

# PENINGKATAN KEKUATAN BENDING PADA REKAYASA DAN MANUFAKTUR BAHAN KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT HYBRID DENGAN CORE KAYU PINUS

**Agus Hariyanto**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

E-mail : agus.hariyanto @Ums.ac.id

## Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh ketebalan core melintang dan core membujur terhadap peningkatan kekuatan bending komposit sandwich hybrid serat kenaf dan serat gelas bermatrix Polyester dengan core kayu pinus. Pola kegagalannya diamati dengan photo makro.

Bahan utama penelitian adalah serat kenaf anyam dan serat E-Glass anyam, resin unsaturated polyester 157 BQTN, kayu pinus. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan hidrolis. Komposit sandwich tersusun terdiri dari dua skin (lamina komposit hibrid) dengan core ditengahnya. Lamina komposit hibrid sebagai skin terdiri dari beberapa lamina serat gelas anyam dan lamina serat kenaf. Fraksi volume serat komposit hibrid sebagai skin adalah 30%. Core yang digunakan adalah kayu pinus yang dipotong pada arah melintang dan arah membujur. Core yang digunakan ada 4 macam variasi ketebalan yaitu 5, 10, 15 dan 20 mm. Spesimen dan prosedur pengujian bending mengacu pada standart ASTM C 393. Penampang patahan dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola kegagalannya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan menahan momen bending komposit sandwich meningkat seiring dengan penambahan ketebalan core melintang dan core membujur pada komposit sandwich. Kekuatan bending komposit sandwich meningkat seiring dengan penambahan ketebalan dari 5 mm menuju 10 mm pada core melintang dan membujur. Namun, menurunkan kekuatan bending komposit sandwich pada ketebalan core 15 mm dan 20 mm. Tegangan (kekuatan) bending komposit sandwich memiliki harga yang paling optimum pada ketebalan core 10 mm. Tahapan pola kegagalan komposit sandwich adalah kegagalan tarik skin komposit sisi bawah, kegagalan geser core, delaminasi skin komposit sisi atas dengan core, kegagalan skin komposit sisi atas.

**Kata Kunci:** core; komposit sandwich; kekuatan bending; pola kegagalan. RAPI 2015

## Pendahuluan

Serat alam telah dicoba untuk menggeser penggunaan serat sintetis, seperti *E-Glass*, *Kevlar-49*, *Carbon/Graphite*, *Silicone Carbide*, *Aluminium Oxide*, dan *Boron*. Walaupun tak sepenuhnya menggeser, namun penggunaan serat alam menggantikan serat sintesis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dibuat dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Berbagai jenis tanaman serat tumbuh subur di Indonesia, seperti kenaf (*hibiscus cannabinus*). Produksi serat kenaf dunia menduduki posisi mencapai 970.000 ton/tahun. Di Indonesia, serat kenaf tersebut biasanya hanya dipakai sebagai bahan karung goni sehingga nilai ekonominya rendah.

Ketersediaan kayu pinus (*Pinus Merkusii*) sangat berlimpah, namun nilai jualnya sangat murah. Sifat ringan kayu ini selaras dengan filosofi rekayasa bahan komposit, yaitu menghasilkan disain ringan. Keberhasilan aplikasi kayu ini sebagai material core pada rekayasa bahan komposit diharapkan dapat menggantikan penggunaan bahan core sintetis impor dari luar negeri, seperti *core polyurethane foam* (PUF) dan *core Divynil cell* (PVC).

Hal lain yang ironis adalah masuknya core kayu balsa yang diimpor dari Australia. Padahal, Indonesia sebagai negara tropis menghasilkan aneka kayu hasil hutan termasuk kayu balsa di Indonesia Timur dan kayu pinus di Pulau Jawa. Inovasi teknologi dengan memanfaatkan bahan alam merupakan langkah bijak menuju kemandirian bangsa yang bertumpu sumber daya alam lokal. Salah satu solusi kreatif terhadap banyaknya material impor yang masuk di Indonesia adalah memberdayakan material alam lokal yang bertumpu pada budaya riset yang berkelanjutan.

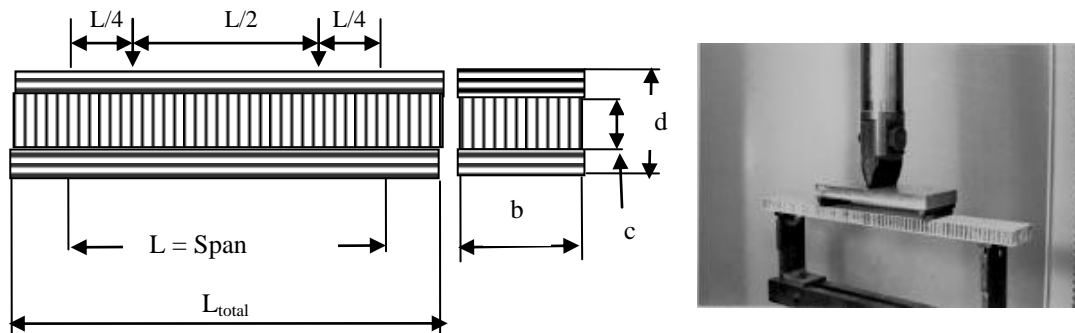
Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penggunaan serat kenaf dan kayu pinus sebagai bahan komposit sandwich merupakan solusi kreatif untuk mendukung perkembangan teknologi komposit yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh ketebalan core melintang dan core membujur terhadap peningkatan kekuatan bending komposit sandwich kombinasi serat kenaf dan serat gelas (hybrid) bermatrik Polyester dengan core kayu pinus dan mengidentifikasi Pola kegagalannya.

**Bahan Dan Metoda Penelitian**

Bahan utama penelitian adalah serat E-glass anyam dengan massa jenis 2,42 gr/cm<sup>3</sup>, serat kenaf anyam dengan density 1,45 gr/cm<sup>3</sup>, core kayu pinus, unsaturated poliester type 157 BQTN, hardener MEKPO dengan kadar 1%, dan adhesive epoxy resin dan epoxy hardener dengan rasio 1:1 dengan density 0,45 ml/cm<sup>2</sup>. Serat kenaf yang digunakan tanpa perlakuan. Pembuatan komposit sandwich dilakukan dengan metode press mold. Fraksi volume serat hybrid lamina komposit (skin) ditentukan 30%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit sandwich saat pencetakan.

Komposit sandwich tersusun dari dua lamina (skin) komposit hybrid dengan core kayu pinus di bagian tengahnya. Lamina komposit hybrid (skin) tersusun dari 3 lamina serat gelas anyam dan 2 lamina serat kenaf anyam. Serat kenaf yang digunakan tanpa perlakuan. Core kayu pinus dibuat dengan pemotongan pada arah melintang (tegak lurus serat kayu) dan membujur (sejajar serat kayu). Ketebalan core divariasii 5, 10, 15, dan 20mm. Komposit sandwich yang sudah dicetak dipotong-potong menjadi spesimen uji.

Pengujian bending dilakukan dengan four point bending method, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Spesimen dan metode pengujiannya mengacu pada standar ASTM C 393. Penampang patahan spesimen uji dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola kegagalannya.



Gambar 1. Spesimen pengujian bending

Persamaan yang digunakan untuk menghitung pengujian bending adalah ASTM C-393 :

$$M_{max} = \frac{P}{2} \times \frac{L}{4} \tag{1}$$

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M.z}{EI} (E_f + E_c) \tag{2}$$

$$D = EI = E_f \frac{bt_f d^2}{2} + E_c \frac{bt_c^3}{12} \tag{3}$$

$$\sigma_{b_{facing}} = \frac{PL}{4t(d+c)b} \tag{4}$$

$$\tau_{core} = \frac{P}{(d+c)b} \tag{5}$$

## Hasil Dan Pembahasan

### Analisis kekuatan bending

Tabel 1. Hasil pengujian bending komposit *sandwich*.

Core Melintang					
Tebal Core (c) mm	Average Bending Moment (M) N.m	Average Bending Strength ( $\sigma_b$ ) MPa	Average Facing Strength ( $\sigma_{b\ facing}$ ) MPa	Average Core Shear Strength ( $\tau_{core}$ ) MPa	Average Flexural Rigidity; (D) N.m <sup>2</sup>
5	33,30	20,12	21,16	8,79	25,95
10	53,90	36,24	25,75	7,85	68,81
15	88,00	23,48	23,25	6,62	145,44
20	141,00	21,68	22,35	5,34	246,00

Core Membujur					
Tebal Core (c) mm	Average Bending Moment (M) N.m	Average Bending Strength ( $\sigma_b$ ) MPa	Average Facing Strength ( $\sigma_{b\ facing}$ ) MPa	Average Core Shear Strength ( $\tau_{core}$ ) MPa	Average Flexural Rigidity; (D) N.m <sup>2</sup>
5	53,30	64,20	43,12	12,50	45,70
10	108,70	70,87	46,71	11,46	109,29
15	152,00	52,66	37,11	9,90	276,68
20	159,70	42,64	33,25	8,87	516,19

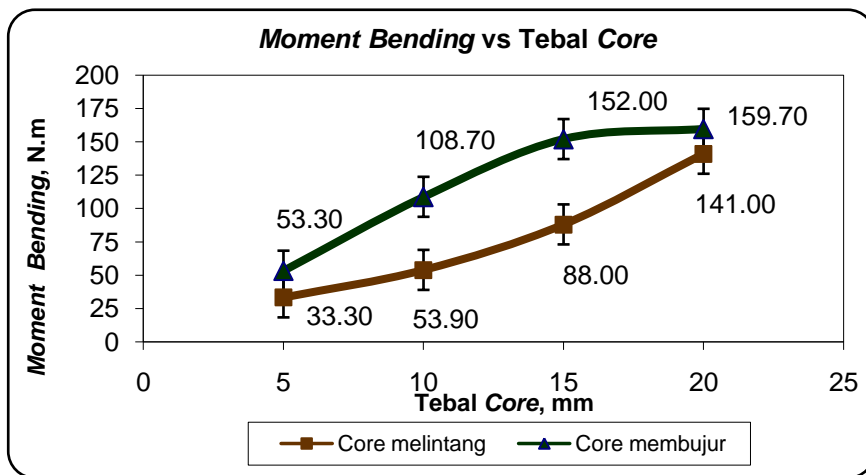
Komposit *sandwich* yang diperkuat serat kenaf dan serat *E-glass* dengan posisi *core* kayu pinus membujur (sejajar serat kayu) mampu menahan momen bending yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel. Momen bending meningkat seiring dengan penambahan ketebalan *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich* menunjukkan secara signifikan peningkatan kemampuan menahan momen bending. Sifat material yang lebih lunak (*core* kayu pinus) dan penambahan ketebalan menyebabkan memiliki kemampuan menahan momen bending yang lebih tinggi.

Selain itu, efek posisi *core* kayu pinus pada arah melintang (tegak lurus serat kayu) menurunkan momen bending. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan kekuatan *core* melintang lebih rendah dibandingkan dengan *core* membujur (kekuatan *longitudinal* lebih besar dengan kekuatan *lateral*). Bila ditinjau dari segi kekuatan bending, kekuatan bending komposit *sandwich optimum* pada ketebalan *core* sekitar 10 mm seperti ditunjukkan pada gambar 3. Komposit *sandwich* yang diperkuat serat *hybrid* (serat kenaf dan serat *E-glass*) dengan posisi *core* kayu pinus membujur (sejajar serat kayu) memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *sandwich* yang diperkuat serat kenaf dan serat *E-glass* dengan posisi *core* kayu pinus melintang (tegak lurus serat kayu).

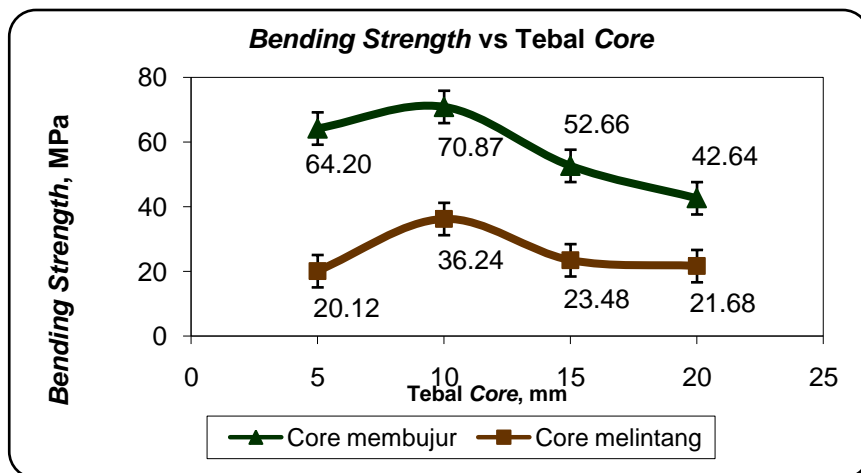
Berdasarkan analisis yang dihitung dengan standar *ASTM D 393*, komposit *sandwich* yang diperkuat serat kenaf dan serat *E-glass* dengan posisi *core* kayu pinus membujur (sejajar serat kayu) juga memiliki kekuatan bending *facing* yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 4. Hal yang sama 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 dan serat *E-glass* dengan posisi *core* kayu pinus melintang (tegak lurus serat kayu) menurun seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Namun, pada komposit yang diperkuat serat kenaf dan serat *E-glass* dengan posisi *core* kayu pinus membujur (sejajar serat kayu) juga menurunkan, seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Efek posisi *core* kayu pinus melintang mengindikasikan menurunkan kekuatan geser *core* komposit *hybrid sandwich*. Namun, pada komposit yang posisi *core* kayu pinus melintang ini, memberikan efek stabilitas dimensi yang lebih baik (tidak mudah terjadi deformasi).

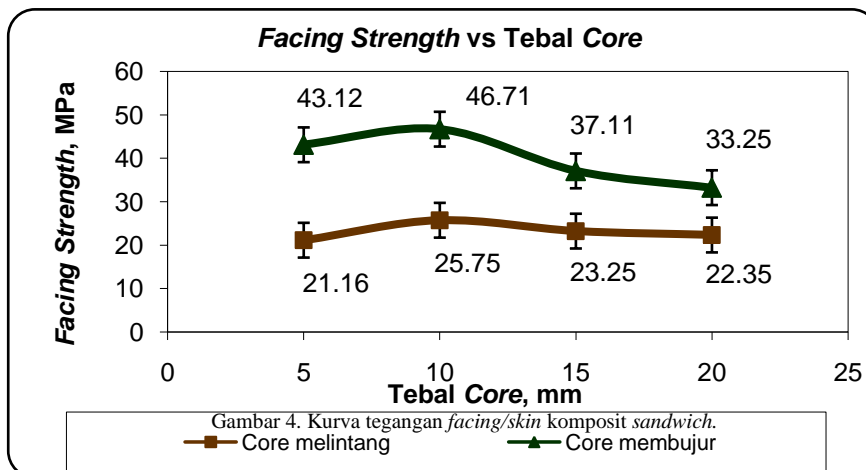
Analisis *flexural rigidity* (kekakuan) komposit *sandwich* yang diperkuat serat *hybrid* (kenaf dan serat *E-glass*) dengan posisi *core* kayu pinus membujur (sejajar serat kayu) mempunyai kekakuan yang lebih tinggi. Kekakuan meningkat seiring dengan penambahan ketebalan *core*, seperti ditunjukkan pada gambar 6.



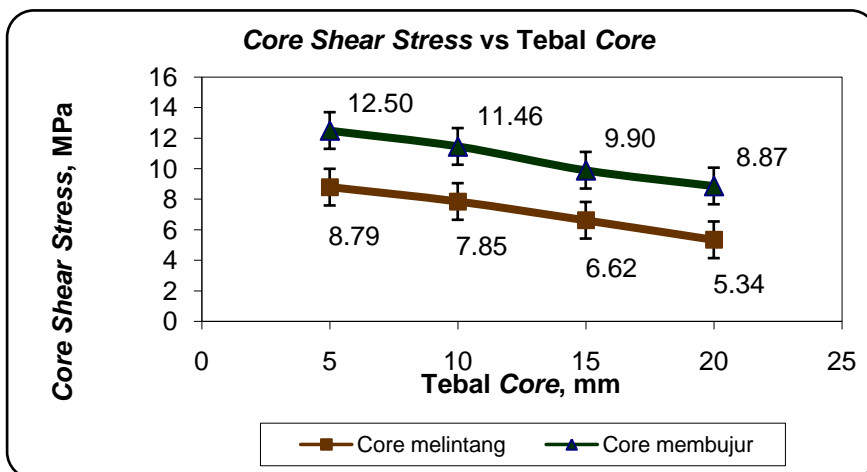
Gambar 2. Kurva momen bending komposit sandwich.



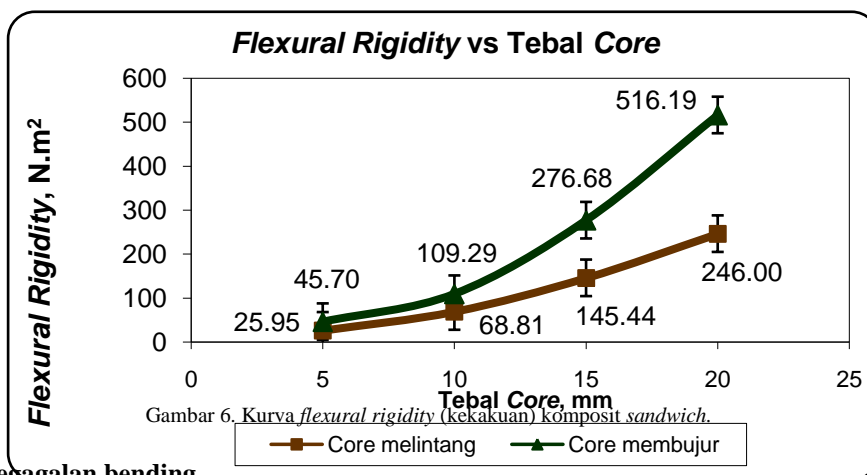
Gambar 3. Kurva kekuatan bending komposit sandwich.



Gambar 4. Kurva tegangan facing/skin komposit sandwich.

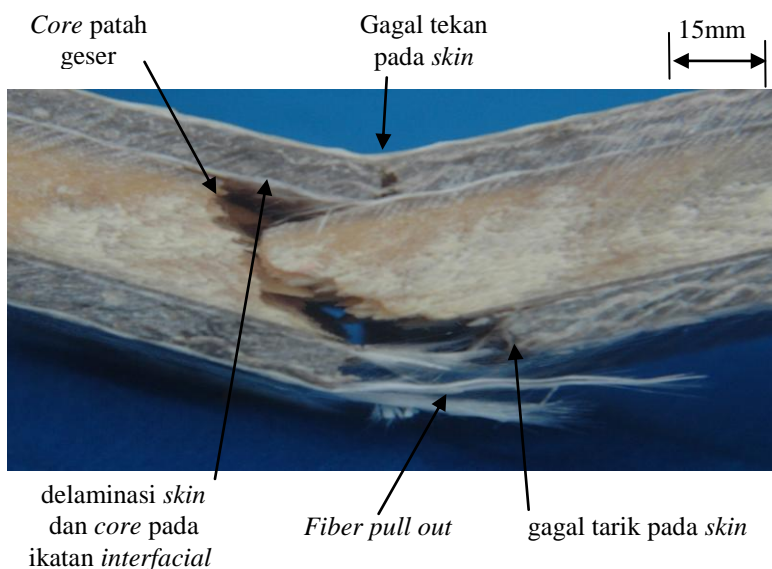


Gambar 5. Kurva tegangan geser core komposit sandwich

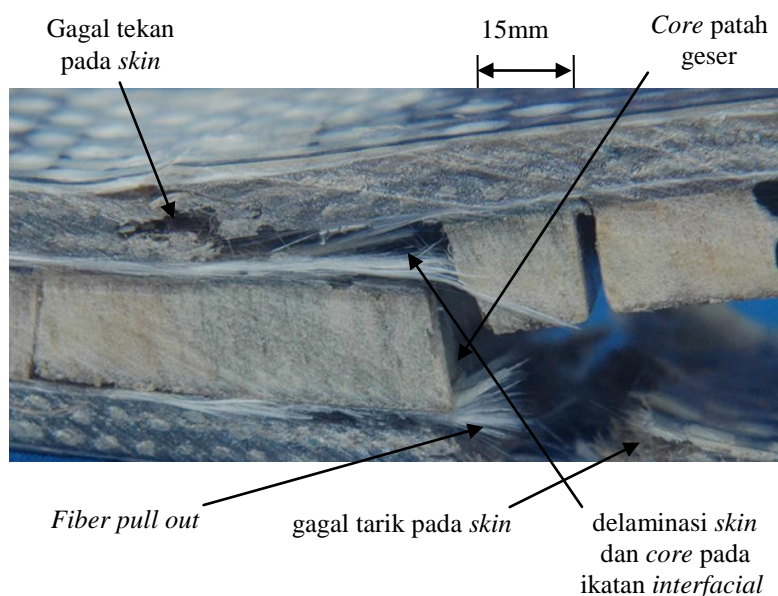


Gambar 6. Kurva flexural rigidity (kekakuan) komposit sandwich.

**Analisis pola kegagalan bending**



Gambar 7. Penampang patahan core kayu pinus membujur komposit sandwich.



Gambar 8. Penampang patahan core kayu pinus melintang komposit sandwich.

Kegagalan bending komposit sandwich core arah serat kayu membujur dan melintang ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8. 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 7 dan 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 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. Efek posisi core melintang mengindikasikan menurunkan kekuatan bending komposit sandwich serat kenaf dan serat gelas (hybrid) bermatrik polyester dengan core kayu pinus.
2. Tegangan bending komposit hybrid sandwich memiliki harga yang optimum pada ketebalan core 10 mm. Kemampuan menahan momen dan kekakuan komposit sandwich meningkat seiring dengan penambahan ketebalan core. Namun penambahan ketebalan core menurunkan kekuatan geser.
3. Tahapan pola kegagalan komposit hybrid sandwich adalah kegagalan tarik skin komposit sisi bawah, kegagalan geser core, delaminasi skin komposit sisi atas dengan core pada ikatan interfacial., kegagalan tekan skin komposit sisi atas.

**Notasi Persamaan**

$b$ : lebar spesimen ( mm )	$\tau_{core}$ : tegangan geser core (MPa)
$c$ : tebal core (mm)	$\sigma_b$ : tegangan bending (MPa)
$d$ : tebal spesimen (mm)	$\sigma_{b\ facing}$ :tegangan bending skin(MPa)
$D$ :kekakuan bending (N.mm <sup>2</sup> )	$z$ : Jarak 0,5 tinggi skin terhadap titik acuan sumbu netral (mm)
$E$ : modulus bending (MPa)	
$I$ : momen inersia (mm <sup>4</sup> )	
$L$ : panjang span (mm)	
$M$ : momen bending (N-mm)	
$P$ : beban bending(N)	
$t_f$ : tebal skin sandwich (mm)	

**Daftar Pustaka**

- Allen, H.G., (1969), "Analysis and Design of Structural Sandwich Panels", *Pergamon press*.
- Anonim., (1994), "Annual Book of Standards, Section 15, C 393-94, Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions", *ASTM*.
- Annual Book of Standards, ASTM D 790 – 02., (2002), "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", *ASTM*.
- Anonim. (2003), "DIAB Sandwich Handbook" <http://www.diabgroup.com>, (3 September 2008, jam 15.30 WIB)
- Anonim., (2001), "Technical data Sheet", PT Justus Sakti Raya Corporation, Jakarta.
- David W., (1987) "Mechanical Properties of Wood, Wood Handbook, Wood as an Engineering Material" *Forest Products Laboratory USDA Forest Service Madison, Wisconsin*.
- Eichorn, 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. and Wild, P.M., (2001), "Review Current International Research into Cellulosic Fibers and Composites", *Journal of Materials Science*, Vol. 36 pp. 2107-2131
- Febrianto, B. dan 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.
- 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.
- Siswamartana., (2002). "Hutan Pinus dan Hasil Air" Cepu: Pusat Pengembangan Sumber Daya Hutan Perhutani.