

# Analisa Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Dengan Variasi Ketebalan Inti (*core*) *Polyurethane*

Pramaditya Ardiyanto, Wahyu Wijanarko, dan Putu Suwarta  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: putu\_suwarta@me.its.ac.id

Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun *non-struktural* bagian internal dan eksternal pada pesawat, konstruksi, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh ketebalan tebal *core* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich glass fiber reinforce plastic* (GFRP) dengan *core polyurethane* dan model kegagalan komposit *sandwich*. Penggunaan *polyurethane* sangat baik dalam proses peredaman getaran ataupun pada penyerapan energi sedangkan GFRP memiliki kestabilan dimensi yang baik, tahan terhadap bahan kimia, isolator listrik yang baik, mampu dibentuk dengan baik, cocok untuk produksi massal dengan berbagai proses produksi, dan rasio kekakuan yang cukup tinggi. Penggabungan kedua bahan tersebut dapat menghasilkan material yang kuat, kaku, ringang, dan tahan terhadap korosi.

Dengan penambahan *core polyurethane* didapatkan hasil bahwa nilai kekuatan *bending* mengalami penurunan seiring dengan penambahan inti *polyurethane*, untuk menghasilkan kekuatan *bending* maksimal adalah pada tebal inti 2 mm sebesar 59,595 Mpa. Dengan penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami peningkatan nilai kekakuan seiring dengan penambahan inti *polyurethane*, untuk menghasilkan kekakuan *bending* maksimal adalah pada tebal inti 8 mm sebesar  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$ . Sedangkan kegagalan yang nampak pada ketebalan inti *polyurethane* 2 mm dan 5 mm adalah *micro buckling* dan pada ketebalan inti *polyurethane* 8 mm kegagalan komposit *sandwich* didominasi oleh *facesheet debonding*.

**Kata Kunci :** Komposit *Sandwich*, GFRP, *Polyurethane*, Tebal *Core*, Pengujian *Bending*.

## I. PENDAHULUAN

Istilah komposit diartikan sebagai penggabungan dua material atau lebih secara "makroskopis". Makroskopis sendiri menunjukkan bahwa material pembentuk dalam komposit masih terlihat seperti aslinya, suatu hal yang berbeda dengan penggabungan dalam alloy (paduan), yang material pembentuknya sudah tidak terlihat lagi. Salah satu jenis material komposit yang digunakan pada industri transportasi adalah komposit *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* terdiri dari dua kulit (*skin*) permukaan dengan material inti (*core*) yang berada di antaranya. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai *struktural* maupun *non-struktural* bagian internal

dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

I Made Astika [1] melakukan penelitian mengenai kekuatan tarik komposit serat kaca dengan matriks polyester. Serat kaca yang digunakan berbentuk CSM (*Chopped Strand Mat*) dan WR (*Woven Roving*). Variabel yang divariasikan adalah fraksi volume serat dalam komposit. Perbandingan antara matriks dengan serat adalah 60:40, 68:32, 76:24. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk WR menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk CSM.

Veindra habrian [4] melakukan percobaan dengan komposit *sandwich core spon* dan didapat hasil Kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *core spon* semakin menurun seiring dengan penambahan tebal *core spon*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm dan Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan *core spon* semakin naik seiring dengan penambahan tebal *core spon*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 9 mm.

Istanto, dkk [3] Berdasarkan analisis hasil uji *bending* komposit GFRP (*skin*) dengan variasi orientasi serat, kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada *skin* dengan orientasi serat [(0/90)<sub>4</sub>] sebesar 266,62 MPa. Hal ini disebabkan oleh factor orientasi serat yang searah beban. Momen maksimum dan kekuatan *bending skin* dengan orientasi serat [(0/90)<sub>4</sub>] memiliki harga yang paling tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh ketebalan tebal *core* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich glass fiber reinforce plastic* (GFRP) dengan *core polyurethane* dan model kegagalan komposit *sandwich*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pembuatan Komposit

Penelitian diawali dengan proses pemotongan *polyurethane* dengan variasi ketebalan 2mm, 5mm, dan 8mm. Kemudian dilanjutkan dengan membuat komposit *sandwich* dengan perbandingan fraksi volume *woven WR600* dengan resin *polyester* Yukalac 157 BTQN-EX 32 : 68 utuk bagian kulit. Proses pembuatan menggunakan metode *hand lay up*, dengan susunan [(0/90)<sub>4</sub>], PU(2mm, 5mm, 8mm), Pada bagian kulit terdiri dari 4 lapisan *woven roving* dan polyester dan [(0/90)<sub>4</sub>]. Proses *curing* dilakukan selama  $\pm 24$  jam. Hasil cetakan dipotong sesuai ukuran untuk specimen *bending* ASTM C 393 dan ASTM D 790M menggunakan *cutting wheel* / gerinda tangan.

B. Pengujian *bending* Komposit Sandwich

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

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots\dots\dots(1)$$

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

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)E} \dots\dots\dots(2)$$

Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan permukaan yang sama menurut ASTM C 393, adalah :

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \dots\dots\dots(3)$$

Pada pengujian *bending* dengan metode *three point bending* digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM D790M, yaitu :

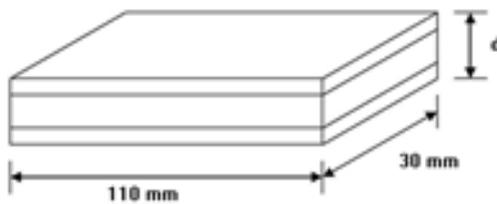
$$S = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \dots\dots\dots(4)$$

Prosedur pengujian *bending* adalah sebagai berikut:

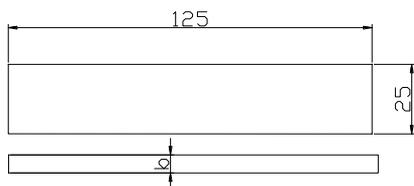
1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Memasang spesimen pada bentangan/*span*.
3. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
4. Pencatatan data yang didapatkan berupa kekuatan *bending* dan defleksi.
5. Perhitungan karakteristik *bending*.



Gambar 1. konfigurasi spesimen *sandwich*



Gambar 2 . Bentuk dan dimensi uji *bending* C 393



Gambar 3. Spesimen uji *bending* D790M (dimensi dalam mm)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian Tarik skin Komposit Sandwich

Dari spesimen yang data diatas, maka didapat rata-rata *modulus* elastisitas permukaan (E) dari *skin* dengan tebal 2 mm adalah 27.450 MPa. *Modulus* elastisitas ini digunakan untuk menghitung kekakuan *bending* pada masing – masing variasi spesimen.

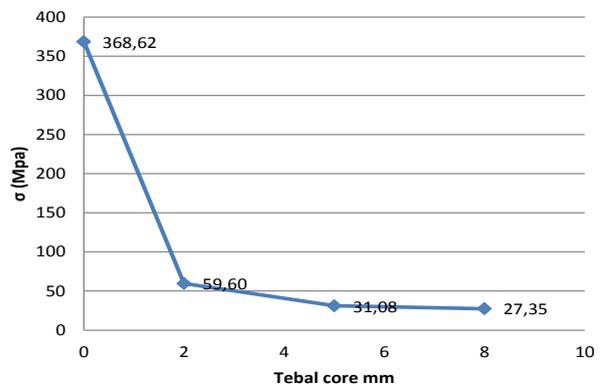
B. Hasil Pengujian *bending* Komposit Sandwich

Dari gambar 5 dapat dilihat grafik tegangan *bending* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami penurunan nilai tegangan *bending* seiring dengan penambahan tebal inti *polyurethane*. Pernyataan tersebut berdasarkan pada ASTM C 393 mengenai *facing bending stress* dan D790M untuk pengujian tanpa *core*.

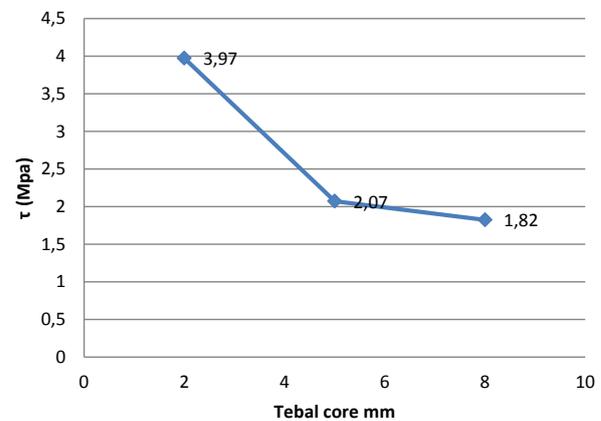
Tegangan *bending* rata-rata komposit 8 lapis GFRP adalah 368,62 Mpa jauh melebihi tegangan komposit *sandwich* dengan *core polyurethane*. Tegangan *bending* rata-rata pada komposit *sandwich* dengan tebal inti 2 mm adalah 59,595 Mpa , sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal inti 5 mm adalah 31,0807 Mpa atau lebih rendah 47,84% dari tebal inti 2 mm. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm tegangan *bending* rata-ratanya adalah 27,352 MPa atau turun sebesar 11,99% dari tebal inti 5 mm dan turun sebesar 54,11% dari tebal inti

Tabel 1 Hasil Uji Tarik Komposit Hibrida *Sandwich*

No	b (m)	ΔL (m)	P (N)	A0 (m2)	L0 (m)	ε (%)	σ (Mpa)	E tarik (Mpa)
1	0,03	0,002	9700	0,00006	0,36	0,006	161,67	29100
2	0,03	0,002	8600	0,00006	0,36	0,006	143,33	25800



Gambar 4. Perbandingan tegangan *bending* terhadap tebal *core* komposit *sandwich*



Gambar 5 Perbandingan tegangan geser inti terhadap tebal *core* komposit *sandwich*

2mm. Jadi semakin tebal inti *polyurethane* yang digunakan , tegangan *bending* pada komposit *sandwich* justru semakin menurun

Kekutan *bending* komposit *sandwich* pada prinsipnya dihasilkan oleh *skin* semakin tebal *core* yang digunakan jarak antara kedua *skin* akan semakin jauh, sehingga kekuatan *skin* akan dipengaruhi oleh ketebalan *core*. Pada *core* 2 mm memiliki nilai terbesar dikarenakan kedua *skin* bekerja bersama saat menerima beban *bending*. Dan pada *core* 8 mm *skin* bagian atas akan rusak terlebih dahulu oleh beban kompresi sedangkan *skin* bagian bawah akan rusak oleh beban tarik setelah melewati dari ketebalan *core*. Faktor lain yang mempengaruhi semakin menurunnya tegangan *bending* ini dikarenakan dimensi komposit *sandwich* yang semakin besar. Semakin tebal inti yang digunakan, dimensi komposit *sandwich*-nya akan semakin besar. Dimensi yang besar akan menyebabkan bertambah besar momen inersianya. Hal ini dapat ditunjukkan pada rumus momen inersia yaitu  $\frac{1}{12}b.h^3$ , di mana *b* adalah lebar *sandwich* dan *h* adalah tebal *sandwich*. Semakin tebal *core* yang digunakan, maka faktor *h* akan semakin besar pula pengaruhnya sedangkan rumus dasar tegangan *bending* adalah  $\sigma = \frac{Mc}{I}$ , dimana *I* adalah momen inersia. Maka tegangan (kekuatan) *bending*nya akan semakin kecil karena berbanding terbalik dengan momen inersianya.

Dari gambar 5 dapat dilihat grafik tegangan geser inti vs tebal *core* menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami penurunan nilai tegangan geser pada *interface* inti dengan *skin* komposit *sandwich* seiring dengan penambahan inti *polyurethane*. Pernyataan tersebut berdasarkan persamaan 2.16 ASTM C 393 mengenai *core shear stress*.

Tegangan geser rata-rata pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm adalah 3,973 MPa, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 5 mm adalah 2,072MPa atau lebih rendah 47,84% dari tebal *core* 2 mm. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm nilai tegangan geser sebesar 1,823 Mpa atau turun sebesar 12,01% dari tebal *core* 5 mm dan turun sebesar 54,11% dari tebal *core* 2mm. Sama dengan tegangan *bending*, pada tegangan geser inti juga menunjukkan semakin tebal *core polyurethane* yang digunakan , tegangan geser inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* justru semakin menurun.

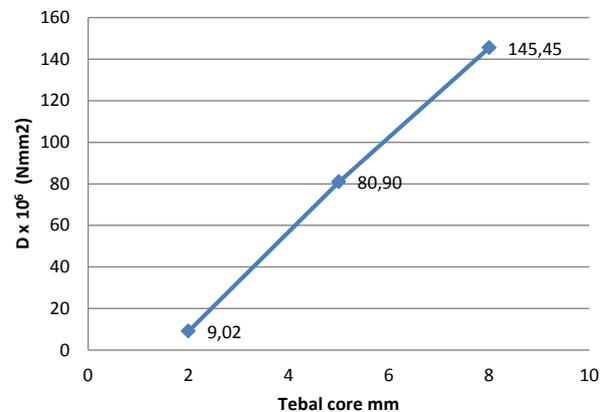
Hal ini juga diakibatkan karena semakin besar dimensi pada *core* maka tegangan gesernya akan semakin kecil, karena ketika *core* tipis tegangan geser yang diterima akan dibantu oleh *skin* sehingga nilainya menjadi tinggi. Sedangkan semakin tebal maka teangan geser akan di tumpu oleh *core* itu sendiri. dimensi benda uji juga sebagai pembagi dari besarnya beban yang diberikan pada benda uji tersebut. Untuk mencari besarnya tegangan geser pada *core (core shear stress)* dapat dihitung dengan persamaan 2.16 ASTM C 393

Dari gambar 6 dapat dilihat grafik kekakuan vs tebal *core* menunjukkan bahwa pada penambahan tebal *core polyurethane* pada komposit *sandwich* serat WR -polyester, mengalami peningkatan nilai kekakuan komposit *sandwich* seiring dengan penambahan *core polyurethane*. Berdasarkan pada persamaan 2.18 ASTM C 393 mengenai *panel bending stiffness*.

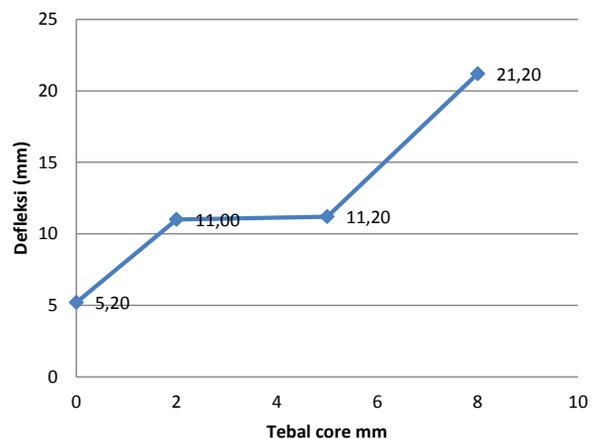
Pada tebal *core* 2 mm, kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $16,846 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  sedangkan pada tebal *core* 5 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $80,897 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  atau lebih tinggi 79,17 % dari rata-rata kekakuan *bending* dengan tebal *core* 2, sedangkan dengan tebal *core* 8 mm memiliki nilai kekakuan sebesar  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$ , rata-rata kekakuan *bending*nya meningkat 44,38% dari tebal *core* 5 mm dan meningkat tajam dibandingkan dengan tebal inti 2mm yaitu sebesar 88,41%. Secara umum dari grafik hubungan antara kekakuan *bending* ( $\text{Nmm}^2$ ) dengan tebal *core* (mm) diperoleh kesimpulan bahwa besarnya kekakuan *bending* rata-rata ( $\text{Nmm}^2$ ) pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

Namun dilihat dari gambar 7 mengenai tebal inti komposit *sandwich* vs defleksi menunjukkan *trend* yang berbanding terbalik dibandingkan grafik kekakuan komposit *sandwich*. Semakin tebal inti *polyurethane* maka nilai defleksi dasi spesimen komposit *sandwich* semakin tinggi.

Pada gambar 8 terlihat bahwa komposit tanpa *core* memiliki nilai defleksi sebesar 5,2 mm atau lebih rendah 52,72 % dari ketebalan 2mm. Sedangkan pada ketebalan Pada tebal *core* 2 mm defleksi rata-ratanya adalah 11 mm , sedangkan pada tebal *core* 5 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah 11,2 mm atau lebih tinggi 1,81 % dari rata-rata kekakuan *bending* dengan tebal *core* 2, sedangkan dengan tebal *core* 8 m memiliki nilai kekakuan sebesar 21,2 mm, rata-rata kekakuan *bending*nya meningkat 47,16% dari



Gambar 6 Perbandingan kekakuan *bending* terhadap tebal *core* komposit *sandwich*



Gambar 7 Perbandingan defleksi terhadap tebal *core* komposit *sandwich*

tebal *core* 5 mm dan meningkat dibandingkan dengan tebal inti 2mm yaitu sebesar 48,11%. Secara umum dari grafik hubungan antara defleksi dengan tebal *core* (mm) diperoleh kesimpulan bahwa besarnya defleksi pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

### C. Hasil Pengamatan Patahan Spesimen Uji Bending

Gambar 8 menunjukkan kegagalan pada pengujian *bending* komposit *sandwich* dengan masing-masing tebal *core* yang berbeda. Ketika diuji *bending*, semua titik pada spesimen akan mengalami tegangan yang besarnya berbeda. Pada umumnya komposit *sandwich* menerima tekan/kompresi pada *skin* bagian atas, tegangan geser pada bagian *core*, dan tegangan tarik pada bagian *skin* bawah. Kegagalan pada komposit *sandwich* sering terjadi dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Bagian inti komposit *sandwich* pada saat menerima gaya mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami seringkali melebihi tegangan geser yang mampu ditahan oleh inti tersebut, sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit.

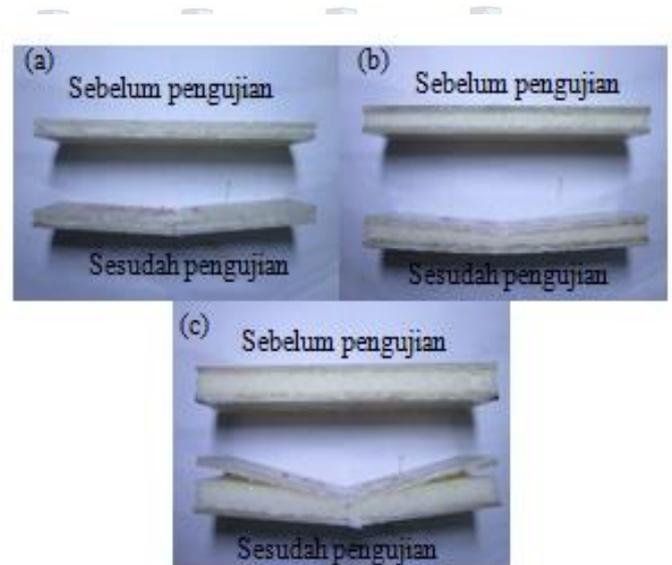
Material *Polyurethane* mengalami kegagalan tipe *shear core* karena tegangan geser terjadi yang sudah melewati tegangan geser ijin material *core* itu sendiri, yang memiliki nilai sebesar 0,7 Mpa. Ketika inti sudah mengalami kerusakan, maka kemampuan material komposit *sandwich* untuk menerima tegangan bending akan berkurang sehingga tegangan ini akan lebih banyak diderita oleh *skin*. kemampuan menahan beban pada *skin* cukup baik, ini dikarenakan sifat *skin* yang cenderung keras dan getas sedangkan *polyurethane* memiliki sifat yang *elastis*. Pada pengujian bending bahan komposit, spesimen tidak patah seperti pada pengujian bending bahan tanpa menggunakan penguat (*reinforce*), hal ini dikarenakan struktur bahan komposit tidak homogen karena tersusun dari serat dan matriks yang diakibatkan beban didistribusikan dimasing laminae penyusun komposit dan didukung oleh penggunaan serat jenis WR yang berbentuk seperti anyaman.

### D. Hasil Pengamatan Makro Patahan Spesimen Uji Bending

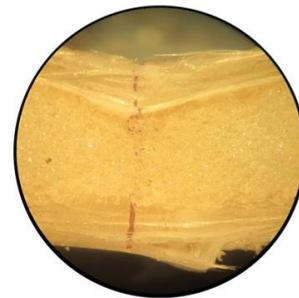
Pada pengujian *three point bending*, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik di bagian bawah. Terlihat dari gambar 10 dan gambar 11 pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 dan 5 mm terlihat mekanisme kegagalan secara keseluruhan dari komposit *sandwich* berupa *micro buckling*. *micro buckling* disebabkan oleh ikatan yang baik antar lamina penyusun komposit *sandwich* dilihat dari ikatan matrik (polyester) dengan *reinforce* (fiber) dan ikatan antara kulit dan inti komposit *sandwich*. Hal tersebut ditunjukkan dengan bentuk patahan komposit *sandwich* secara rata pada permukaannya dengan

Dari gambar 9, pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm terlihat mekanisme kegagalan dari komposit *sandwich* didominasi oleh *facesheet debonding*. *facesheet debonding* adalah terjadinya delaminasi antara inti dan kulit, dan hampir terjadi pada seluruh spesimen uji dengan tebal inti 8mm. Delaminasi antara inti dan kulit memperlihatkan bahwa nilai  $\tau$  *core* yang kecil menyebabkan interface tidak mampu menerima beban geser. Berbeda dengan dua variasi ketebalan sebelumnya tegangan geser

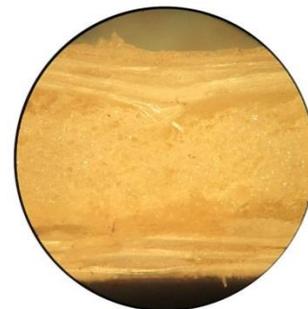
*core* masih mampu menahan tegangan geser yang diterima benda uji.



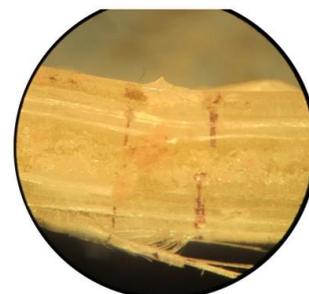
Gambar 8 (a) spesimen 2mm sebelum dan sesudah pengujian bending (b) spesimen 5mm sebelum dan sesudah pengujian bending (c) spesimen 8mm sebelum dan sesudah pengujian bending



Gambar 9 Foto makro patahan spesimen sandwich core 8mm



Gambar 10 Foto makro patahan spesimen sandwich core 5mm



Gambar 11 Foto makro patahan spesimen sandwich core 2mm

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan rangkaian pengujian dan analisa data, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan *bending* komposit *sandwich* dengan *core polyurethane* semakin menurun seiring dengan penambahan tebal *core polyurethane*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm, nilai tegangan *bending* rata-ratanya adalah 59,595 MPa sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm tegangan *bending* rata-ratanya adalah 27,325 Mpa atau turun sebesar 54,11%. . . Disebabkan oleh perbedaan dimensi *core* yang menyebabkan perbedaan penerimaan tegangan *skin* atas dan bawah. Dan pengaruh moment inersia dari rumus umum tegangan *bending*.
2. Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan *core polyurethane* semakin naik seiring dengan penambahan tebal *core polyurethane*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm, kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $16,846 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  atau meningkat sebesar 88,41%. Namun ditinjau dari nilai defleksinya berbanding terbalik dari nilai kekakuan. Hal tersebut dikarenakan faktor karakteristik dari *foam core* yang elastis.
3. Kegagalan komposit *sandwich* didominasi oleh *micro buckling* pada ketebalan *core* 2 mm dan 5 mm. Sedangkan pada ketebalan *core* 8 mm kerusakan didominasi oleh *face debonding*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada kedua orang tua penulis serta keluarga besar jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya yang telah memberikan banyak pelajaran berharga kepada penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [ 1 ] **Astika, I.M.**, Studi Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah Pada Komposit Dengan Serat WR dan CSM, Tesis, Jurusan Teknik Mesin ITS (2007).
- [3] **Istanto dkk**, OPTIMASI PENGARUH ORIENTASI SERAT DAN TEBAL *CORE* TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN *BENDING* DAN IMPAK KOMPOSIT *SANDWICH* GFRP DENGAN *CORE* PVC, PS Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
- [4] **Harbrian, Viendra**, Pengaruh Ketebalan Inti (*core*) Terhadap Kekuatan *Bending* Kompisit *Sandwich* Serat E-glass Chopped Strand Mat-Unsaturated Polyester Resin Denfan Inti Spon, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (2007)
- [8] Gurit. (2014). "Guide to Composite" <URL: <http://www.gurit.com/files/documents/guide-to-compositesv5webpdf.pdf>>
- [13] **Carlsson, and G.A. Kardomates** "structural failure mechanics of composit sandwich" 2010
- [15] **Sandy, N.P**, Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume *Hollow Glass Microsphere* Komposit Hibrid *Sandwich* Terhadap Karakteristik

Tarik Dan Bending, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin ITS (2013)

- [16] Annual Book of ASTM Standards, D 790M-84, *Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)*, American Society for Testing and Materials (1984).
- [17] ASTM, 1998, *Annual Book of ASTM Standart* Section 4, Vol.13, ASTM, New York, C 393 – 94.