah jenis *metil etil keton peroxide* (MEKPO) 1% (v/v). Serat rami dalam

penelitian ini mempunyai densitas $1,35 \text{ gr/cm}^3$, diameter serat $0,04 - 1 \text{ mm}$, dipotong dengan ukuran panjang 3 cm (Gambar 1), direndam dalam larutan alkali 5% NaOH selama 2 jam. Serat dicuci dengan air bersih dan dikeringkan tanpa sinar matahari.

Tabel 3 Data teknis resin polyester

Sifat Mekanis	Nilai
Densitas, ρ (g/cm^3)	1,20
Kekuatan tarik, σ (MPa)	12,07
Modulus elastisitas, ϵ (GPa)	1,18
Poisson rasio, ν	0,33



a) Serat panjang

b) Serat dipotong 3 cm

Gambar 1 Serat rami

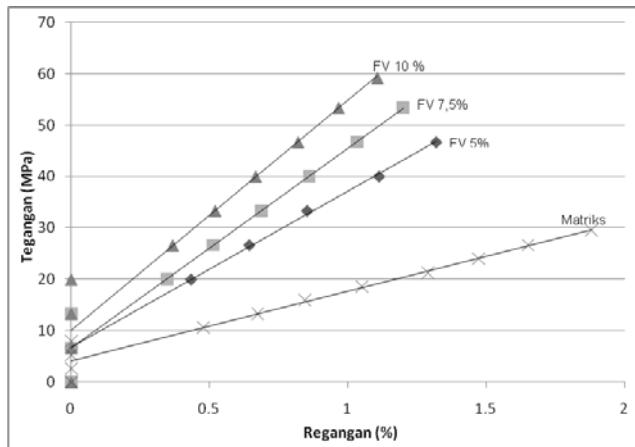
Komposit dibuat dengan teknik *press hand lay-up*, dengan variasi fraksi volume serat 5%, 7,5%, dan 10% yang disusun secara acak. Komposit hasil cetakan mengalami *post curing* pada suhu 65°C selama 2 jam. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASTM D3039, dan uji lentur mengacu pada standar ASTM D790M. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik, dan pengujian lentur dengan metode tiga titik pembebahan.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian kekuatan tarik komposit serat rami dengan variasi fraksi volume. Nilai numeriknya dalam kondisi maksimum disajikan dalam Tabel 4. Kekuatan tarik matriks polyester pada penelitian ini mencapai $29,60 \text{ MPa}$, jauh melampaui data spesifikasi teknisnya yaitu $12,07 \text{ MPa}$. Perbedaan ini disebabkan oleh karena pada penelitian ini matriks telah dicampur dengan *hardener* MEKPO 1% v/v, dan mengalami *post curing* 65°C selama 2 jam. Hasil yang berbeda juga dilaporkan oleh Jamasri et al. (2005) dengan kekuatan tarik $50,70 \text{ MPa}$. Grafik pada Gambar 2 memperlihatkan kecendrungan peningkatan kekuatan tarik dengan bertambahnya volume serat. Pada penelitian ini kekuatan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 10% yaitu $59,20 \text{ MPa}$, sementara kekuatan terendah terjadi pada fraksi volume 5% yaitu $46,67 \text{ MPa}$. Tegangan

maksimum komposit bergantung pada beberapa faktor, salah satu faktor tersebut adalah fraksi volume serat (Wambua et al., 2003). Sifat mekanis serat seperti tegangan tarik maksimum tidak hanya berkaitan dengan komposisi kimia serat tapi juga dengan struktur internal.

Sebaliknya regangan tarik menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat. Regangan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 5% yaitu 1,32%, dan terendah pada fraksi volume serat 10% yaitu 1,11 %. Disini berlaku hubungan semakin meningkat kekuatan bahan maka semakin kaku bahan tersebut. Modulus elastisitas tarik dihitung berdasarkan hubungan $E = \sigma / \epsilon$ di daerah elastis, dan hasil perhitungannya disajikan dalam Tabel 4. Data dalam Tabel 4 menunjukkan modulus elastisitas tarik meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat. Hal ini terjadi karena tegangan tarik meningkat, sementara regangan menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat. Modulus elastisitas tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 10% yaitu $5,33 \text{ GPa}$, dan terendah $3,53 \text{ GPa}$ pada fraksi volume serat 5%.



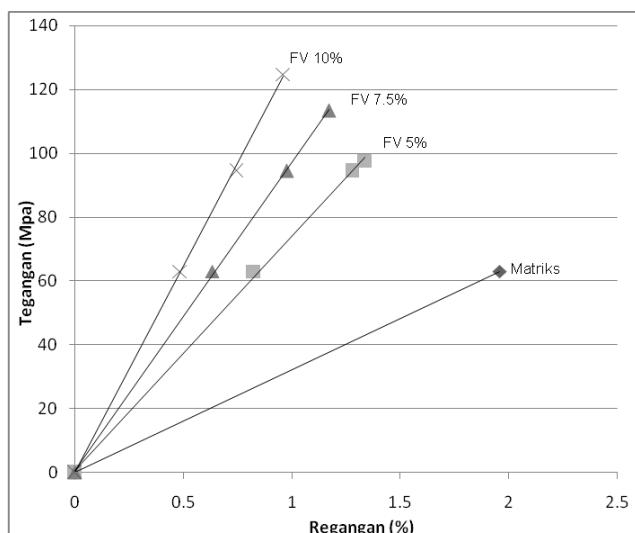
Gambar 2 Tegangan-regangan tarik

Tabel 4 Kekuatan tarik

Fraksi Volume	Tegangan tarik, σ (MPa)	Regangan tarik, ϵ (%)	Modulus Elastisitas, E (GPa)
Matriks	29,60	1,88	1,57
FV 5%	46,67	1,32	3,53
FV 7,5%	53,33	1,20	4,44
FV 10%	59,20	1,11	5,33

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian kekuatan lentur komposit serat rami dengan variasi fraksi volume. Nilai numeriknya dalam kondisi maksimum disajikan dalam Tabel 5. Grafik pada Gambar 3 memperlihatkan kecendrungan peningkatan kekuatan lentur dengan bertambahnya fraksi volume serat. Pada

penelitian ini kekuatan lentur tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 10% yaitu 124,72 MPa, sementara kekuatan terendah terjadi pada fraksi volume 5% yaitu 98,80 MPa. Sebaliknya regangan lentur menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat. Regangan lentur tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 5% yaitu 1,34%, dan terendah pada fraksi volume serat 10% yaitu 0,96 %. Modulus elastisitas lentur cenderung meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat. Modulus elastisitas lentur tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 10% yaitu 12,97 GPa, dan terendah 7,31 GPa pada fraksi volume serat 5%.

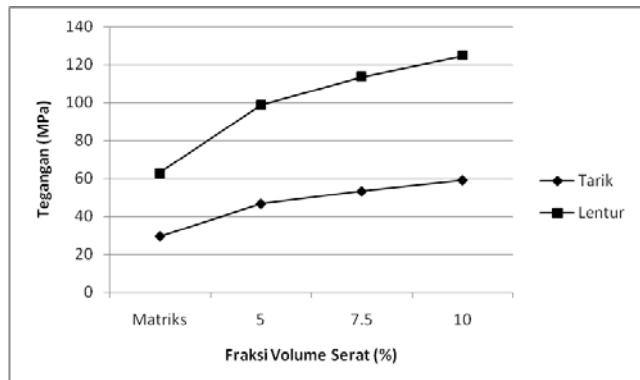


Gambar 3 Tegangan-regangan lentur

Tabel 5 Kekuatan lentur

Fraksi Volume	Tegangan lentur, σ (MPa)	Regangan lentur, ϵ (%)	Modulus Elastisitas, E (GPa)
Matriks	62,99	1,96	3,22
FV 5%	98,80	1,34	7,31
FV 7,5%	113,76	1,17	9,68
FV 10%	124,72	0,96	12,97

Gambar 4 menunjukkan bahwa baik tegangan tarik maupun tegangan lentur meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat rami dalam komposit. Joseph et al. (2002) mengemukakan, tegangan tarik meningkat secara teratur dengan meningkatnya fraksi volume serat pada komposit serat pisang. Jamasri et al. (2005) dan Wijang et al. (2006) melaporkan hasil penelitian dimana peningkatan fraksi volume serat akan diikuti dengan meningkatnya sifat tarik komposit. Peningkatan fraksi berat serat juga menghasilkan peningkatan kekuatan tarik komposit (Wambua et al., 2003). Meningkatnya kekuatan tarik ini terjadi karena semakin banyak serat berfungsi sebagai penguat.



Gambar 4 Efek fraksi volume serat terhadap sifat tarik dan lentur komposit

Kesimpulan

Sifat-sifat tarik dan lentur komposit berpenguat serat rami dengan matriks polyester yang divariasi berdasarkan fraksi volume serat telah dapat diinvestigasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan modulus elastisitas tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dan nilai optimum terjadi pada fraksi volume serat 10%, yaitu 59,20 MPa untuk kekuatan tarik, dan 5,33 GPa untuk modulus elastisitas, sementara regangan tarik optimum terjadi pada fraksi volume serat 5%, yaitu sebesar 1,32%.

Kekuatan lentur dan modulus lentur komposit juga meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat dalam komposit, dan nilai optimum dicapai pada komposit dengan fraksi volume serat 10%, yaitu 124,72 MPa untuk kekuatan lentur, dan 12,97 GPa untuk modulus elastisitas lentur, sementara regangan lentur optimum terjadi pada fraksi volume serat 5%, yaitu sebesar 1,34%.

Ucapan Terimakasih

Pengujian penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Ilmu Bahan JurusanTeknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk itu penulis mengucapkan trimakasih atas segala bantuannya.

Nomenklatur

A	luas penampang (mm ²)
E	modulus elastisitas (GPa)
L	panjang (mm)
P	beban (N)
FV	fraksi volume (%)

Greek letters

σ	tegangan (MPa)
ϵ	regangan (%)
ρ	densitas (g/cm ³)
v	poison ratio

Referensi

Azis, S.H., Ansell, M.P. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 – polyester resin matrix. Composites Science and Technology, Vol. 64, 1219-1230 (2004)

Bachtiar, D., Sapuan, S.M., Zainudin, E.S., Khalina , A., Dahlani K.Z.M. The tensile properties of single sugar palm (*Arenga Pinnata*) fibre. Materials Science and Engineering, Vol. 11, 1-6 (2010)

Diharjo, K., Jamasri, Soekrisno, Rochadjo, H.SB. The flexural and impact properties of random and woven kenaf fiber reinforced polyester composite. Prosiding NTTM-IV, G3,13-16 (2005)

Gibson, R.F. Principles of Composite Materials Mechanics. Mc Graw-Hill Series (1994)

Holbery, J., Houston, D. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. JOM, Vol. 58, No. 11, 80-86 (2006)

Irawan, A.P., Soemardi, T.P., Wijalaksni, K., Reksoprojo, A.H.S. Tensile and flexural strength of ramie fiber reinforced epoxy composites for socket prosthesis application. International Journal of Mechanical and Material Engineering, Vol. 6, No.1, 46-50 (2011)

Jamasri, Diharjo, K., Handiko, G.W. Studi Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit Poliester. Prosiding SNTTM-IV, G3, 23-28 (2005)

Joseph, S., Sreekala, M.S., Oommen, Z., Koshy, P., Thomas, S. A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres. Composites Science and Technology, Vol. 62, 1857-1868 (2002)

Mohan Rao, K.M., and Mohana Rao, K. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo, Elsevier, Composite structures (2005)

Mwaikambo, L.Y., Ansell, M.P. Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites. Composite Science and Technology, Vol. 63, 1297-1305 (2003)

Oksman, K., Skrifvars, M., Selin J.F. Natural fiber as reinforcement in Polylactic Acid (PLA) Composites. Composite Science and Technology, Vol 63, 1317-1324 (2003)

Phillips, L.N. Design with Advanced Composite Materials. Springer-Verlag (1989)

Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Composite Science and Technology. Vol. 63, 1259-1264 (2003)

Westman, M.P., Fifield, L.S., Simmons, K.L., Laddha, S.G., Kafentzis, T.A. Natural Fiber Composites: A Review. U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory (2010)

Wijang, W.R., Ariawan, D. Pengaruh Modifikasi Serat terhadap Karakteristik Komposit UPRs-Cantula. Jurnal Poros Jurusan Teknik Mesin FT-UNTAR, Vol. 9, No. 3, 200-206 (2006)