

## KEKAKUAN BENDING EKSPERIMEN KOMPOSIT SANDWICH SERAT SABUT KELAPA- Matrik POLYESTER DENGAN CORE KERTAS KARDUS

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tebal inti (*core*) terhadap kekakuan bending secara eksperimen pada komposit *sandwich* berpenguat serat sabut kelapa (*coco fiber*) dan matrik *polyester* dengan fraksi volume 10%. Variasi tebal *core* adalah 20 mm, 30 mm, dan 40 mm, sedangkan tebal *skin* adalah konstan sebesar 5 mm. Metode pengujian yang dipakai untuk mengetahui kekakuan bending secara eksperimen adalah *Three Point Bending (TPB)* dan *Four Point Bending (FPB)*. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM C393-00. Pada penelitian ini komposit dibentuk seperti *sandwich*, dua buah *skin* yang mengapit *core*, *skin* dibuat dengan teknik *hand lay up* berbahan dasar *polyester* diperkuat serat tumbuhan dari limbah industri berupa serat sabut kelapa. *Core* yang terbuat dari kertas kardus dimaksudkan untuk menurunkan berat jenis komposit dan menambah kekakuannya sehingga layak diaplikasikan. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kekakuan bending rata-rata untuk tebal *sandwich* 30 mm, 40 mm, dan 50 mm berturut-turut adalah 131.9 MN.mm<sup>2</sup>, 134.4 MN.mm<sup>2</sup>, 136.2 MN.mm<sup>2</sup>.

**Achmad Zainuri**

Email:

[achmadzainuri70@yahoo.co.id](mailto:achmadzainuri70@yahoo.co.id)

**Nasmi H.S.**

**M. Zaidan J.**

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Mataram

**Kata kunci :** Kekakuan bending, komposit sandwich, tebal *core*, serat sabut kelapa

The purpose of this research is to investigate the influence of core thickness on the flexure stiffness in experiments on fiber composite sandwich *coco fiber* and polyester matrix with volume fraction 10%. The variation of core thickness is 20 mm, 30 mm and 40 mm, while the skin thickness is a constant of 5 mm. Test methods used to determine the flexure stiffness is experimentally Three Point Bending (TPB) and Four Point Bending (FPB). The standard test used was ASTM C 393-00. In this study, the composite was formed as a sandwich, two pieces that flank the core skin, skin is made by hand lay-up technique based fiber reinforced polyester plant of industrial waste in the form of coconut fibers. Core made of cardboard paper is intended to reduce weight and increase rigidity of composite type, so decent applied. From the results of this research concluded that the average flexure stiffness to the sandwich 30 mm, 40 mm and 50 mm thickness respectively was 131.9 MN.mm<sup>2</sup>, 134.4 MN.mm<sup>2</sup>, 136.2 MN.mm<sup>2</sup>.

**Keywords:** flexure stiffness, composite sandwich, thick-core, coco fibers

### PENDAHULUAN

Komposit *Sandwich* terutama memiliki dua komponen yaitu, kulit (*skin*) dan inti (*core*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Jika perekat digunakan untuk mengikat *skin* dengan *core*, lapisan perekat juga dapat dianggap sebagai komponen tambahan dalam struktur. Ketebalan lapisan perekat umumnya diabaikan karena jauh lebih kecil dibandingkan dengan ketebalan *skin* atau *core*. Ikatan yang kuat antara *skin* dan *core* untuk mencegah kegagalan antar permukaan di bawah beban yang diterapkan untuk meningkatkan sifat bending komposit sandwich. Sifat komposit sandwich bergantung pada properti dari *skin* dan *core*, ketebalan relatif

mereka dan karakteristik ikatan di antara mereka (*ASM Handbook*).

Gibson (1984) meneliti sebuah metode baru untuk memaksimalkan kekakuan per berat unit balok sandwich dengan *core* busa (*foam*). Nilai optimum ketebalan *core*, tebal *skin* dan densitas *core* diperoleh dari analisis. Pengukuran kekakuan per satuan berat telah dibuat pada sandwich dengan *core* polyurethane berbuisa. Analisis teoritis adalah sesuai dengan hasil uji eksperimen.

Rizov (2005) menyatakan bahwa karena kekakuan tinggi dan kekuatan untuk rasio berat dari struktur komposit sandwich telah terbukti kegunaannya dalam sejumlah besar aplikasi dalam berbagai bidang teknik, terutama di

aeronautika, teknik otomotif dan sipil. Salah satu kelemahan utama dari struktur sandwich adalah hilangnya kapasitas beban akibat kerusakan indentasi.

Zainuri (2009) menyelidiki pengaruh rasio tebal core dan tebal skin terhadap penyimpangan kekakuan bending berdasarkan metode analitis dan metode pendekatan pada komposit sandwich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar rasio tebal core dan tebal skin untuk bahan skin yang sama, maka kekakuan bending analitis  $D_A$ , pendekatan  $D_P$ , dan ASTM  $D_{ASTM}$  semakin besar. Demikian juga, semakin besar modulus elastisitas skin untuk rasio tebal core dan tebal skin yang sama, maka kekakuan bending analitis  $D_A$ , pendekatan  $D_P$ , dan ASTM  $D_{ASTM}$  semakin besar, tetapi dengan kenaikan yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tebal core akan memberikan kekakuan bending yang sangat signifikan pada komposit sandwich.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tebal inti (core) yang terbuat dari kertas kardus terhadap kekakuan bending secara eksperimen pada komposit sandwich berpenguat serat sabut kelapa (*coco fiber*) dan matrik polyester dengan fraksi volume 10%.

### Komposit Sandwich

Keuntungan utama dari setiap jenis material komposit adalah kemungkinan menyesuaikan sifat mereka menurut aplikasi. Keuntungan yang sama juga berlaku untuk komposit sandwich. Pilihan tepat untuk skin dan core membuat sandwich komposit adaptif untuk sejumlah besar aplikasi dan kondisi lingkungan. Beberapa karakteristik umum komposit sandwich dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Kepadatan rendah:

Pilihan core yang ringan atau struktur diperluas dari bahan *high density* menurunkan densitas keseluruhan dari komposit sandwich. Volume core jauh lebih tinggi pada komposit sandwich dibandingkan dengan volume skin sehingga setiap penurunan kepadatan bahan core memiliki dampak yang signifikan terhadap kepadatan sandwich keseluruhan.

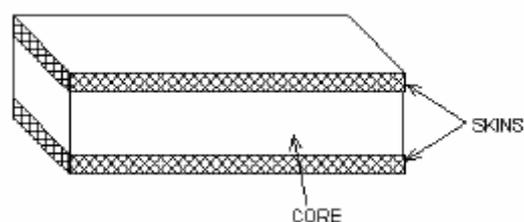
#### 2. Kekakuan bending:

Properti ini berasal dari bagian skin sandwich. Akibat kekakuan spesifik komposit sandwich yang lebih tinggi

menghasilkan deformasi lateral yang lebih rendah, ketahanan buckling yang lebih tinggi dan frekuensi alami lebih tinggi dibandingkan dengan struktur lainnya.

#### 3. Kerusakan toleransi:

Penggunaan atau bahan busa fleksibel sebagai core membuat bahan sandwich sangat merusak struktur toleransi. Untuk alasan ini core busa atau bahan sandwich core menjadi bahan populer dalam aplikasi kemasan.



Gambar 1: Struktur komposit sandwich

### Kulit (skin)

Berbagai macam bahan yang tersedia untuk digunakan sebagai skin. Lembaran logam seperti aluminium, titanium dan baja dan plastik yang diperkuat serat adalah beberapa contoh umum dari bahan skin. Skin diperkuat serat, sifat bahan dapat dikontrol secara terarah dalam rangka untuk menyesuaikan properti dari komposit sandwich. Polimer diperkuat serat digunakan secara luas sebagai skin karena kepadatan rendah dan kekuatan spesifik yang tinggi. Keuntungan lain yang ditawarkan oleh penggunaan komposit polimer dalam skin adalah bahwa polimer dapat digunakan untuk membuat skin dan core. Cross-linking polimer antara core dan skin akan menyediakan adhesi tingkat kekuatan yang sama dengan kekuatan polimer. Ini memberikan kemungkinan untuk membuat skin bagian integral dari struktur menghilangkan kebutuhan perekat. Ketika perekat digunakan untuk obligasi skin dan core bersama-sama, pemilihan perekat menjadi sangat penting, karena mereka harus kompatibel dengan skin dan bahan-bahan core. Adhesi harus memiliki tingkat kekuatan yang diinginkan dan harus tetap tidak terpengaruh oleh lingkungan kerja.

### Inti (Core)

Bahan inti yang populer dapat dibagi menjadi tiga kelas sebagai berikut:

#### 1. Low density bahan padat:

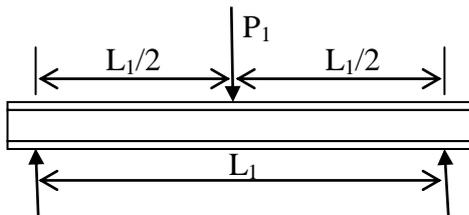
Busa sel terbuka dan tertutup terstruktur, balsa dan jenis-jenis kayu.

2. Expanded high-density  
Bahan dalam bentuk seluler: madu, inti web.
3. Expanded high-density  
Bahan dalam bentuk bergelombang: truss, lembaran bergelombang, seperti kertas kardus dan lain-lain.

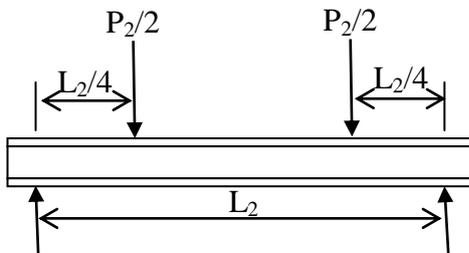
Bahan densitas tinggi yang digunakan untuk tujuan pembuatan *core* diperluas mencakup aluminium, titanium dan berbagai polimer. Struktur bahan *core* mempengaruhi bidang kontak permukaan antara *skin* dan *core*. Bahan Expanded kepadatan tinggi biasanya memberikan bidang kontak jauh lebih kecil dibandingkan dengan material padat kepadatan rendah. Pilihan struktur yang sesuai untuk *core* memberikan parameter tambahan untuk merancang sebuah komposit sandwich sesuai spesifikasi yang diberikan atau kondisi layanan. Penggunaan *core* seperti busa sel tertutup terstruktur memberikan beberapa keuntungan yang berbeda atas busa sel terbuka terstruktur dan *core*. Kekuatan tekan spesifik busa sel dekat terstruktur jauh lebih tinggi. Mereka juga menyerap kelembaban kurang dari busa sel terbuka terstruktur.

**Kekakuan Bending Eksperimen.**

Untuk mengetahui kekakuan bending secara eksperimen perlu dilakukan uji bending tiga titik (Three Point Bending) dan uji bending empat titik (Four Point Bending) menurut standar ASTM C-393. Skema uji TPB dan FPB dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 berikut ini.



Gambar 2: Uji bending tiga titik (TPB)



Gambar 3: Uji bending empat titik (FPB)

Jika defleksi dari sandwich yang sama ditentukan di bawah beban pusat  $P$  pada span  $L_1$  dan juga di bawah total beban pusat  $P$  diterapkan pada empat titik span  $L_2$ , maka kekakuan bending

$D$  dapat ditentukan dari penyelesaian simultan persamaan defleksi sebagai berikut:

$$D = \frac{P_1 L_1^3 \left[ - (11 L_2^2 / 8 L_1^2) \right]}{48 \Delta_1 \left[ - (2 P_1 L_1 \Delta_2 / P_2 L_2 \Delta_1) \right]} \quad (1)$$

Dimana:

$D$  = Kekakuan bending Panel (kN.mm<sup>3</sup>).

$P_1$  = Beban pada *three point bending* (N).

$P_2$  = Beban pada *four point bending* (N).

$L_1$  = Panjang span pada *three point bending* (mm).

$L_2$  = Panjang span pada *four point bending* (mm).

$\Delta_1$  = Total defleksi span pada *three point bending* (mm).

$\Delta_2$  = Total defleksi span pada *four point bending* (mm).

**METODE PENELITIAN**

Prosedur penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, kemudian dilakukan proses perlakuan serat, proses pembuatan skin, proses pembuatan core, proses pembuatan komposit sandwich dan proses pengujian.

**Perlakuan serat**

Serat Sabut kelapa direndam dalam larutan 4% NaOH selama 2 jam untuk menghilangkan lapisan lilin dan *lignin* pada serat. Serat kemudian dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan NaOH yang masih membasahi serat. Serat yang telah bersih kemudian dikeringkan di bawah terik sinar matahari selama 3 jam, seperti pada Gambar 4. Setelah kering serat dipotong-potong dengan panjang serat 2 cm.



Gambar 4: Serat sabut kelapa

**Pembuatan skin**

Pembuatan kulit komposit dilakukan dengan teknik *hand lay up* atau sering disebut

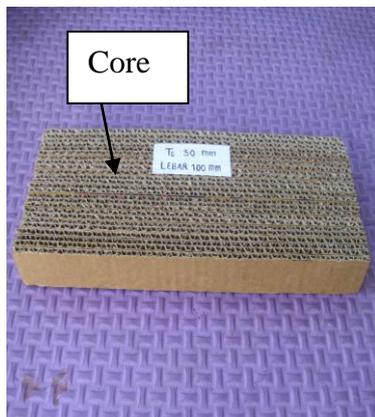
wet lay-up. Langkah awal adalah mengoleskan pengkilap porselin (MAA) dan dikeringkan, ini bertujuan untuk mempermudah pengangkatan spesimen dari cetakan pada saat spesimen sudah kering. Resin polyester dicampur dengan 2% hardener metil etil keton agar waktu curing lebih cepat. Resin *polyester* dan serat ditimbang untuk variasi perbandingan matrik penguat sebesar 10% untuk serat. Sebagian resin yang telah tercampur dituangkan ke dalam cetakan dan diratakan. Serat yang searah tadi dimasukkan dalam cetakan, dibenamkan dalam resin kemudian diratakan lagi. Setelah itu cetakan yang sudah berisi resin dan serat tersebut didiamkan selama 24 jam, setelah kering spesimen dibuka dan diangkat dari dalam cetakan dan dipotong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5: *Skin* komposit

#### Pembuatan core

Kertas kardus dipotong-potong sesuai dengan ketebalan dari core. Lembaran-lembaran dari hasil pemotongan kemudian dilem/direkatkan menggunakan lem kertas sehingga berubah bentuknya menjadi balok seperti pada Gambar 6 berikut ini. Variasi tebal core adalah 20mm, 30mm, dan 40mm.



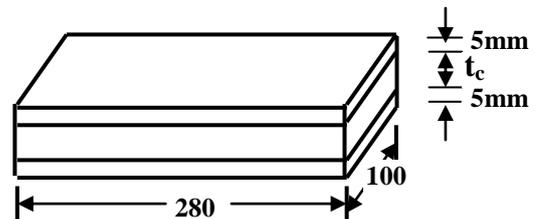
Gambar 6: Core dari kertas kardus

#### Pembuatan komposit *Sandwich*

Pada pembuatan komposit *sandwich* ini antara core dan kulit direkatkan dengan perekat *polyester*. Panjang *core* yang dipakai adalah 280 mm, lebar 100 mm, dan tebal bervariasi 30, 40, 50 mm. Komposit dibiarkan memadat / menyatu (*curing*) antara kulit dan *core* didalam ruangan selama 24 jam, kemudian dipotong dengan gergaji untuk membuat spesimen uji.

#### Spesimen Uji Bending

Uji bending dilakukan di Laboratorium Geoteknik Jurusan Teknik sipil Fakultas Universitas Mataram. Alat yang digunakan untuk uji Bending adalah CBR Tester Type T104. Spesimen uji *bending* komposit *sandwich* mengacu pada standar ASTM C393, di mana mempunyai dimensi panjang sebesar 280 mm dan tebal bervariasi dari 30, 40 mm, dan 50 mm serta lebar specimen 100 mm seperti terlihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7: Dimensi spesimen komposit sandwich.



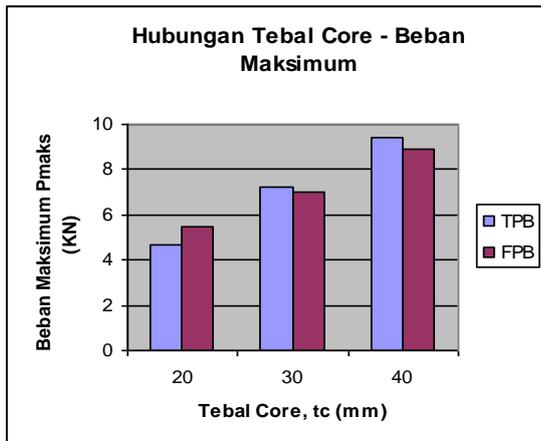
Gambar 8: Spesimen TPB pada CBR Tester

## HASIL DAN PEMBAHASAN

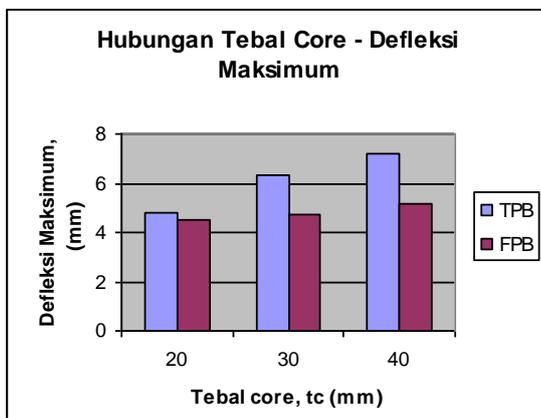
#### Beban maksimum

Dari hasil pengujian bending dengan mesin CBR Tester dengan tipe T104 didapatkan data hubungan pengaruh tebal core terhadap beban maksimum dan defleksi maksimum pada

uji bending TPB dan FPB dapat dilihat pada grafik Gambar 9 dan 10 berikut ini.



Gambar 9: Hubungan tebal core – beban maksimum



Gambar 9: Hubungan tebal core – defleksi maksimum

Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa untuk uji bending TPB dan FPB, semakin besar tebal core komposit sandwich maka beban maksimum yang terjadi juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan rumus kekuatan bending TPB menurut standar ASTM C-393 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{PL}{2t_s(d+t_c)b}$$

$$t_c = \frac{PL}{2.\sigma.t_s.b} - d \tag{2}$$

Dimana:  $P$  = beban maksimum;  $L$  = panjang antara span;  $t_s$  = tebal skin;  $t_c$  = tebal core; dan  $d = t_s + t_c$  adalah jarak antara pusat skin ;  $b$  = lebar komposit sandwich.

Sedangkan kekuatan bending FPB menurut standar ASTM C-393 sebagai berikut:

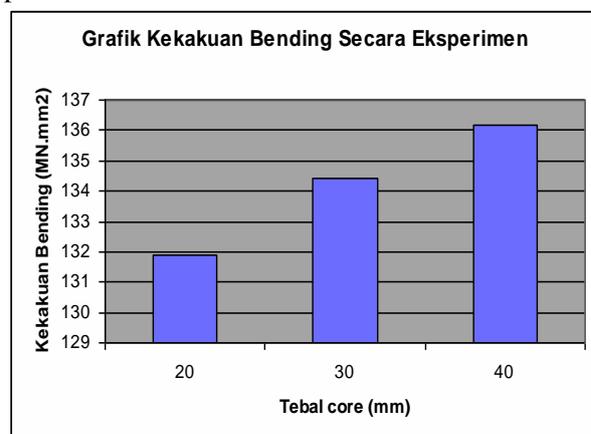
$$\sigma = \frac{PL}{4t_s(d+t_c)b}$$

$$t_c = \frac{PL}{4.\sigma.t_s.b} - d \tag{3}$$

Dari persamaan (2) dan (3) terlihat bahwa tebal core pada TPB dan FPB berbanding lurus dengan beban maksimum  $P$ .

**Kekakuan bending komposit sandwich**

Dari hasil perhitungan persamaan (1) menurut standar ASTM C-393 diperoleh besarnya kekakuan bending eksperimen seperti pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11: Kekakuan bending eksperimen

Dari grafik Gambar 11 menunjukkan bahwa penambahan tebal core pada komposit sandwich serat sabut kelapa acak-polyester mengalami kenaikan kekakuan bending. Kekakuan bending paling rendah terjadi pada tebal core 20 mm, sedangkan kekakuan bending paling tinggi terjadi pada tebal core 40 mm, hal ini sebanding rumus pada persamaan (2) bahwa kekakuan bending secara analitis berbanding lurus dengan pangkat tiga tebal core (Sigve Takle, 2003):

$$D = \frac{E_s t_s^3}{6} + \frac{E_s t_s d^2}{2} + \frac{E_c t_c^3}{12} \tag{2}$$

Dimana:  $E_s$  = Modulus elastisitas skin;  $E_c$  = Modulus elastisitas core;  $t_s$  = tebal skin;  $t_c$  = tebal core; dan  $d = t_s + t_c$  adalah jarak antara pusat skin.

Seperti terlihat pada Gambar 11, kekakuan bending eksperimen rata-rata pada komposit sandwich dengan tebal core 20 mm sebesar 131.9 MN.mm² lebih rendah dari tebal core 30 mm dengan kekakuan bending rata-rata sebesar 134.4 MN.mm². Sedangkan pada

komposit *sandwich* dengan tebal *core* 40 mm kekakuan eksperimennya sebesar 136.2 MN.mm<sup>2</sup> mengalami kenaikan lagi dari tebal 30 mm tetapi selisih kenaikannya kecil, Secara umum dari grafik hubungan antara kekakuan *bending* (D) dengan tebal *sandwich* (*d*) serta berbagai uraian di atas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa besarnya kekakuan *bending* rata-rata (MN.mm<sup>2</sup>) pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan sebanding dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

### KESIMPULAN

Dari data-data dan hasil perhitungan yang diperoleh dari pengujian *bending* TPB dan FPB komposit *sandwich* serat *sabut kelapa-polyester* dengan *core* kertas kardus, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kekakuan *bending* rata-rata paling tinggi ditemukan pada tebal *sandwich* 50 mm (tebal *core* 40 mm) sebesar 136.2 MN.mm<sup>2</sup>. Kekakuan *bending* rata-rata secara eksperimen yang paling rendah ditemukan pada tebal *sandwich* 30 mm (tebal *core* 20 mm) sebesar 131.9 MN.mm<sup>2</sup>.
2. Besarnya kekakuan *bending* rata-rata eksperimen pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan sebanding dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, *Composite Material Handbook*, Volume 3: Polymer Matrix Composite, material usage, design and analysis, Departemen of defense, USA.
- ASTM, 2006 "*Annual Book of ASTM Standard*", 100 Barr Harbor Drive, PO BOX C700, West Conshohocken, United States, Volume 15.03, p.36-39.
- Corigliano, A., Rizzi, E., and Papa, E., 2000, "Experimental characterization and

numerical simulations of a syntactic-foam/glass-fibre composite sandwich", *Journal of Composites Science and Technology*; 60:2169±2180.

- Gibson, L.J., 1984, "Optimization of stiffness in sandwich beams with rigid foam cores". Original Research Article, *Materials Science and Engineering*, Volume 67, Issue 2, p. 125-135.
- Feldman, D., dan Hatomo, J.A., 1995, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, Gramedia Pustaka Utama.
- Hadi, B.K., 2002, *Mekanika Struktur Komposit*, Direktorat P3M Dirjen Dikti Depdiknas, Jakarta.
- Hartomo, A.j., Rusdiarsono, A., Hardianto, D., 1992, *Memahami polimer dan perekat*, Andi Offset. Yogyakarta.
- Mattews, F.L., dan Rowlings, R.D., 1994, *Composite Material Engineering and science*, Chapman and Hall, London.
- Rizov, V., Shipsha, A., Zenkert, D., 2005, "Indentation study of foam core sandwich composite panels", Original Research Article, *Composite Structures*, Volume 69, Issue 1, p.95-102.
- Sigve Takle, 2003, "Experimental and Numerical Studies of Impact Behaviour of GRP Reinforced Composite Sandwich Materials", *Thesis of Department of Mathematics, Mechanics Division, University of Oslo*.
- Zainuri, A., 2009, "Studi Akurasi Kekakuan *Bending* Antara Metode Analitis Dan Metode Pendekatan Pada Komposit *Sandwich*", *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Mataram*, p. 402-409.