

Pengaruh Density Serat Acak Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Berpenguat Serat Kenaf (Acak-Anyam-Acak) Dengan Core Kayu Sengon Laut

Santoso¹, Kuncoro Diharjo², Jamasri³

^{1,2}Dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNS

³Dosen Jurusan Teknik Mesin FT UGM

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh density serat acak terhadap kekuatan bending komposit sandwich berpenguat serat kenaf acak-anyam-acak dengan core kayu sengon laut. Bahan utama penelitian adalah serat kenaf (acak dan anyam), kayu sengon laut, unsaturated polyester resin (UPRs) 157 BQTN EX, dan hardener MEKPO. Density serat kenaf acak divariasikan (100, 200, 300, 400, dan 500 gr/m²), sedangkan density serat kenaf anyam adalah konstan 810 gram/m². Core kayu sengon laut dipersiapkan dengan memotong kayu pada arah melintang dengan ketebalan 10 mm. Komposit skin direncanakan dengan susunan serat kenaf acak-anyam-acak pada fraksi volume serat 35%. Pembuatan komposit sandwich dilakukan dengan metoda cetak tekan. Sampel uji didesain dengan mengacu pada standar ASTM C-393. Lebar sampel uji adalah 30 mm dan panjang *span* adalah 120 mm. Pengujiannya dilakukan dengan metoda *three point bending*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji bending TORSEE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat bending (momen, tegangan bending, *facing bending stress* dan *core shear stress*) meningkat seiring dengan peningkatan density kenaf acak. Tegangan bending dan *Facing bending stress* memiliki harga optimum pada density kenaf acak 300 gr/m², yaitu sebesar 54.89 MPa dan 60.55 MPa. Kegagalan komposit sandwich diawali oleh kegagalan komposit *skin* yang menderita tegangan tarik dan diikuti oleh kegagalan core. Penampang patahan menunjukkan adanya *fiber pull out* yang pendek sebagai indikasi kuatnya ikatan *interface* antara serat dengan matrik.

Kata kunci : komposit sandwich, kekuatan bending, penampang patahan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi komposit di dunia telah mulai bergeser dari penggunaan bahan sintetis menuju bahan alam. Pergeseran tersebut sudah dimulai oleh beberapa negara maju. Sebagai contoh, industri mobil merek Mercedes Benz di Jerman dan PT. Toyota Inc. di Jepang masing-masing sudah memanfaatkan serat alam abaca dan kenaf sebagai bahan penguat panel interior mobil. Hal ini sebenarnya sangat menguntungkan bagi negara tropis, seperti Indonesia yang kaya akan berbagai macam bahan serat dan kayu alam. Namun, hal yang terjadi di Indonesia justru sebaliknya. Beberapa industri komposit di yang ada, seperti PT. INKA, PT. Induro International dan PT. new Armada, masih menggunakan bahan serat gelas yang diimpor untuk semua produk yang dibuat. Kondisi seperti ini telah mulai menimbulkan masalah baru, yaitu menumpuknya limbah komposit serat gelas yang tidak dapat terurai secara alami. Oleh karena itu, rekayasa panel komposit sudah saatnya dimulai dengan pemanfaatan bahan-bahan alam yang lebih ramah lingkungan.

Perusahaan komposit dunia DIAB-Group telah mengembangkan rekayasa core kayu balsa sebagai pengganti core sintetis [www.diabgroup.com]. Bahkan, industri komposit di Indonesia sudah mengimpor core tersebut melalui agen DIAB-group di Australia. Padahal, jenis kayu balsa ini banyak tumbuh di Indonesia Timur. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengubah paradigma industri komposit di dalam negeri agar berminat memanfaatkan serat dan kayu alam adalah melakukan kajian riset yang menekankan pemanfaatan serat dan kayu alam.

Beberapa tanaman serat alam tumbuh subur di Indonesia, seperti kenaf (yang sering disebut juga Java Jute), Agave Cantala, Rosella, Ramie, dan sabut kelapa. Tanaman serat kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) merupakan jenis tanaman asli Jawa, yang biasa dipakai sebagai bahan karung goni. Menurut Eichhorn dkk

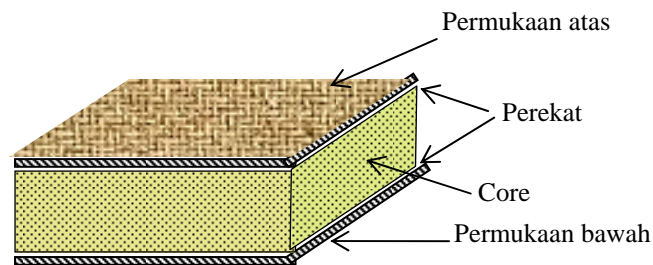
[2001], produksi serat kenaf di dunia mencapai 970.000 ton/tahun, lebih tinggi dari rosella (250.000 ton/tahun), rami (100.000 ton/tahun) dan abaca (70.000 ton/tahun). Hingga saat ini industri goni yang masih beroperasi adalah PT. Rosella Baru di Surabaya Jawa Timur dan satu lagi industri karung goni di Banten. Beberapa industri karung goni lainnya sudah karena kalah bersaing dengan karung plastik. Akibatnya, budidaya tanaman serat alam menjadi tidak diminati petani. Sebaliknya, budidaya tanaman serat alam di luar negeri justru digalakkan dalam rangka menuju pengembangan produk yang lebih ramah lingkungan.

Kayu sengon laut (KSL) terkenal sebagai kayu yang ringan, mudah rapuh (bubukan), mudah melengkung (ngulet) dan kurang kuat. KSL tersebut biasanya hanya dipakai untuk alas cor bangunan, dan bekasnya dapat dianggap sebagai limbah karena kurang bermanfaat. Bahkan, kayu tersebut juga hanya digunakan sebagai kayu bakar. Padahal, stok kayu sengon laut sangat melimpah, sehingga perlu peningkatan kegunaannya.

Paper ini bertujuan untuk memaparkan pengaruh density kenaf acak terhadap sifat bending komposit sandwich serat kenaf (acak-anyam-acak) - poliester dengan core kayu sengon laut.

Pustaka

Komposit *sandwich* merupakan gabungan dua lembar *skin* yang disusun pada dua sisi luar dan material yang ringan yang dikenal *core* di antara kedua *skin*. Faktor utama komposit sandwich adalah *core* yang ringan. Core ini akan memperkecil berat jenis dan meningkatkan kekakuan lapisan *skin* sehingga meningkatkannya (ASTM C 274). Jadi, komponen utama komposit *sandwich* adalah *skin* dan *core*.

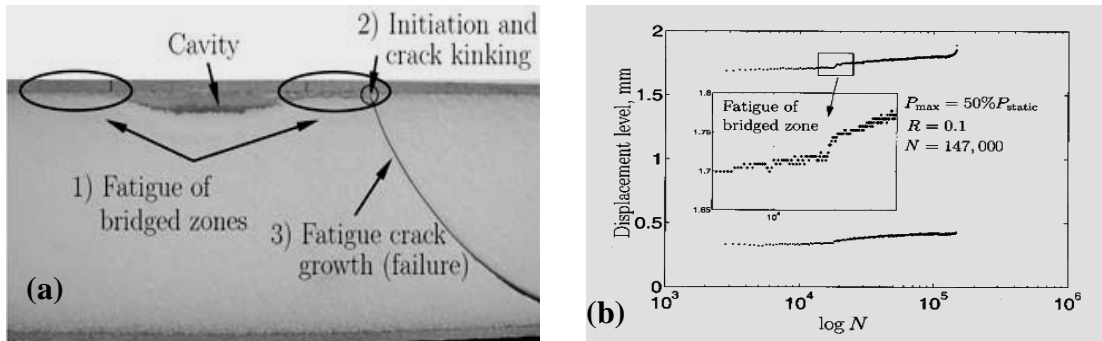


Gambar 1 Struktur komposit *sandwich* (Schwartz, 1984)

Salah satu jenis beban yang sering diterima panel adalah beban bending. Beban ini akan menimbulkan tegangan tarik dan tekan di bagian permukaan panel. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit sandwich adalah kekuatan skin, core, ikatan antara skin dan core, serta kadar air serat dan core. Setelah serat kenaf dikeringkan secara alami, kandungan air bebas di dalam serat kenaf menguap pada pemanasan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 15 menit (Diharjo dkk, 2005)

Komposit sandwich serat kenaf (acak-anyam-acak) – poliester dengan core kayu sengon laut akan memiliki tegangan geser yang paling optimum sebesar 13.06 MPa pada V_f komposit skin 33.43% dengan density serat kenaf acak 200 gr/m². Pada $V_f \approx 35\%$, peningkatan density serat kenaf acak meningkatkan kekuatan geser antara komposit skin dengan core. Penampang patahan komposit sandwich yang memiliki kekuatan geser optimum ($V_f = 33.43\%$) menunjukkan mekanisme kegagalan kombinasi antara kegagalan matrik dan serat (Santoso dkk, 2006).

Kegagalan fatik bending pada batang komposit sandwich serat gelas dengan *core foam Rohacell* WF51 terdiri dari 3 tahap yaitu (1) kegagalan leleh cepat pada daerah sekeliling *bridged zone*, (2) retak fatik awal dan (3) perambatan retak fatik pada core dengan sudut penjalaran retak 70°, seperti pada gambar 3. Kegagalan fatik pada daerah sekitar *bridged zone* terjadi pada siklus awal umur leleh sekitar 3-15% dari total jumlah siklus beban (P_{mak}). Pada 20.000 siklus beban, peningkatan *level displacement* mengindikasikan peningkatan kekakuan batang secara tiba-tiba, yang ada kaitannya dengan kegagalan fatik pada *bridged zone*, seperti ditunjukkan pada gambar 2 [Shipsha dan Zenkert, 2003].

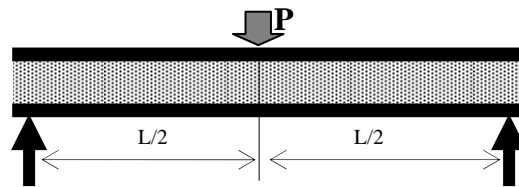


Gambar 2. (a) kegagalan lelah batang komposit sandwich dengan kerusakan awal uji impak, (b) Kurva displacement vs Siklus pada kegagalan fatik daerah sekitar *bridged* [Shipsha dan Zenkert, 2003].

METODE

Material utama penelitian adalah serat kenaf (acak dan anyam, resin *unsaturated polyester* 157 BQTN (UPRs), dan hardener *metil etil keton peroxide* (MEKPO). Serat kenaf diperoleh dari PT. Karung Goni Rosella Baru Surabaya, sedangkan kayu sengon laut diperoleh dari daerah kecamatan Manisrenggo Klaten Jawa Tengah. Bahan kimia poliester dan hardener diperoleh dari PT. Justus Kimia Raya Jakarta. Serat kenaf dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran dan delanutkan pengeringan dengan ditiriskan tanpa sinar matahari.

Komposit sandwich dibuat dengan metode cetak tekan hidrolis dengan variasi density kenaf acak (100, 200, 300, 400 dan 500 gr/m²) pada fraksi volume serat 35% dengan ketebalan core KSL 10 mm. Kandungan hardener MEKPO ditentukan 1% (v/v) dari volume poliester, sesuai acuan PT. Justus. Spesimen uji bending dibuat dengan memotong komposit sandwich yang telah dicetak menggunakan gerinda tangan. Dimensi sampel uji dan metode pengujiannya dirancang sesuai dengan standar ASTM C-393. Panjang *span* pengujian bending ditentukan 100 mm. Pengujian dilakukan dengan metode *three point bending*, menggunakan *TORSEE-universal testing machine*. Penampang patahan dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi mekanisme patahannya.



Gambar 3. Pengujian three point bending struktur sandwich [Popov, 1996]

Perhitungan tegangan bending dilakukan dengan 2 cara, yaitu perhitungan tegangan konvensional dengan mengasumsikan komposit sandwich sebagai satu jenis bahan dan perhitungan *facing bending stress* berdasarkan standar ASTM C-393 (persamaan 3 dan 4). Perhitungan tegangan konvensional dilakukan dengan persamaan 1 (Popov, 1996).

$$\sigma_b = \frac{\frac{PL}{4} \times \frac{h}{2}}{bh^3} \Rightarrow \sigma_b = \frac{12 PLh}{8bh^3} \Rightarrow \sigma_b = \frac{3 PL}{2bh^2} \dots \dots \dots (1)$$

Jika defleksi maksimum di atas 10 % dari jarak tumpuan (L), kekuatan bendingnya dapat dihitung dengan persamaan [ASTM D-790]:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \left[1 + 6 \left(\frac{\delta}{L} \right)^2 - 4 \frac{d}{L} \frac{\delta}{L} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Menurut standar ASTM C-393, jika panel sandwich dikenai uji *three point bending* seperti pada gambar 3, besarnya *facing bending stress* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{PL}{2t(d+c)b} \dots\dots\dots(3)$$

Besarnya tegangan geser core (*core shear stress*) juga dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots\dots\dots(4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Bending

Data perhitungan kekuatan bending komposit sandwich hasil penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1. Secara umum, kekuatan bending (tegangan, modulus, facing bending stress dan core shear stress) meningkat seiring dengan peningkatan density kenaf acak.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Sifat Bending Komposit sandwich

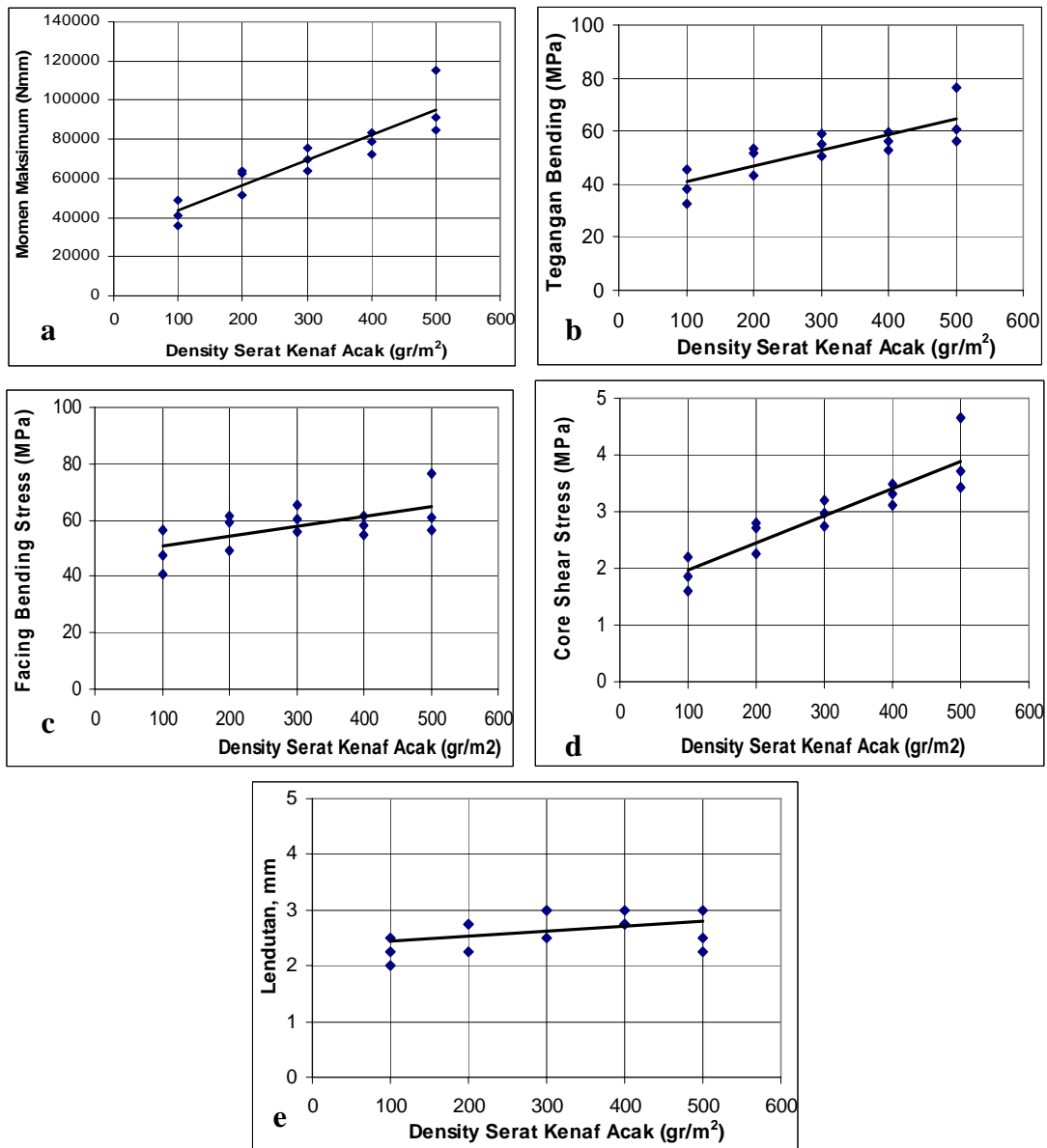
Density Kenaf Acak (gr/m ²)	Momen Maksimum (N.mm)	Tegangan Bending (MPa)	Facing bending Stress (MPa)	Core Shear Stress, MPa)	Defleksi (mm)
100	41920	38.80	48.15	1.89	2.25
200	59290	49.53	56.57	2.59	2.58
300	69680	54.89	60.55	2.98	2.83
400	78300	56.32	58.15	3.30	2.83
500	97230	64.59	64.67	3.93	2.58

Momen yang mampu ditahan oleh panel sandwich meningkat seiring dengan peningkatan density serat kenaf acak (4a). Berhubung besarnya V_f komposit skin konstan 35%, maka peningkatan density kenaf acak menyebabkan peningkatan ketebalan komposit skin sebesar sekitar 0.41 mm per penambahan density kenaf acak 100 gr/m². Hal ini menyebabkan peningkatan momen inersia (I) juga memberikan kontribusi peningkatan kemampuan menahan momen.

Efek ketebalan dapat dieliminasi dengan melakukan analisis tegangan bending. Tegangan bending konvensional, yang dihitung dengan mengasumsikan bahwa komposit sandwich sebagai satu material homogen, menunjukkan bahwa efek peningkatan density kenaf acak juga secara signifikan meningkatkan kekuatan bending komposit sandwich (gambar 4b). Peningkatan tegangan bending yang signifikan terjadi hingga density kenaf acak 300 gr/m². Pada density kenaf acak 300 gr/m² dan 400 gr/m², besarnya tegangan bending rata-rata adalah 56.32 MPa dan 64.59 MPa, sedangkan tegangan bending pada density kenaf acak 300 gr/m² adalah 54.89 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa jumlah serat acak yang semakin banyak secara nyata mampu mentransfer beban yang lebih besar.

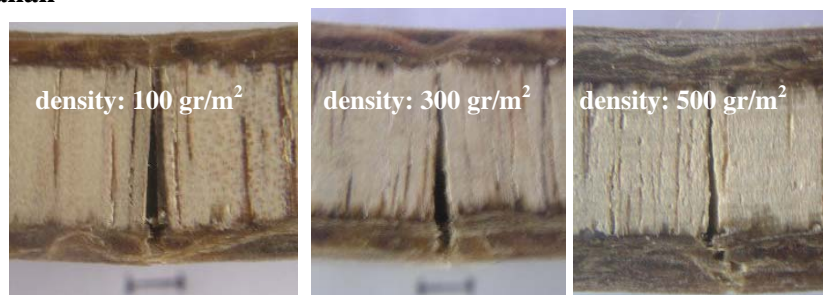
Berdasarkan analisis *facing bending stress* sesuai standar ASTM C 393, besarnya *facing bending stress* juga meningkat seiring dengan peningkatan density kenaf acak (gambar 4c). Hal yang sama, besarnya *facing bending stress* meningkat signifikan hingga density 300 gr/m². Density kenaf acak 300 gr/m² dapat dikatakan sebagai density yang paling optimum untuk menghasilkan *facing bending stress* tertinggi.

Besarnya *core shear stress* juga meningkat seiring dengan peningkatan density kenaf acak (gambar 4d). Trend kurva core shear stress ini memiliki kemiripan yang hampir sama dengan kurva momen (gambar 4a). Hingga density kenaf acak 400 gr/m², defleksi spesimen uji juga mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan density kenaf acak. Namun pada density kenaf acak 500 gr/m², besarnya defleksi mengalami penurunan. Dengan demikian, komposit yang memiliki sifat elastis paling tinggi adalah komposit sandwich dengan densitas kenaf acak sekitar 300 – 400 gr/m².



Gambar 4. Hubungan (a) momen, (b) kekuatan bending, (c) *facing bending stress*, (d) *core shear stress* dan (e) lendutan komposit sandwich terhadap density serat kenaf acak.

Penampang Patahan



Gambar 5. Penampang patahan samping kegagalan panel komposit sandwich

Kegagalan bending komposit sandwich diawali oleh kegagalan komposit skin yang menderita tegangan tarik, yang selanjutnya diikuti oleh kegagalan core (gambar 5). Komposit *skin* dapat dikatakan memiliki kekuatan yang masih rendah. Peningkatan kekuatan bending komposit sandwich ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kekuatan komposit skin. Pengamatan penampang patahan muka menunjukkan bahwa komposit sandwich mengalami kegagalan dengan disertai adanya *fiber pull out* (gambar 6).



Gambar 6. Penampang patahan muka komposit sandwich.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sifat bending (momen, tegangan bending, *facing bending stress* dan *core shear stress*) meningkat seiring dengan peningkatan density kenaf acak. Tegangan bending dan *Facing bending stress* memiliki harga optimum pada density kenaf acak 300 gr/m² yaitu sebesar 54.89 MPa dan 60.55 MPa
2. Kegagalan komposit sandwich diawali oleh kegagalan komposit *skin* yang menderita tegangan tarik dan diikuti oleh kegagalan core. Penampang patahan menunjukkan adanya *fiber pull out* yang pendek sebagai indikasi kuatnya ikatan *interface* antara serat dengan matrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada **DP2M Ditjen Dikti** Jakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui **Program Penelitian Fundamental**. Ucapan terima kasih yang tulus juga kami sampaikan kepada Sdr. Arif Ismaryanto yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

δ	: defleksi	(mm).
P	: beban	(N)
L	: panjang span	(mm)
b	: lebar	(mm)
h:	: tebal	(mm).
d	: tebal sandwich	(mm)
c	: tebal core	(mm)

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2003. "Annual Book of ASTM Standard", West Conshohocken
- Diharjo, Jamasri, Soekrisno dan Rochardjo H.S.B., 2005. "Tensile Properties of Random Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite", Proseding Seminar Nasional, PAU UGM, 19 Juli 2005
- Eichhorn S.J., Zafeiropoulos C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F.G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., 2001, Review *Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*, Journal of materials Science, pp. 2107-2131.
- Santoso, Diharjo K., dan Jamasri, 2006. "Optimasi Kekuatan Geser lamina Komposit Sandwich Serat Kenaf-UPRs Dengan Core Kayu Sengon Laut", Proseding Seminar Nasional TEKNOIN, FTI-UII, Yogyakarta
- Schwartz, 1984. "Composite Materials Handbook", McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Shipsha A. dan Zenkert D., 2003. "Fatigue Behavior of Foam Core sandwich beam with Sub-interface Impact Damage", Journal of Sandwich Structure Materials, Vol. 5, pp. 147-160.
- www.diabgroup.com.