

## REKAYASA BAHAN KOMPOSIT *SANDWICH* HIBRID UNTUK STRUKTUR SISTEM PANEL

Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura

Email : *agus.hariyanto @ums.ac.id*

### ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh ketebalan *core* terhadap peningkatan kekuatan bending komposit *sandwich* hibrid berpenguat kombinasi serat rami *woven* dan serat gelas *woven* bermatrix *polyester* dengan *core* berpenguat kombinasi serbuk kayu jati dan mahoni bermatrix *polyester*. Mekanisme perpatahan diamati dengan foto makro.

Bahan yang digunakan untuk skin adalah serat rami (*woven*), serat E-Glass (*woven*), resin *unsaturated polyester* 157 BQTN (UPRs). Bahan yang digunakan untuk *core* adalah serbuk kayu jati dan mahoni dengan *mesh* 30 pada fraksi volume 50%, resin *unsaturated polyester* 157 BQTN. *Hardener* yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Komposit *sandwich* hibrid tersusun terdiri dari dua *skin* komposit hibrid dengan *core* hibrid di tengahnya. *Skin* komposit hibrid sebagai lamina terdiri dari dua lamina serat gelas anyam dan satu lamina serat rami (*woven - woven - woven*). Fraksi volume serat komposit *skin* hibrid adalah 30%. Komposit *core* hibrid yang digunakan adalah serbuk kayu jati dan mahoni dengan *mesh* 30 pada fraksi volume 50% dengan resin *unsaturated polyester* 157 BQTN. Variabel utama penelitian yaitu tebal *core* (10, 20, 30, 40, dan 50 mm). Spesimen dan prosedur pengujian bending mengacu pada standard ASTM C 393.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketebalan *core* mampu meningkatkan momen bending. Namun, menurunkan kekuatan bending, *facing* bending dan tegangan geser *core* komposit *sandwich* hibrid. 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 *sandwich* hibrid, kekuatan bending, tebal *core*, mekanisme patahan.

### ABSTRACT

To the effect this research is investigate *core*'s thickness influence for step-up to try a fall bending komposit hibrid's *sandwich* gets ramie fiber combine lasing *woven* and *woven* with matrix *polyester*'s glass fiber with *core* gets powder combine lasing matrix *polyester*'s teakwood and mahony. Mechanism about observed break with macro photo.

Material that is utilized for skin is ramie fiber (woven), fiber E- Glass (woven), resin unsaturated polyester 157 BQTN (UPRs). Material that is utilized for core is teakwood and mahony powder with mesh 30 on volumed fraction 50%, resin unsaturated polyester 157 BQTN. Hardener who is utilized is MEKPO by concentrates 1%. Composite made by print method presses. Composites is hibrid's sandwich laps over consisting of two skin komposit hibrid with core hibrid adjoining. Skin composite hibrid as lamina consisting of two lamina glass fiber woven and one lamina ramie fibers (woven woven – woven). Fibers volumed fraction composite skin hibrid is 30%. Composite core hibrid who is utilized is teakwood and mahony powder with mesh 30 on volumed fraction 50% by resin unsaturated polyester 157 BQTN. Observational main variable which is thick core (10, 20, 30, 40, and 50 mm). Specimen and bending's examination procedure points on ASTM'S standard C 393.

Result observationaling to point out that core's thickness increase can increase momen bending. But, downing bending's force, facing bending and tension angles core composite is hibrid's sandwich. Fractured mechanism to be started by composite skin's failing part pulls, core fails to angle, and ended up by skin's failing flank presses. On bounds region part core and composite skin points out to mark sense delaminasi's failing.

**Key word** : composite hibrid's sandwich, bending's force, core's thick, fractured mechanism.

## 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 rami. Keuntungan penggunaan komposit antara lain ringan, tahan korosi, tahan air, *performance*-nya menarik, dan tanpa proses pemesinan. 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 [1]. Komposit *sandwich* hibrid merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit ini terdiri dari *flat* hibrid komposit dan *core* hibrid. *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvynil Clorida (PVC)*, dan *honeycomb*.

Ketersediaan *serbuk kayu jati dan mahoni* yang berlimpah, merupakan SDA yang dapat direkayasa menjadi produk teknologi andalan nasional sebagai *core* hibrid komposit *sandwich* hibrid. Rekayasa *core* hibrid dapat dilakukan dari kayu utuh ataupun limbah serbuk/potongan kayu. Konsep rekayasa *core* hibrid ini merupakan tahapan alih teknologi yang diilhami oleh masuknya *core impor kayu balsa* dari Australia. Sifat fisik serbuk kayu jati dan mahoni hampir sama dengan kayu balsa.

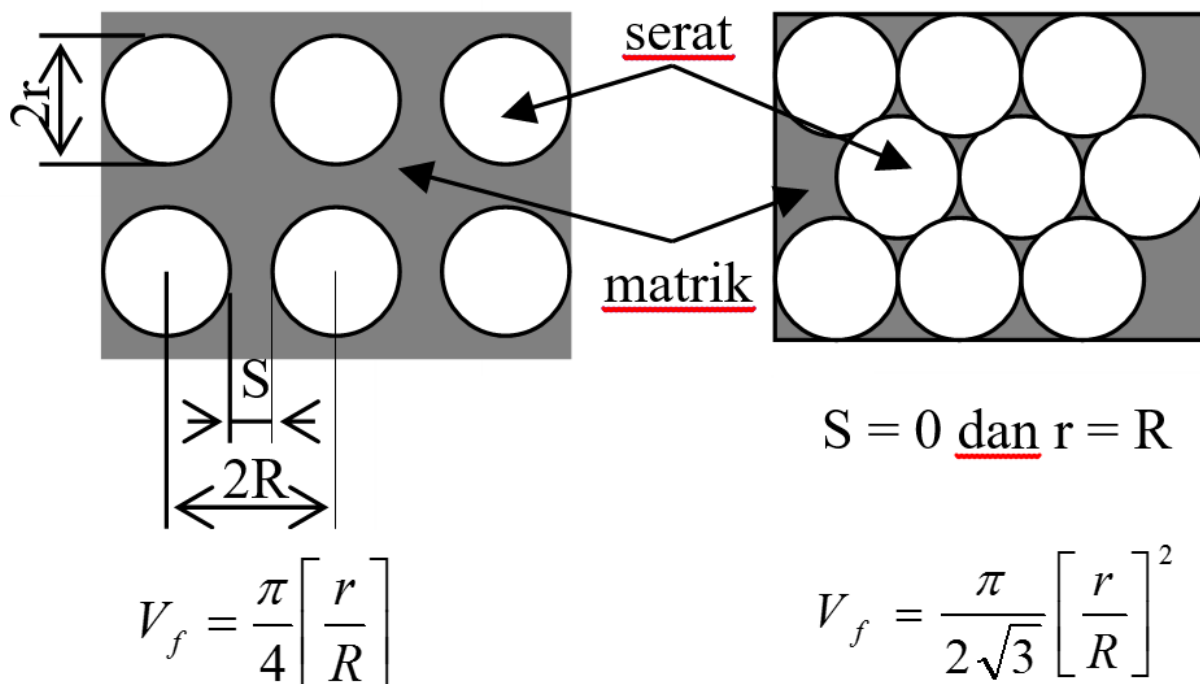
Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penelitian tentang rekayasa komposit *sandwich* hibrid dengan *core* hibrid limbah serbuk kayu jati dan mahoni merupakan kajian yang sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Berhubung mayoritas beban yang diterima berbagai panel komposit *sandwich* hibrid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

## TINJAUAN PUSTAKA

Hariyanto, 2006 [2] meneliti pengaruh ketebalan *core* dan perlakuan alkali serat kenaf terhadap peningkatan kekuatan bending komposit *hybrid sandwich* kombinasi serat kenaf dan serat gelas bermatrix *Polyester* dengan *core* kayu sengon laut. Bahan yang digunakan adalah serat kenaf (acak, anyam), serat *E-Glass* (anyam), *resin unsaturated polyester157 BQTN (UPRs)*, kayu sengon laut, dan *NaOH* teknis. *Hardener* yang digunakan adalah *MEKPO* dengan konsentrasi 1%. Variabel utama penelitian yaitu perlakuan alkali serat kenaf (0 & 2 jam) dan tebal *core* (5,10,15,20 mm). Komposit dibuat dengan metode cetak tekan. Fraksi volume serat komposit adalah 30%. Pengujian komposit sesuai dengan standar *ASTM* yang digunakan pengujian bending yang mengacu pada standart *ASTM C 393-00*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketebalan *core* mampu meningkatkan kekuatan bending dan momen bending komposit *hybrid 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.

### Sifat Mekanis Komposit Sandwich

Hasil penelitian Wahyanto dan Diharjo, 2004 [3] menyatakan bahwa komposit *sandwich* serat gelas acak 300 gr/m<sup>2</sup> pada  $V_f = 30\%$  bermatrix *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm memiliki kekuatan bending dan impak sebesar 125,44 MPa dan 0,045 MPa. Sedangkan komposit hibrid *sandwich* serat *E-glass* acak 300 gr/m<sup>2</sup> dan kenaf anyam 810 gr/m<sup>2</sup> pada  $V_f = 30\%$  bermatrix *polyester* dengan *core* kayu sengon laut setebal 10 mm mempunyai kekuatan bending dengan *core* arah serat kayu horisontal sebesar 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/mm<sup>2</sup>, lebih besar 4,4 % di atas kekuatan impak dengan *core* arah serat kayu horisontal 0,0578 J/mm<sup>2</sup>.



Gambar 1. Struktur mikro komposit dengan peletakan serat teratur [4].

Fraksi volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [5]:

$$V_1 = \frac{W_1 / \rho_1}{W_1 / \rho_1 + W_2 / \rho_2 + \dots} \quad (1)$$

$$W_1 = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots} \quad (2)$$

Kekuatan komposit dapat ditentukan dengan persamaan [5]:

$$\sigma_C = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (3)$$

### 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 [6]:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

Jika defleksi maksimum lebih dari 10 % dari jarak antar penumpu (L), kekuatan bendingnya dapat dihitung dengan persamaan 5 yang lebih akurat daripada persamaan 4.

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \left[ 1 + 4 \left( \frac{\delta}{L} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Modulus elastisitas bendingnya dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

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

### 2.4 Kekuatan Bending Komposit *Sandwich*

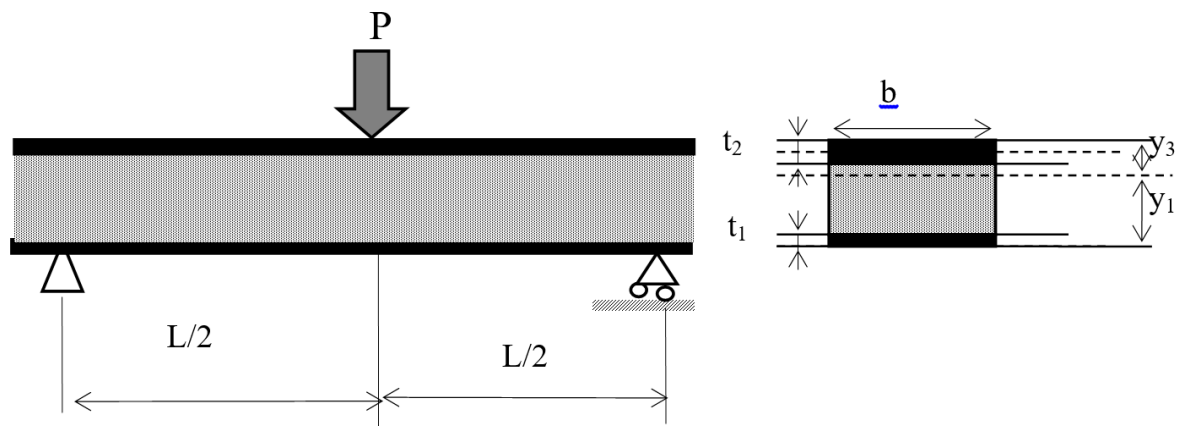
Pada panel komposit *sandwich* yang dikenai uji *three point bending* seperti pada gb 2, besarnya tegangan geser pada *core* dapat dihitung dengan persamaan [7]:

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (7)$$

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

$$\sigma_b = \frac{E}{2t(d+c)b} \quad (8)$$

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



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

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

Momen maksimum panel hibrid *sandwich* dihitung dengan persamaan:

$$M_{\max} = \frac{P}{2} \times \frac{L}{4} \quad (10)$$

Momen inersia hibrid *sandwich* dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (11)$$

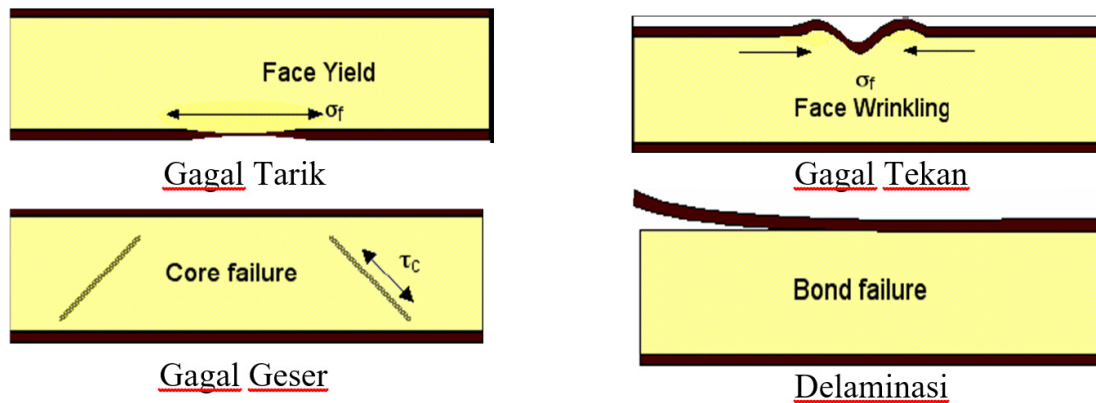
Kekuatan (tegangan) dan kekakuan bending maksimum panel hibrid *sandwich* dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_{\max} = \frac{M.z}{EI} (E_f + E_c) \quad (12)$$

$$D = EI = E_f \frac{bt_f d^2}{2} + E_c \frac{bt_c^3}{12} \quad (13)$$

### 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 3.



Gambar 3. Mekanisme Kegagalan Sandwich [8]

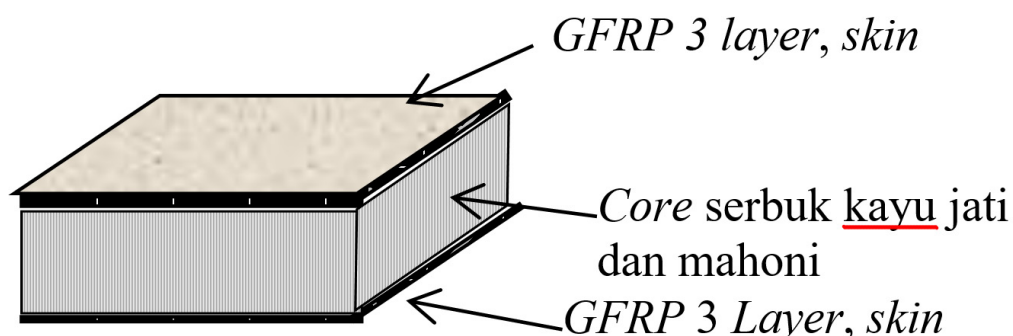
## METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama penelitian adalah *serat rami (woven)* dengan *density* 1.6 gr/m<sup>3</sup>, *serat E-Glass (woven)* dengan *density* 450 gr/m<sup>2</sup>, bahan *core* serbuk kayu jati dan mahoni pada *mesh* 30 dengan *density* 0.68 gr/m<sup>3</sup> dan 0.62 gr/m<sup>3</sup>, *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 *sandwich* hibrid dibuat dengan *metode press mold*. Fraksi volume serat lamina komposit hibrid/ *skin* bagian ditentukan 30%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit *sandwich* hibrid saat pencetakan. Komposit *sandwich* hibrid tersusun dari dua *skin* komposit hibrid dengan *core* hibrid *serbuk kayu jati dan mahoni* di bagian tengahnya. Lamina komposit hibrid tersusun dari 2 lamina serat *E-glass woven* dan 1 lamina serat rami *woven*. Posisi serat *E-glass* ditempatkan pada sisi terluar yang menerima beban lebih berat. Serat rami yang digunakan terdiri dari serat tanpa perlakuan. *Core* hibrid serbuk kayu jati dan mahoni dibuat dengan *metode press mold*. Ketebalan *core* divariasikan 10, 20, 30, 40, dan 50 mm ditunjukkan seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Komposit sandwich hibrid [8]

Agar hasil penelitian lebih komprehensif, maka komponen penyusun komposit *sandwich hibrid* juga dilakukan uji bending. Pembuatan spesimen ini dilakukan tersendiri dengan mengacu standar *ASTM D 790* [6] (untuk bending komposit *skin*) dan *ASTM D 4761* (untuk pengujian bending *core*) [9].

### Metode Pengujian spesimen uji

Berhubung aplikasi komposit *sandwich* hibrid adalah untuk *panelling* / kereta api, bis, maka pengujian yang penting dilakukan adalah uji bending. Pengujian bending dilakukan menurut standar *ASTM C 393 – 00* [7].

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

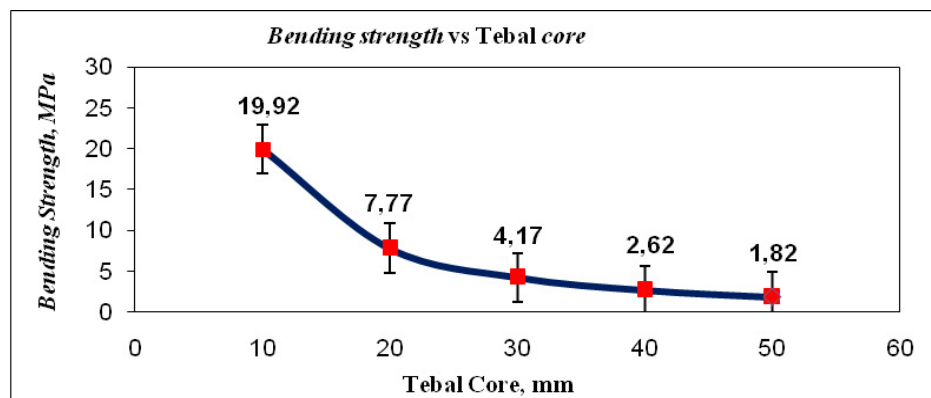
### Analisis Kekuatan Bending

Tabel 1. Momen bending komposit *sandwich* hibrid

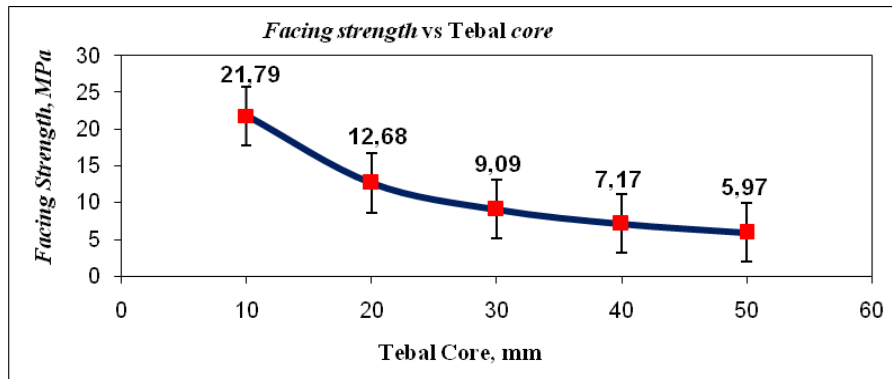
Tebal Core (mm)	Momen Maksimum [ N.m]	Tegangan Bending [MPa]	Tegangan Bending <i>facing/Skin</i> [MPa]	Kekuatan geser core [MPa]
10	25.5	19.92	21.79	4.36
20	26.25	7.77	12.68	2.54
30	27	4.17	9.09	1.82
40	27.75	2.62	7.17	1.43
50	28.5	1.82	5.97	1.19

Komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat rami dan *E-Glass* tanpa perlakuan mampu menahan momen bending yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Momen bending meningkat seiring dengan penambahan ketebalan *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich hibrid* menunjukkan secara signifikan peningkatan kemampuan menahan momen bending. Sifat material yang lebih lunak (*core* hibrid serbuk kayu jati dan mahoni) dan penambahan ketebalan menyebabkan memiliki kemampuan menahan momen bending yang lebih tinggi.

Bila ditinjau dari segi kekuatan bending seperti ditunjukkan pada gambar 6, kekuatan bending komposit *sandwich* hibrid menurun secara signifikan seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Kekuatan bending *optimum* pada ketebalan *core* 10 mm.



Gambar 5. Kurva momen bending komposit *sandwich* hibrid.

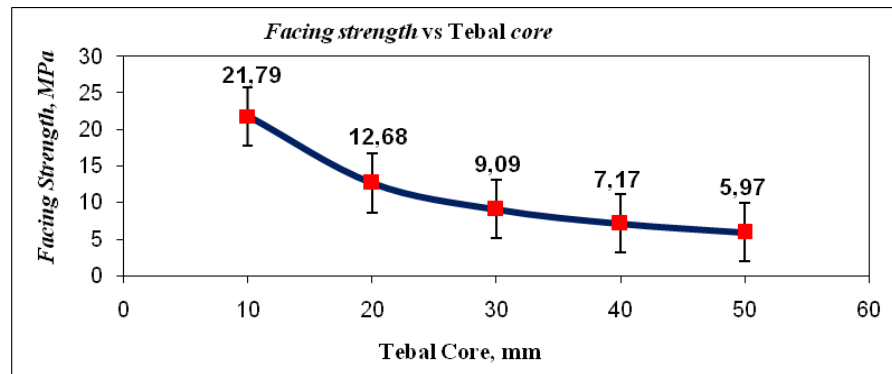


Gambar 6. Kurva kekuatan bending komposit *sandwich* hibrid.

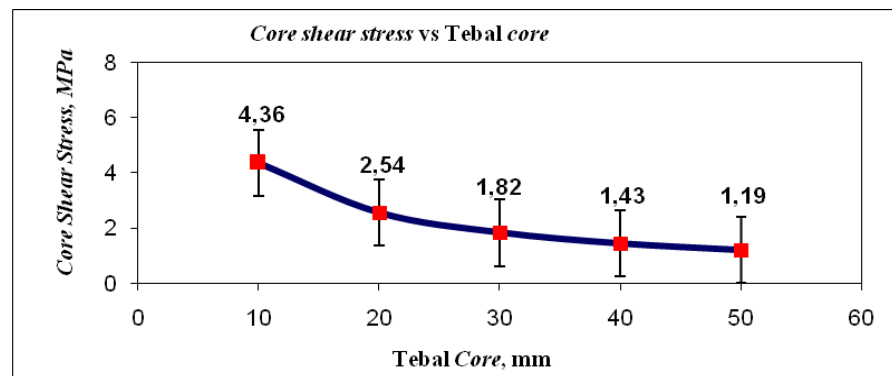
Berdasarkan analisis yang dihitung dengan standar *ASTM D 393* [7], komposit *sandwich* hibrid yang diperkuat serat rami dan *E-Glass* tanpa perlakuan, memiliki kekuatan bending *skin* yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Hal yang sama menunjukkan bahwa kekuatan bending *skin* yang paling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

Analisis kekuatan geser *core* menunjukkan bahwa tegangan geser *core* komposit dengan serat rami dan *E-Glass* tanpa perlakuan menurun seiring dengan penambahan ketebalan *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 8.

Hal yang sama menunjukkan bahwa kekuatan geser *core* yang paling optimum terjadi pada komposit *sandwich* hibrid dengan ketebalan *core* 10 mm.



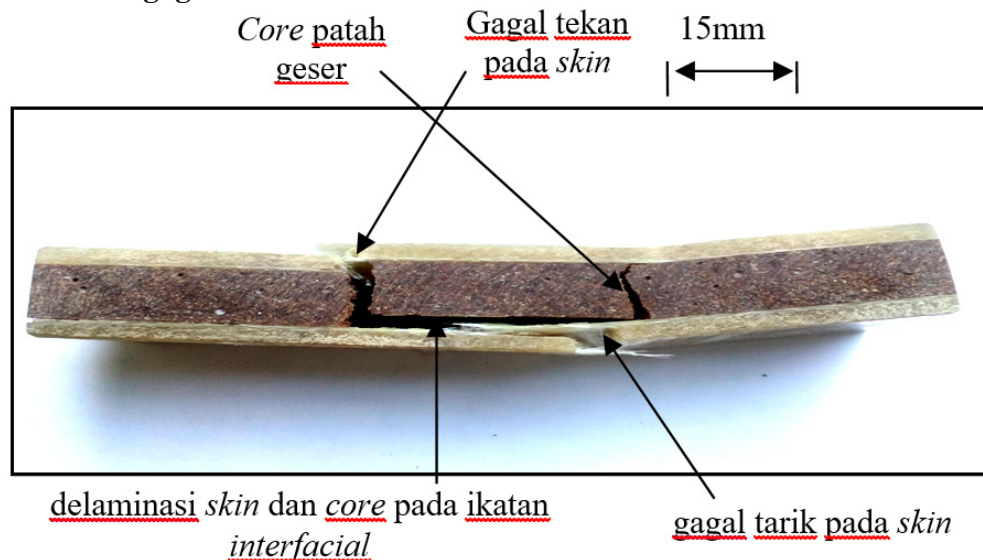
Gambar 7. Kurva kekuatan bending *skin* komposit *sandwich* hibrid.



Gambar 8. Kurva kekuatan geser *core* komposit *sandwich* hibrid.



### Analisis Pola Kegagalan



**Gambar 9. Penampang patahan komposit sandwich hibrid.**

Kegagalan bending komposit *sandwich* hibrid ditunjukkan pada gambar 9. 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 9 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 *sandwich* hibrid 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. Penambahan ketebalan *core* pada 10 mm hingga 50 mm pada komposit *sandwich hybrid* meningkatkan momen bending sebesar 25.5 hingga 28.5 N.m. Harga yang optimum pada ketebalan *core* 50 mm sebesar 28.5 N.m.
2. Penambahan ketebalan *core* pada 10 mm hingga 50 mm pada komposit *sandwich hybrid* menurunkan kekuatan bending sebesar 19.92 MPa menjadi 1.82 MPa. Harga yang optimum pada ketebalan *core* 10 mm sebesar 19.92 MPa.
3. Tahapan pola kegagalan komposit *sandwich* hibrid adalah kegagalan tarik *skin* komposit sisi bawah, kegagalan geser *core*, delaminasi *skin* komposit sisi atas dengan *core*, kegagalan *skin* komposit sisi atas.

### Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Hariyanto, A.,. 2006, *Studi Perlakuan Alkali dan Tebal Core Terhadap Sifat Bending dan Impak Komposit Hybrid Sandwich Serat Kenaf dan Gelas Bermatrik Polyester dengan Core Kayu Sengon Laut*, Tesis. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- [3] Wahyanto, B, Diharjo, K, 2004, *Karakterisasi Uji Bending Dan Impak Komposit Sandwich GRFP Dengan Core Kayu Sengon Laut*, Skripsi, UNS, Surakarta.
- [4] Gibson, O. F., 1994, *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- [5] Shackelford, 1992, *Introduction to Materials Science for Engineer*, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.
- [6] Annual Book of Standards, Section 8, D 790-02, 2002, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials 1*, ASTM.
- [7] Annual Book of Standards, Section 15, C 393-00, 1994, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions*, ASTM.
- [8] Allen, H.G., 1969, *Analisis and design of structural sandwich Panels*, Pergamon press.
- [9] Annual Book of Standards, Section 8, D 4761-94, 1994, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Core Constructions*, ASTM.