

PENINGKATAN KETAHANAN BENDING KOMPOSIT HIBRID SANDWICH SERAT KENAF DAN SERAT GELAS BERMATRIK POLYESTER DENGAN CORE KAYU SENGON LAUT

Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura

email : agus_haryanto@ums.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh ketebalan core dan perlakuan alkali serat kenaf terhadap peningkatan kekuatan bending komposit hibrid sandwich kombinasi serat kenaf dan serat gelas bermatrix Polyester dengan core kayu sengon laut. Mekanisme perpatahan diamati dengan photo makro. Bahan yang digunakan adalah serat kenaf (acak, anyam), serat E-Glass (anyam), resin unsaturated polyester 157 BQTN (UPRs), kayu sengon laut, dan NaOH teknis. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Komposit hibrid sandwich tersusun terdiri dari dua lamina komposit hibrid dengan core ditengahnya. Lamina komposit hibrid sebagai skin terdiri dari satu lamina serat gelas anyam dan 3 lamina serat kenaf (acak - anyam – acak). Fraksi volume serat komposit hibrid adalah 30%. Core yang digunakan adalah kayu sengon laut yang dipotong pada arah melintang. Variabel utama penelitian yaitu perlakuan alkali serat kenaf (0 & 2 jam) dan tebal core (5,10,15,20 mm). Spesimen dan prosedur pengujian bending mengacu pada standard ASTM C 393. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketebalan core mampu meningkatkan kekuatan bending dan momen bending komposit hibrid sandwich. Perlakuan alkali pada serat kenaf menurunkan kekuatan bending pada komposit hybrid sandwich. Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.

Kata Kunci : komposit hibrid sandwich, kekuatan bending, perlakuan alkali, mekanisme patahan.

PENDAHULUAN

Munculnya *issue* permasalahan limbah *non-organik* serat sintetis yang semakin bertambah mampu mendorong perubahan *trend* teknologi komposit menuju *natural composite* yang ramah lingkungan. Serat alam mencoba menggeser serat sintetis, seperti *E-Glass*, *Kevlar-49*, *Carbon/ Graphite*, *Silicone carbide*, *Aluminium Oxide*, dan *Boron*. Salah

satu jenis serat alam yang tersedia secara melimpah adalah serat kenaf. Keuntungan penggunaan komposit antara lain ringan, tahan korosi, tahan air, *performance*-nya menarik, dan tanpa proses pemesian. Beban konstruksi juga menjadi lebih ringan. Harga produk komponen yang dibuat dari komposit *glass fibre reinforced polyester (GFRP)* dapat turun hingga 60%, dibanding produk logam (Abdullah dan Handiko,

2000). Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit ini terdiri dari *flat* komposit dan *core*. *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvinyl Chlorida (PVC)*, dan *honeycomb*.

Ketersediaan kayu sengon laut (*albizzia falcata*) yang berlimpah, merupakan SDA yang dapat direkayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* komposit *sandwich*. Rekayasa *core* dapat dilakukan dari kayu utuh ataupun limbah potongan kayu. Konsep rekayasa *core* ini merupakan tahapan alih teknologi yang diilhami oleh masuknya *core* impor kayu balsa dari Australia. Sifat fisik kayu sengon laut hampir sama dengan kayu balsa.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penelitian tentang rekayasa komposit hibrid *sandwich* dengan *core* limbah kayu sengon laut merupakan kajian yang sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Berhubung mayoritas beban yang diterima berbagai panel komposit *sandwich* adalah bending, maka kajian mekanis yang dipandang sangat penting dilakukan adalah kajian kekuatan bending.

TINJAUAN PUSTAKA

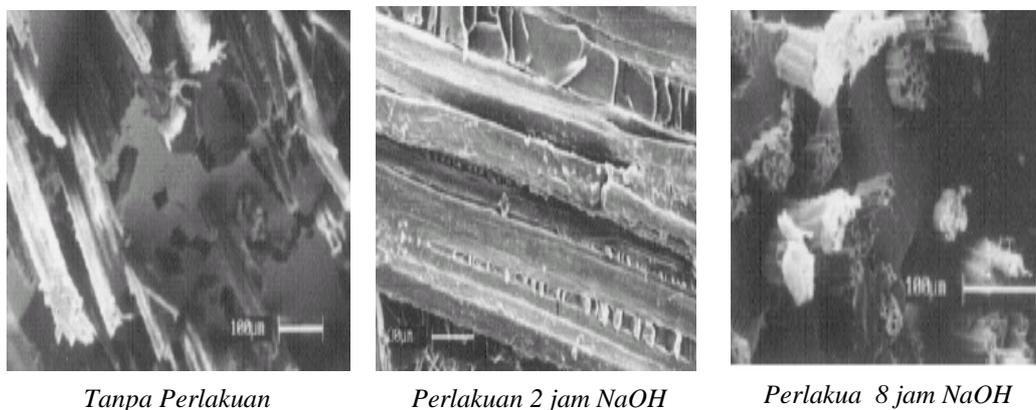
Perlakuan alkali (5% NaOH) serat kenaf dapat membersihkan lapisan lilin (*lignin* dan kotoran) pada permukaan serat sehingga menghasilkan *mechanical interlocking* antara serat dengan matrik poliester. Pada perlakuan serat

selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam, kekuatan tarik bahan komposit kenaf acak - *unsaturated poliester* memiliki kekuatan tertinggi pada perlakuan serat 2 jam. Perlakuan ini dapat mengubah trend pola kegagalan komposit dari jenis kegagalan *fiber pull out* menjadi pola kegagalan *matrix cracking*. Perlakuan serat 2 jam disimpulkan sebagai perlakuan yang paling optimum (Diharjo dkk, 2005).

Perlakuan 5% NaOH selama 4, 6, dan 8 jam, meningkatkan modulus elastisitas serat jute sebesar 12%, 68%, dan 79%. Namun, % regangan patah serat menurun 23% setelah perlakuan 8 jam (Ray dkk, 2001). Perlakuan 5% NaOH serat jute selama 0, 2, 4, 6 dan 8 jam, mempengaruhi *flexural strength* komposit jute-*vinylester* pada $V_f = 30\%$, yaitu 180.60, 189.40, 218.50, 195.90 dan 197.50 MPa. Harga modulusnya pun mengalami perubahan yang identik yaitu 10.030, 10.990, 12.850, 12.490 dan 11?170 MPa. Perlakuan serat selama 4 jam menghasilkan komposit yang memiliki modulus dan *flexural strength* tertinggi. Kondisi penampang patahan komposit dengan perlakuan serat 0, 2 dan 8 jam menunjukkan adanya *fiber pull out*, *matric cracking* dan *transfer fracture*, seperti pada gambar 1.

Sifat Mekanis Komposit *Sandwich*

Wahyanto dan Diharjo (2004), menyimpulkan bahwa komposit *sandwich* serat gelas acak 300 gr/m² pada $V_f = 30\%$ bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10



Gambar 1. Penampang Patahan Komposit *Jute-vinylester* (Ray, 2001)

mm memiliki kekuatan bending dan impak adalah 125,44 MPa dan 0,045 MPa.

Menurut Febrianto dan Diharjo (2004), pada komposit hibrid *sandwich* serat *E-glass* acak 300 gr/m² dan kenaf anyam 810 gr/m² pada $V_f = 30\%$ bermatrik *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm, kekuatan bending dengan *core* arah serat kayu horisontal adalah 263,28 MPa, lebih besar 81 % di atas komposit *sandwich* hibrid dengan *core* kayu vertikal 97,5 MPa. Kekuatan impak komposit *sandwich* dengan *core* vertikal 0,0604 J/mm², lebih besar 4,4 % di atas kekuatan impak dengan *core* arah serat kayu horisontal 0,0578 J/mm²

Aspek Geometri

Menurut Gibson (1994), penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume, agar dihasilkan komposit berkekuatan tinggi. Untuk suatu lamina *unidirectional*, dengan serat kontinyu dengan jarak antar serat yang sama, dan direkatkan secara baik oleh matrik, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Fraksi volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Shackelford, 1992):

dengan catatan :

V_1, V_2, \dots = fraksi volume,

W_1, W_2, \dots = fraksi berat

ρ_1, ρ_2, \dots = densitas bahan pembentuk

Kekuatan komposit dapat ditentukan dengan persamaan (Shackelford, 1992):

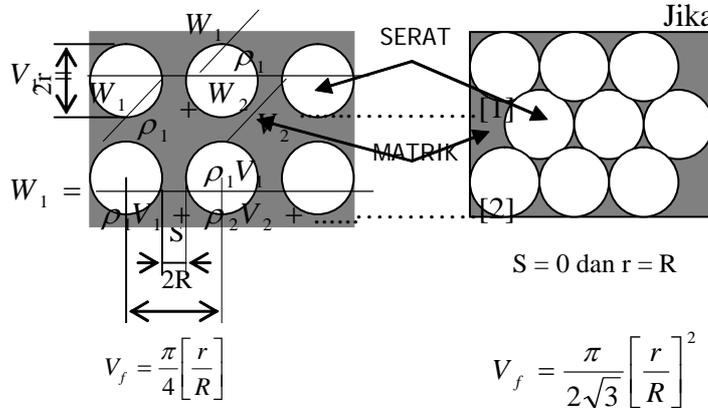
$$s_c = s_f V_f + s_m V_m \dots\dots\dots[3]$$

Kekuatan Bending Komposit Skin

Pada umumnya, material komposit mempunyai nilai modulus elastisitas bending yang berbeda dengan nilai modulus elastisitas tariknya. Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen mengalami tekanan, dan bagian bawah mengalami tarikan. Kegagalan yang terjadi akibat uji bending komposit yaitu mengalami patah pada bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Kekuatan bending komposit dapat ditentukan dengan persamaan 4 (ASTM D 790):

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots[4]$$

Jika defleksi maksimum lebih dari 10 % antar penumpu (L), kekuatan bending dihitung dengan persamaan 5 yang berbeda dari persamaan 4.



Gambar 2. Struktur mikro komposit dengan peletakan serat teratur (Gibson, 1994).

Modulus elastisitas bendungnya dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bh^3} \dots\dots\dots [6]$$

dengan catatan $m = slope\ tangent$ garis lurus kurva beban vs defleksi, N/mm.

Kekuatan Bending Komposit Sandwich

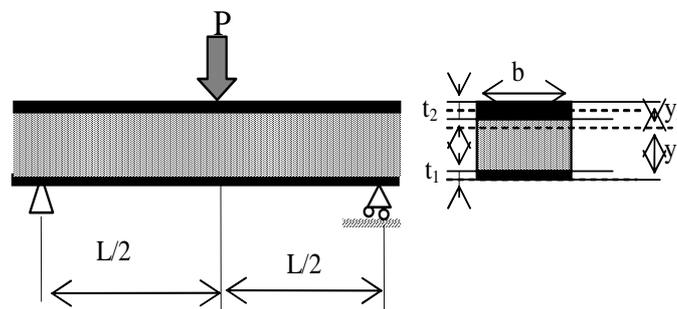
Pada panel komposit *sandwich* yang dikenai uji *three point bending* seperti pada Gambar 3, besarnya tegangan geser pada *core* dapat dihitung dengan persamaan (ASTM C 393):

$$\tau = \frac{P}{(d + c)b} \dots\dots\dots [7]$$

Besarnya tegangan bending maksimum pada bagian permukaan (*facing bending stress*) dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma_b = \frac{PL}{2t(d + c)b} \dots\dots\dots [8]$$

dengan catatan; L = panjang bentangan (mm) dan t = tebal *facing* (mm).



Gambar 3. Penampang balok sandwich

Jika pengujian bending dilakukan dengan *four point bending method*, maka besarnya tegangan bending maksimum dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma_b = \frac{PL}{4t(d + c)b} \dots\dots\dots [9]$$

Mode Kegagalan Komposit Sandwich

Mode kegagalan komposit *sandwich* ada 4 macam yaitu (1) kegagalan di bagian *skin* akibat beban tarik, (2) kegagalan bagian *skin* akibat beban *buckling*, (3) kegagalan geser pada bagian *core*, dan (4) kegagalan delaminasi antara komposit *skin* dan *core*. Mode kegagalan tersebut ditunjukkan seperti pada gambar 4.

METODE PENELITIAN

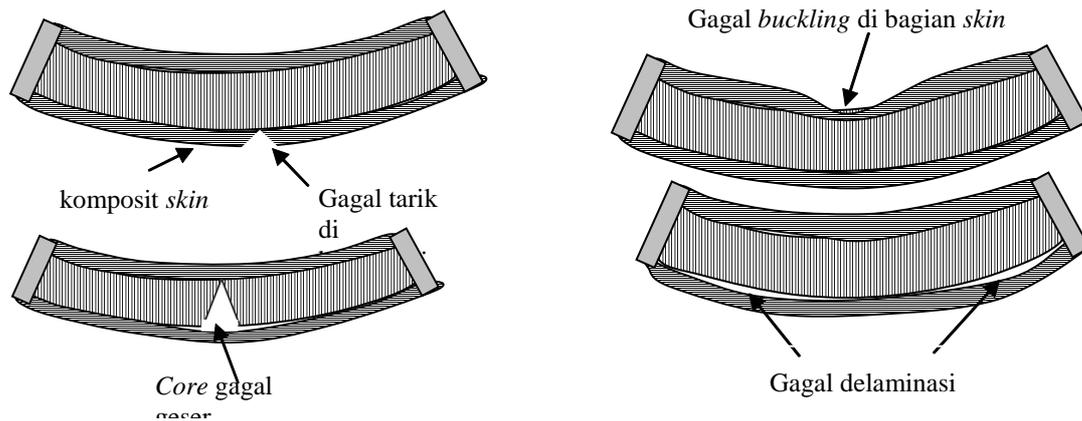
Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama penelitian adalah serat gelas anyam dengan *density* 450 gr/m², serat kenaf

acak dengan *density* 300 gr/m² (dibuat sendiri), serat kenaf anyam dengan *density* 810 gr/m² (karung goni), *core* kayu sengon laut, *unsaturated poliester* type 157 BQTN, dan *hardener* MEKPO dengan kadar 1%. Peralatan yang digunakan adalah Mesin uji tarik/ bending merek TARNO GROCKY, timbangan untuk menentukan fraksi volume serat Foto Makro, *Oven* pengering, *Press Mold*.

Pembuatan spesimen uji

Spesimen uji komposit hibrid *sandwich* dibuat dengan *metode press mold*. Fraksi volume serat lamina komposit hibrid bagian ditentukan 30%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit *sandwich* saat pencetakan. Komposit *sandwich* hibrid tersusun dari dua lamina komposit hibrid dengan *core* kayu sengon laut di bagian tengahnya. Lamina komposit hibrid tersusun dari lamina serat gelas anyam dan 3 lamina serat kenaf (acak-anyam-acak). Posisi



Gambar 4. Aneka mode kegagalan uji bending struktur komposit sandwich.

serat gelas ditempatkan pada sisi terluar yang menerima beban lebih berat. Serat kenaf yang digunakan terdiri dari serat tanpa perlakuan dan serat perlakuan NaOH selama 2 jam. Core kayu sengon laut dibuat dengan pemotongan pada arah melintang (tegak lurus serat kayu). Ketebalan core divariasasi 5, 10, 15, dan 20 mm.

Agar hasil penelitian lebih komprehensif, maka komponen penyusun komposit sandwich juga dilakukan uji bending. Pembuatan spesimen ini dilakukan tersendiri dengan mengacu standar ASTM D 790 (untuk bending komposit skin) dan ASTM D 4761 (untuk pengujian bending core).

Metode Pengujian spesimen uji

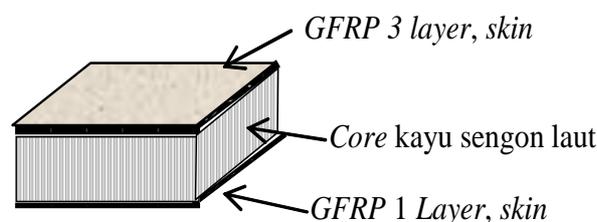
Berhubung aplikasi komposit sandwich adalah untuk *panelling* / kereta api, bis, maka pengujian yang penting dilakukan adalah uji bending. Pengujian bending dilakukan di UGM menurut standar ASTM C 393 – 94.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kekuatan Bending

Komposit sandwich hibrid yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan alkali mampu menahan momen bending yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Momen bending meningkat seiring dengan penambahan ketebalan core, seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur sandwich menunjukkan secara signifikan peningkatan kemampuan menahan momen bending. Sifat material yang lebih lunak (core kayu sengon laut) dan penambahan ketebalan menyebabkan memiliki kemampuan menahan momen bending yang lebih tinggi.

Selain itu, efek perlakuan alkali (NaOH) pada serat kenaf menurunkan momen bending. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan perilaku komposit hibrid skin menjadi lebih getas. Bila ditinjau dari segi kekuatan bending, kekuatan bending komposit hibrid sandwich optimum



Gambar 5. komposit sandwich

Tabel 1. Momen bending komposit hibrid *sandwich*

Tebal <i>Core</i> (mm)	Momen Maksimum N.mm		Tegangan Bending MPa	
	Tanpa NaOH	2 jam NaOH	Tanpa NaOH	2 jam NaOH
5	45600	21150	20,55	10,55
10	48150	34050	35,9	21,24
15	51000	43950	23,13	19,21
20	63900	48750	21,63	16,52

Tebal <i>Core</i> (mm)	Tegangan Bending Skin MPa		Kekuatan geser <i>core</i> MPa	
	Tanpa NaOH	2 jam NaOH	Tanpa NaOH	2 jam NaOH
5	20,55	10,55	29,12	14,77
10	35,9	21,24	39,87	25,25
15	23,13	19,21	26,27	21,92
20	21,63	16,52	24,21	18,45

pada ketebalan *core* sekitar 10 mm. Komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf dengan perlakuan alkali 2 jam.

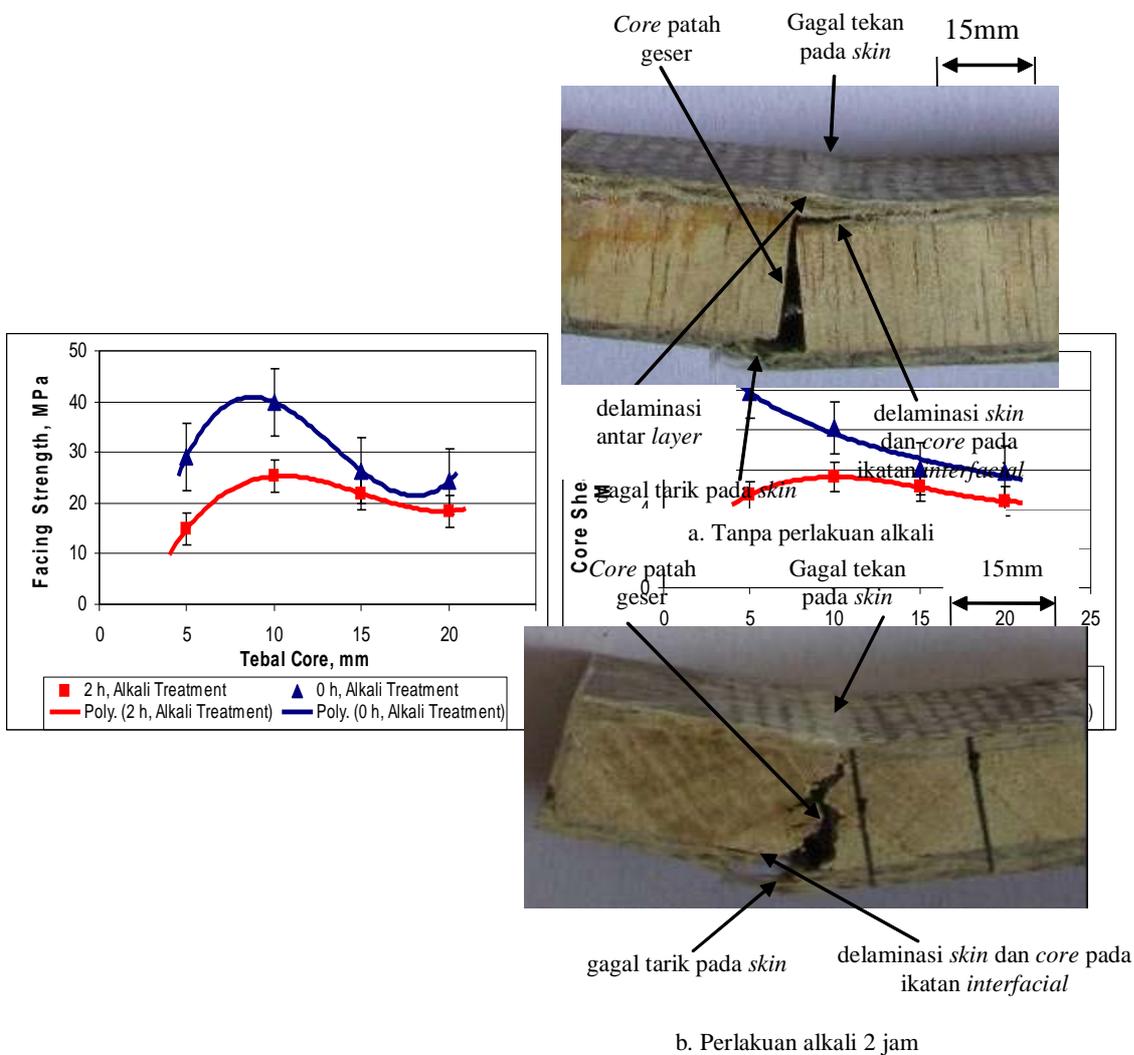
Berdasarkan analisis yang dihitung dengan standar ASTM D 393, komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat kenaf tanpa perlakuan alkali juga memiliki kekuatan bending *skin* yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Hal yang sama menunjukkan bahwa kekuatan bending yang paling optimum terjadi pada komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 10 mm.

Analisis kekuatan geser *core* menunjukkan bahwa tegangan geser *core* komposit dengan serat kenaf tanpa perlakuan alkali menurun seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Namun pada komposit yang diperkuat serat kenaf perlakuan alkali 2 jam, tegangan geser *core* meningkat pada ketebalan *core* 10 mm dan selanjutnya tegangan geser tersebut menurun pada ketebalan *core* 15 dan 20 mm. Efek perlakuan alkali mengindikasikan bahwa perlakuan 5% NaOH pada serat kenaf selama 2 jam menurunkan kekuatan geser *core* komposit hibrid *sandwich*.

Gambar 6. Kurva momen dan kekuatan bending komposit hibrid *sandwich*.

Gambar 7. Kurva Tegangan bending *skin* dan tegangan geser *core* komposit hibrid *sandwich*

Analisis Pola Kegagalan



Gambar 8. Penampang patahan komposit hibrid *sandwich*

Kegagalan bending komposit *sandwich core* arah serat kayu vertikal ditunjukkan pada gambar 8a dan gambar 8b. Secara umum, pola kegagalan diawali dengan retakan pada komposit *skin* yang menderita tegangan tarik. Kemudian, beban bending tersebut didistribusikan pada *core* sehingga menyebabkan *core* mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core*.

Gambar 8 menunjukkan secara jelas adanya kegagalan tarik pada komposit *skin* bawah, gagal geser *core* dan kegagalan tekan pada *skin atas*. Mekanisme patahan terjadi karena kegagalan komposit hibrid *sandwich* akibat beban bending berawal dari *skin* komposit sisi belakang (bawah) dan dilanjutkan dengan kegagalan *core*, delaminasi *skin* dan *core* pada ikatan *interfacial*.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan alkali pada serat kenaf menurunkan kekuatan bending, sebesar 14,66 MPa atau sebesar 40,8 % pada ketebalan *core* 10 mm pada komposit *hybrid sandwich*.
2. Penambahan ketebalan *core* hingga 10 mm pada komposit *hybrid sandwich* tanpa perlakuan alkali, dan dengan perlakuan alkali meningkatkan kekuatan bending sebesar 15,35; 10,69 MPa (sebesar 42,7; 50,32 %) (Tegangan bending komposit hibrid *sandwich* memiliki harga yang optimum pada ketebalan *core* 10 mm), ketebalan *core* 5 mm hingga 20 mm meningkatkan momen bending sebesar 18300; 27600 N.mm (sebesar 28,63; 56,61 %).
3. Tahapan pola kegagalan komposit hibrid *sandwich* adalah kegagalan tarik *skin* komposit sisi bawah, kegagalan geser *core*, delaminasi *skin* komposit sisi atas dengan *core*, kegagalan *skin* komposit sisi atas.

DAFTAR PUSTAKA

-, *Annual Book of Standards, Section 15, C 393-94, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions"*, ASTM, 1994
-, *Annual Book of Standards, Section 8, D 790-02, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials I"*, ASTM, 2002
-, *Annual Book of Standards, Section 8, D 4761-94, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Core Constructions"*, ASTM, 1994
- Abdullah dan Handiko G.W., 2000. "*Aplikasi Komposit GFRP untuk Komponen Gerbong Kereta Api*", INKA, Madiun.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Random kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, National Seminar Proceeding, Center of Inter University, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, International Seminar Proceeding, Kentingan Physics Forum, UNS, Surakarta, Indonesia.

- Diharjo K., Soekrisno, Triyono dan Abdullah G., (2002-2003). “*Rancang bangun Dinding Kereta Api Dengan Komposit Sandwich Serat gelas*”, Penelitian Hibah Bersaing X, DIKTI, Jakarta.
- 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*”, *Jurnal of materials Science*, pp. 2107-2131.
- Febrianto, B, Diharjo, K, 2004, Kekuatan Bending Dan Impak Komposit Hibrid *Sandwich* Kombinasi Serat Karung Goni Dan Serat Gelas Polyester Dengan *Core* Kayu Sengon Laut, Skripsi, UNS, Surakarta
- Gibson, O. F., 1994. “*Principle of Composite Materials Mechanics*”, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Ray D., Sarkar B.K., Rana A.K., dan Bose N.R., 2001. “*Effect of Alkali Treated Jute Fibres on Composites Properties*”, *Bulletin of Materials Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 129-135, Indian Academy of science.
- Shackelford, 1992. “*Introduction to Materials Science for Engineer*”, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.
- Sudiyono dan Diharjo K., (2003). “*Karakteristik Mekanis Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Foam/PU*”, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin FT-UNS, Surakarta.
- Wahyanto, B, Diharjo, K, 2004, Karakterisasi Uji Bending Dan Impak Komposit *Sandwich GRFP* Dengan *Core* Kayu Sengon Laut, Skripsi, UNS, Surakarta