

PENGARUH PENGUATAN *POLYURETHANE RIGID FOAM* DENGAN *SQUARE CELLS* TERHADAP TEGANGAN BENDING DAN TEKAN PANEL SANDWICH SEBAGAI BAHAN LAMBUNG HALUAN PERAHU

Agus Dwi Catur¹, Kahar Musakar², Sinarep³, Sukartono⁴

^{1,2,3,4}Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram

Email: agus_dc1@yahoo.co.id

Abstrak

Pada studi ini komposit sandwich yang diuji diperuntukkan sebagai bahan lambung haluan perahu. Komposit sandwich dengan core yang dikuatkan dibuat, diuji tekan dan bending untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran penguat core terhadap kekuatan tekan dan bending komposit sandwich. Core berupa polyurethane rigid foam yang diperkuat dengan square cells kertas buffalo yang telah dikeraskan dengan polyester. Ukuran panjang sisi square cells divariasikan: 10 mm, 20 mm, 27 mm dan 40 mm. Komposit sandwich ini dibuat dengan metode cetak tangan (*hand lay up*) kemudian diuji bending metode pembebanan tiga titik (*three point bending*) dan uji tekan. Penguatan core dengan square cells menambah kekuatan tekan dan bending komposit sandwich.

Kata kunci: *bending; core; komposit; sandwich; tekan*

Pendahuluan

Dalam pengoperasiannya perahu kecil dapat menabrak sampah terapung di laut seperti ranting pohon dan sampah organik lainnya atau bahkan menabrak karang. Bagian yang mempunyai peluang terbesar menabrak adalah lambung kapal bagian haluan. Ketika tabrakan terjadi sejumlah energi kinetik perahu berubah menjadi energi tabrakan yang diserap oleh lambung perahu yang terkena tabrakan. Energi itu membuat rusak lambung perahu yang tertabrak. Selama tabrakan bahan lambung perahu menahan gaya tabrakan yang bervariasi. Gaya tabrakan ini tergantung pada kemampuan menahan dari elemen penyusun bahan yang dihancurkan oleh benda penabrak.

Komposit dapat digunakan sebagai bahan alternatif atau bahan pengganti material logam yang mempunyai keunggulan tersendiri antara lain mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang cukup baik, tahan terhadap korosi (Porwanto, 2003). Komposit telah digunakan secara luas dalam beberapa industri yang membutuhkan suatu konstruksi yang ringan dan kaku antara lain konstruksi lambung kapal, pesawat terbang, bodi mobil, kereta api, dan lain sebagainya.

Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Banyak variasi definisi dari komposit *sandwich*, tetapi faktor utama dari material tersebut adalah *core* yang ringan sehingga memperkecil berat jenis dari material tersebut serta kekuatan lapisan *skin* yang memberikan kekuatan pada komposit *sandwich* (Prasetyo, 2010).

Menggunakan komposit *sandwich* menguntungkan untuk daya apungnya karena berat jenis komposit *sandwich* sangat kecil bahkan lebih kecil dari berat jenis kayu. Berat jenis komposit *sandwich* berbahan *fiberglass* - strip bambu - *polyester* dengan *core polyurethane foam* berkisar antara 0,0971 – 0,3921 gr/cc, lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis rata-rata kayu 0,6 gr/cc (Agus D.C., 2014). Namun penggunaan komposit *sandwich* konvensional tanpa penguatan *core* untuk lambung perahu bukannya tanpa masalah. Problem yang dihadapi ketika memakai bahan komposit *sandwich* tanpa penguatan *core* adalah material ini tidak dapat menahan tekanan, tabrakan dan *impact*. Hal ini disebabkan *core* tidak mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi saat menerima tekanan arah *flat*.

Penguatan *core* dilakukan oleh Asintha Nanayakkara, Stefanie Feih dan Adrian P Mouritz (2012) dengan *z-pin*. *Z-pin* yang terbuat dari T300 *carbon/bismaleimide* berdiameter 0,28 mm disisipkan pada *core* dengan material *closed-cell polymethacrylimid foam*. Uji kompresi arah *flat* pada komposit *sandwich* menghasilkan kekuatan tabrakan. Modulus elastisitas dan kapasitas penyerapan energi meningkat 260 – 300 % dibanding sebelum dikuatkan dengan *z-pin*. Walaupun demikian *z-pin* tidak memperbaiki kekuatan tabrakan, modulus elastisitas dan kapasitas penyerapan energi pasca *impact*.

Penelitian yang mempelajari karakteristik komposit *sandwich* dengan penguatan yang diberi gaya uniaksial juga telah dilakukan oleh Frederick Laurin and Anthony J. Vizzini, 2005. Dalam kasus tabrakan pada komposit *sandwich* dengan *core* yang belum dikuatkan, gaya penabrak dapat konstan pada rentang *displacement* yang sangat terbatas. Setelah *core* dikuatkan dengan lapisan tipis tegak *graphite fiber – epoxy*, gaya yang ditahan oleh

komposit menjadi meningkat sangat bervariasi terhadap *displacement* melintang komposit *sandwich*. Demikian juga jika *core* dikuatkan dengan *graphite fiber – epoxy*, struktur *sandwich* menyerap energi normal dengan lebih meningkat.

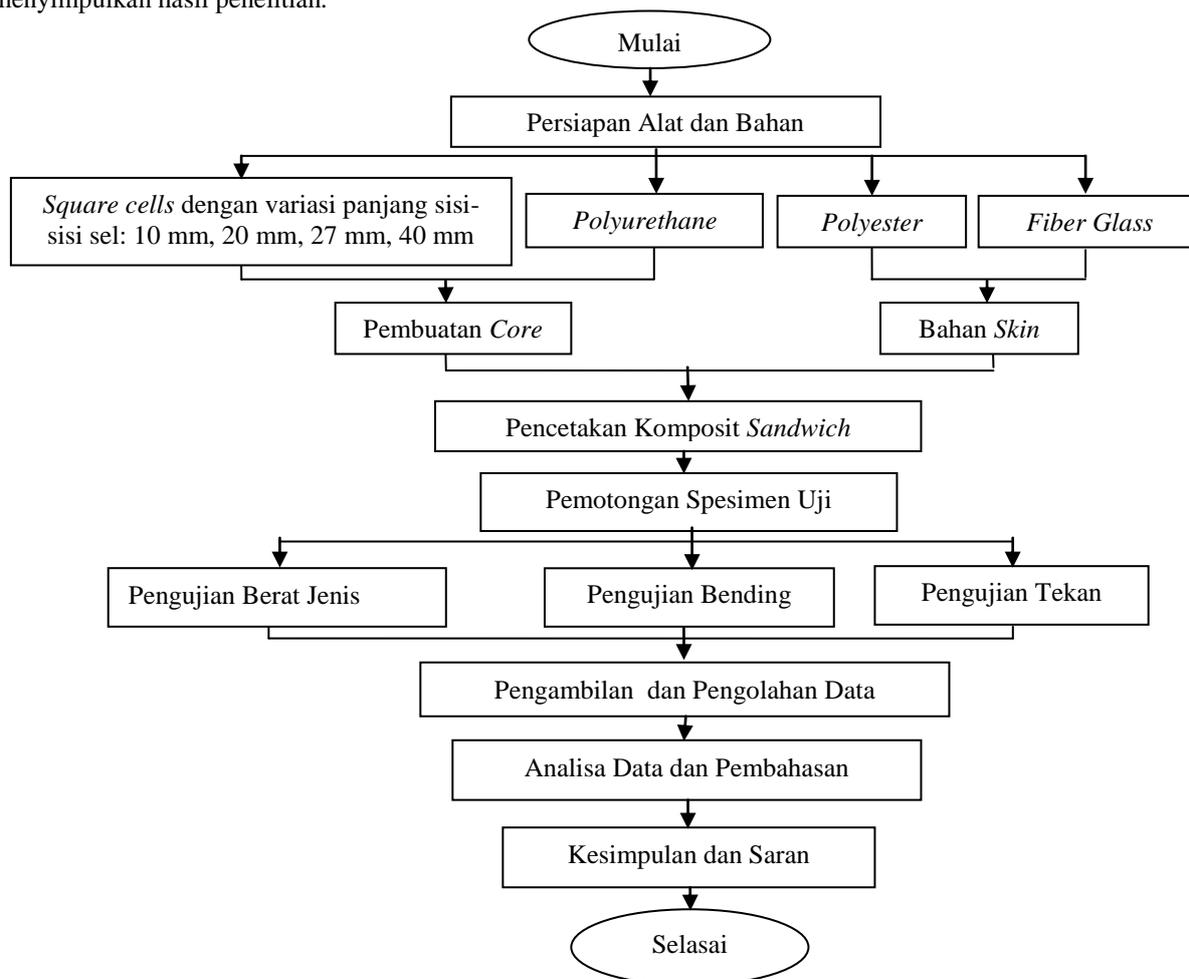
Beberapa bentuk penguatan yang disisipkan pada *core* tanpa banyak menambah berat komposit *sandwich* yang dikembangkan oleh para peneliti adalah penguat berbentuk tenunan, jahitan, bundelan, pasak dan strip (Asintha Nanayakkara dkk, 2012). Namun bahan penguat dan metode produksinya memerlukan peralatan yang rumit dan biaya produksi yang tinggi. Solusi yang dapat dikembangkan untuk mengatasi problem tersebut adalah dengan menambahkan penguat pada *core* dengan bahan yang murah dan mudah dalam pemrosesanya.

Kertas buffalo bekas yang dikeraskan dengan *hardened polyester* pernah dibentuk menjadi *honeycomb* dan dikeraskan kemudian dipakai sebagai *core* pada komposit *sandwich*. Berat jenis komposit *sandwich* dengan *core* kertas bekas, kulit komposit dari *polyester* tak jenuh, penguat serat sisal dan filler dari *flyash* lebih kecil dibanding dengan berat jenis kayu atau produk kayu (Agus,D.C., 2009). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah-limbah kertas dapat dijadikan bahan pengganti penguat *core* yang memiliki massa jenis yang lebih rendah. Dibandingkan dengan penguat *core* dari tenunan, jahitan, bundelan, pasak dan strip dari serat sintetis. Ketersediaan kertas bekas sangat mudah diperoleh dan harga relatif murah dan mampu mengurangi pencemaran lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penggunaan limbah kertas sebagai bahan penguat *core* pada komposit *sandwich* merupakan solusi kreatif untuk mendukung perkembangan teknologi komposit *sandwich* yang ramah lingkungan. Pengaruh penambahan *square cells* berbahan kertas *buffalo* pada *polyurethane rigid foam* sebagai *core* komposit *sandwich* terhadap tegangan tekan dan bending dipelajari pada tulisan ini.

Metode Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada diagram alir gambar 1, meliputi: persiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen, pengujian berat jenis, kekuatan *bending*, kekuatan tekan komposit *sandwich*, menganalisa data dan menyimpulkan hasil penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pembuatan Spesimen

Bahan dasar pembuatan *square cells* menggunakan limbah kertas *buffalo*. Kertas *buffalo* dipotong dengan lebar 25 mm. Kertas selanjutnya dirakit (gambar 2a) menjadi *square cells* dengan 4 variasi panjang sisi *cells* yang berbeda: 10 mm, 20 mm, 27 mm dan 40 mm. Setelah proses perakitan selesai, *square cells honeycomb* diperkeras dengan cara mencelupkannya ke dalam *hardened polyester* (gambar 2b), selanjutnya ditiriskan agar ketebalan *polyester* tidak tebal dan bisa seragam (gambar 2c). Proses pengeringan dan pengerasan (*curing*) *square cells* berlangsung selama 4 hari.



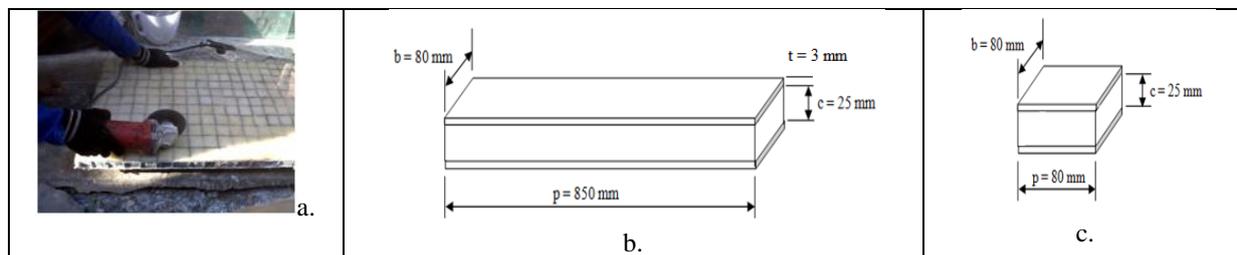
Gambar 2 Proses pembuatan komposit sandwich

Setelah *square cells* mengeras, dilanjutkan dengan proses pengecoran (*casting*) *polyurethane* ke dalam *square cells*. Bahan pengisi *square cells* berupa *polyurethane foam* yang dibuat dari mencampurkan dua komponen pembentuk *polyurethane foam*. Pada tahap ini cairan *polyurethane* dimasukkan ke dalam semua sel-sel pada *square cells*. Setelah cairan *polyurethane* mengembang dan mengeras, selanjutnya permukaan hasil proses *casting* diratakan menggunakan *cutter* (gambar 2d) sesuai dengan ketebalan *core* yang telah ditentukan dan selanjutnya diampelas sehingga diperoleh permukaan *core* yang lebih rata (gambar 2e).

Proses pembuatan (pencetakan) komposit *sandwich* dilakukan dengan melapisi *core* dengan *skin*. *Skin* komposit *sandwich* berupa komposit *fiberglass*. Komposit ini menggunakan matrik *unsaturated polyester* dengan penguat serat *E-fiberglass* merek FANTALON tipe *woven roving* dengan berat 200 gram/m². *Skin* komposit dicetak langsung di atas *core*. *Woven roving fiberglass* digelar diatas *core* yang sudah rata. *Hardened unsaturated polyester* dituangkan di atas *woven roving fiberglass* dan diratakan. *Hardened Unsaturated polyester* merupakan resin *polyester* merek YUCALAC 157 BTQN-EX yang telah dicampur dengan *hardener* jenis metil etil keton merek mepoxe dengan perbandingan 99:1. Sedangkan fraksi volume *Woven roving fiberglass* terhadap komposit *skin* adalah 30 %.

Pencetakan *skin* dengan proses *hand lay up* (gambar 2f) dimana *skin* dibuat dengan ditumpukan sebanyak 3 lapis *fiberglass*, secara selang-seling antara lapisan dituangkan resin *hardened polyester*. Proses *curing* pada

komposit *sandwich* berlangsung selama 24 jam. Setelah proses *curing* selesai kemudian dilanjutkan proses pemotongan spesimen (gambar 3a) sesuai dengan standar pengujian yang telah ditentukan. Spesimen uji *bending* sesuai ASTM C393-00 seperti pada gambar 3b, dan spesimen uji tekan sesuai ASTM C365 seperti pada gambar 3c.



Gambar 3 a.Pemotongan spesimen b.Dimensi spesimen *bending* c.Dimensi spesimen tekan

Karakterisasi sifat fisik komposit *sandwich* didasarkan pada ASTM D792-91 untuk mengukur berat jenis komposit. Komposit *sandwich* dipotong dengan ukuran 80 mm x 80 mm x tebal komposit kemudian ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram (gambar 4a). Berat jenis komposit adalah berat komposit dibagi dengan volume komposit, dengan volume adalah panjang kali lebar kali tinggi spesimen komposit *sandwich*.

Prosedur ASTM C 393-00 digunakan untuk menguji kekuatan lengkung komposit. Pada pengujian lengkung diketahui sejauh mana komposit-komposit *sandwich* tersebut mampu menahan beban hingga komposit tersebut patah atau beban lengkung menurun. Spesimen ditempatkan pada penopang *universal testing machine* seri merk control tipe C0820/C dan diuji secara *bending* tiga titik dengan kecepatan simpangan penetrator 5 mm/menit. Pengujian kekuatan lengkung (gambar 4b) dilakukan pada 4 variasi panjang sisi *cells honeycomb* spesimen: 10 mm, 20 mm, 27 mm, dan 40 mm. Beban lengkung dan lendutannya tercatat oleh komputer yang tersambung ke mesin. Beban gagal lengkung spesimen dicatat untuk mengetahui kekuatan *bendingnya*, proses patahnya spesimen diamati untuk mengetahui jenis kegagalannya.

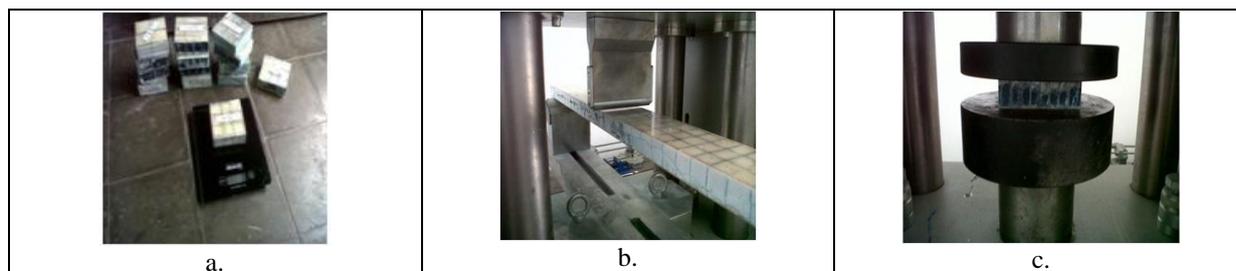
Kekuatan *bending* (*bending strength*) komposit *sandwich* dapat dihitung dengan persamaan pada ASTM nomor C393-00, persamaannya seperti pada persamaan 1.

$$\sigma_b = \frac{PL}{2t(d+c)b} \tag{1}$$

Dimana:

- σ_b = Kekuatan *bending* komposit *sandwich*, Mpa
- P = Beban maksimum *bending* yang diberikan pada komposit *sandwich* ,N
- L = Panjang *span*, mm
- t = Tebal *skin*, mm
- p = Panjang komposit *sandwich*, mm
- d = Tebal komposit *sandwich*, mm
- c = Tebal *core*, mm
- b = Lebar komposit *sandwich*, mm

Pengujian kekuatan tekan (gambar 4c) dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* merk control tipe C0820/C dengan kecepatan simpangan penetrator 5 mm/menit pada 4 variasi panjang sisi *cells honeycomb* spesimen: 10 mm, 20 mm, 27 mm, dan 40 mm. Beban tekan dan pemampatan spesimen tercatat oleh komputer yang tersambung ke mesin. Beban gagal spesimen dicatat untuk mengetahui kekuatan tekannya dan proses penekanan diamati untuk mengetahui jenis kegagalannya.



Gambar 4. a.Pengujian berat jenis b. Pengujian lengkung c.Pengujian tekan

Hasil dan Pembahasan

Berat jenis komposit sandwich

Pada penelitian ini dilakukan pengujian berat jenis komposit *sandwich*. Dibawah ini pada tabel 1 adalah data hasil pengujian berat jenis spesimen komposit *sandwich*.

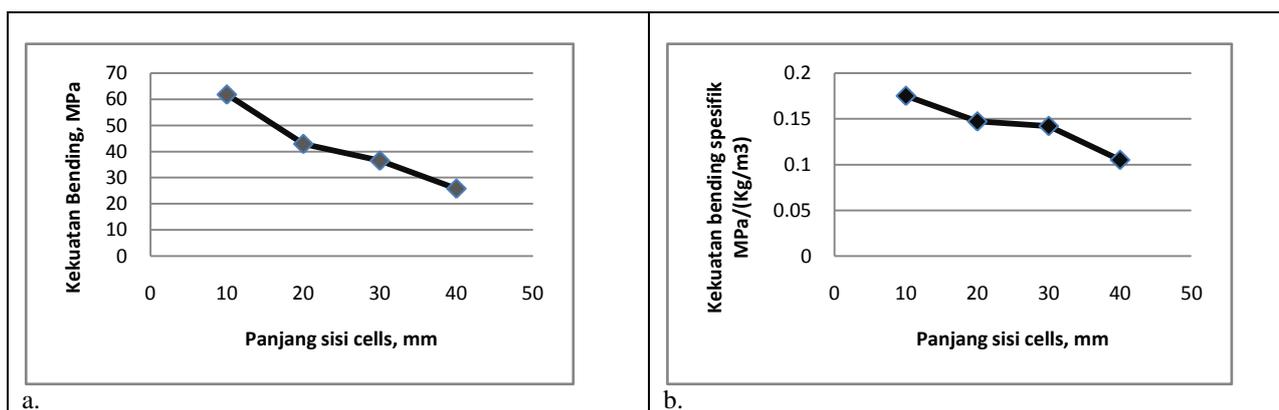
Tabel 1. Data berat jenis spesimen uji *bending* dan spesimen uji tekan komposit *sandwich*

| No | Panjang sisi <i>square cells</i> (mm) | Berat jenis komposit (kg/m ³) |
|----|---------------------------------------|---|
| 1 | 10 | 352,89 |
| 2 | 20 | 292,03 |
| 3 | 27 | 256,67 |
| 4 | 40 | 245,96 |

Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa variasi panjang *cells honeycomb* mempunyai pengaruh terhadap berat jenis komposit *sandwich*. Dimana semakin kecil ukuran panjang *cells* maka berat jenis komposit *sandwich* semakin besar. Meningkatnya berat jenis komposit *sandwich* seiring dengan pengecilan ukuran panjang sisi *square cells* dipengaruhi oleh jumlah kertas yang dikeraskan. Semakin kecil ukuran panjang sisi *square cells* menambah jumlah kertas yang dikeraskan pada luasan *core* yang sama sehingga semakin besar berat jenis kompositnya.

Kekuatan *bending* komposit sandwich

Data-data dari hasil pengujian *three point bending* dimasukkan dalam persamaan (1) sehingga diperoleh besarnya kekuatan *bending*. Nilai kekuatan *bending* komposit *sandwich* diperoleh dari nilai rata-rata tiga hasil pengujian yang dilakukan. Sedangkan kekuatan *bending* spesifik diperoleh dari kekuatan *bending* komposit dibagi dengan berat jenis komposit yang bersangkutan, hasilnya ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5. Grafik kekuatan *bending* rata-rata dan kekuatan *bending* spesifik terhadap variasi panjang *cells honeycomb* komposit *sandwich*

Terlihat dari gambar 5 bahwa kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan beberapa variasi ukuran *square cells* : 10 mm, 20 mm, 27 mm dan 40 mm berturut-turut adalah 61,77 Mpa, 42,90 Mpa, 36,47 Mpa dan 25,76 Mpa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kekuatan *bending* komposit *sandwich* semakin menurun seiring dengan pertambahan ukuran panjang *square cells* yang digunakan pada *core* komposit *sandwich*. Begitu juga dengan kekuatan *bending* spesifiknya mengalami penurunan seiring dengan pertambahan ukuran *square cells*.

Kekuatan tekan komposit sandwich

Data-data dari hasil pengujian berupa gaya tekan maksimum dan luasan penampang flat komposit, kemudian dimasukkan dalam persamaan kekuatan tekan flat sehingga diperoleh besarnya kekuatan tekan. Kekuatan flat merupakan gaya maksimum tekan yang dikenakan pada komposit *sandwich* dibagi dengan luasan flat komposit *sandwich*. Nilai kekuatan tekan komposit *sandwich* diperoleh dari nilai rata-rata tiga hasil pengujian yang dilakukan, hasilnya seperti pada tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kekuatan tekan komposit *sandwich* dengan *core* gabungan antara dengan *polyurethane rigid foam* terjadi penurunan kekuatan tekan seiring dengan penambahan ukuran dari *square cells*. Begitu juga dengan kekuatan tekan spesifiknya mengalami penurunan seiring dengan pertambahan ukuran *square cells*. Secara umum nilai kekuatan tekan suatu komposit *sandwich* sangat berpengaruh pada kekuatan *core*. *Skin* tidak begitu berpengaruh pada besar kecilnya nilai kekuatan tekan dari komposit *sandwich*. Semakin besar

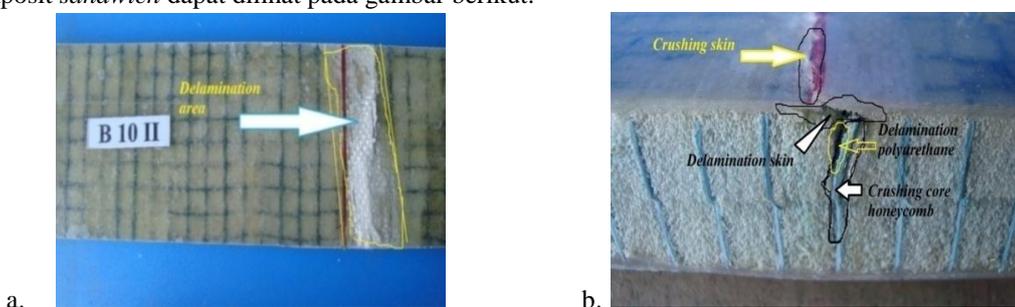
kemampuan suatu material *core* menahan tekanan, maka semakin kuat *core* tersebut menahan beban tekan. Pada pengujian tekan, gaya yang bekerja langsung diteruskan ke *core*. Akibat gaya tersebut *core* mengalami tekanan sehingga *core* mengalami kerusakan (*crushing*).

Tabel 2. Kekuatan tekan komposit *sandwich*

| No | Variasi Cells Honeycomb | Kekuatan Tekan Rata-rata (Mpa) | Kekuatan Tekan Spesifik (Mpa/kg/m3) |
|----|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 10 | 1,957 | 0,005879 |
| 2 | 20 | 0,776 | 0,002619 |
| 3 | 30 | 0,495 | 0,001997 |
| 4 | 40 | 0,476 | 0,002047 |

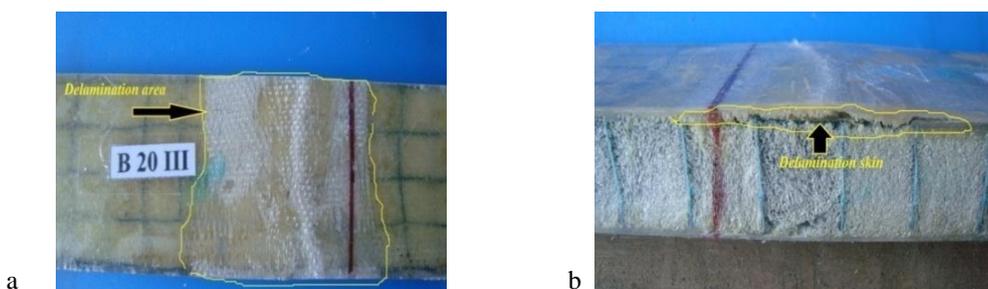
Jenis kegagalan komposit *sandwich*

Kegagalan komposit adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* saat dikenai beban yang melampaui kekuatannya. Kegagalan pada komposit *sandwich* menurut tempatnya terbagi menjadi dua yaitu kegagalan di kulit dan kegagalan bagian inti (*core*). Jenis-jenis kegagalan spesimen uji *bending* untuk semua variasi *core* komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. Kegagalan spesimen bending: a. tampak atas b.tampak samping

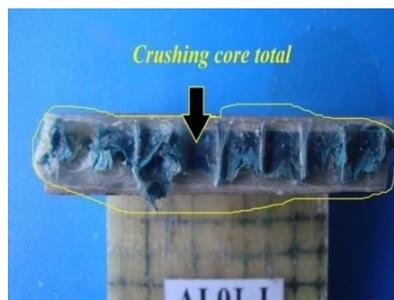
Pada gambar 6 hasil pengamatan menunjukkan terjadinya kegagalan *skin* komposit di daerah tempat pembebanan. Kegagalannya hampir sama terjadi pada semua variasi komposit *sandwich* yaitu *skin* mengalami kerusakan berupa delaminasi (*delamination*). Sedangkan pada bagian *core* terlihat terjadi dua jenis kegagalan berupa kerusakan *core* dan delaminasi antara *square cell* dengan *polyurethane rigid foam*. Tetapi kegagalan *core* itu tidak menyebabkan komposit *sandwich* mengalami patah secara menyeluruh.



Gambar 7 Delaminasi skin yang sangat panjang: a. tampak atas b. tampak samping

Pada gambar 7 hasil pengamatan menunjukkan terjadinya kegagalan pada *skin* komposit terjadi di daerah tempat pembebanan. Jelas terlihat bahwa *skin* mengalami kerusakan delaminasi (*delamination*). Delaminasi yang terjadi begitu meluas. *Skin* terlepas dari *core* untuk daerah yang cukup luas, sedangkan pada bagian *core* tidak terjadi kegagalan.

Kegagalan tekan komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar 8. Kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich* pada pengujian tekan ini untuk semua variasi *cells* secara umum hampir sama yaitu terjadi kerusakan *core* (*crushing core*) secara permanen walaupun beberapa hanya mengalami *buckling* pada *cells*nya.



Gambar 8. Kegagalan tekan komposit *sandwich*

Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Dengan semakin kecil dimensi (ukuran) sel dari *square cells* berat jenis komposit *sandwich* semakin tinggi. Berat jenis komposit *sandwich* yang paling tinggi adalah pada variasi panjang sisi *square cells* 10 mm yaitu sebesar 352,89 kg/m³.
2. Dengan semakin kecil dimensi (ukuran) sel dari *square cells* kekuatan *bending* komposit *sandwich* semakin tinggi. Kekuatan *bending* komposit *sandwich* paling tinggi adalah pada komposit *sandwich* dengan variasi panjang sisi *square cells* 10 mm yaitu sebesar 61,776 Mpa.
3. Dengan semakin kecil dimensi (ukuran) sel dari *square cells* kekuatan tekan komposit *sandwich* semakin tinggi. Kekuatan tekan komposit *sandwich* yang menggunakan *square cells* dengan panjang sisi *cells* 10 mm memiliki kekuatan tekan yang paling tinggi mencapai 1,957 Mpa.
4. Mode kegagalan uji bending berupa delaminasi *skin* dan *crushing* pada *square cells*, sedangkan mode kegagalan uji tekan flat berupa *crushing* pada *square cells*.

Daftar pustaka

- Agus,D.C ., (2009), “Berat Jenis Komposit Sandwich Matrik Polyester Diperkuat Serat Nanas dan Filler Flyash dengan Honeycomb Core dari Kertas Bekas”, *Prosiding Seminar Nasional dan Pameran Hasil-hasil Penelitian*, Lembaga Penelitian Universitas Mataram.
- Anonim, (2006), *Annual Book ASTM Standars “Space Simulation, Aerospace and Aircraft, Composite Materials”*, Vol. 15, No. 03, ASTM Internasional 100 Barr Harbor Drive, West
- Asintha Nanayakkara, Stefanie Feih dan Adrian P Mouritz , (2012), “Experimental impact damage study of a z-pinned foam core sandwich composit”, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 14, halaman 469.
- Courtney, T.H., 2000, *Mechanical Behavior of Materials*, McGraw Hill, Boston.
- Denes, L., Zsolt, K., Elemer, M.,L., Bradley, M., (2008), Investigation of the Compression and Bending Strength of Veneer Polyurethane Foam Composites, *Procedings of the 51 st Internasional Convention of Wood Science and Technology*, Chile.
- Dirjan, M.W., (2013), *Analisa Sifat Kekuatan Bending dan Kekuatan Impact Komposit Sandwich Plastik Bekas diperkuat Serat Sisal dengan Core Bonggol Jagung*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Febriyanto, S., (2011), Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion pada Bahan Uji Komposit Sandwich untuk Aplikasi Kapal bersayap Wise-8, *Jurnal Program Studi Fisika*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok. <http://lontar.uni.ac.id/>. diakses tanggal 5 Maret 2014.
- Frederick Laurin and Anthony J. Vizzini, Maret (2005), Energy Absorption of Sandwich Panels with Composite-Reinforced Foam core, *Journal of Sandwich Structures and Materials* vol 7, hal 113-132.
- Fuady, S., (2014), *Pengaruh Variasi Ketebalan Core Komposit Sandwich Fiberglass-Polyester dengan Core Polyurethane Casting Terhadap Kekuatan Bending, Kekakuan Bending dan Berat Jenis*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.

- Gibson, O.F., (1994), *Principle of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill Inc, New York, USA.
- Kartini, R., (2002), Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer berpenguat Serat Alam, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 3, No. 3, (Juni), hal : 30 – 38., Jurusan Fisika FMIPA, Institut Pertanian Bogor : Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) Serpong, Tangerang. <http://Jusami.batan.go.id>. diakses tanggal 22 Maret 2014.
- Khairurrozikin, A., (2012), *Studi Kekuatan Bending Komposit Sandwich Hibrid Serat Eceng Gondok dan Fiberglass dengan Core Styrofoam bermatrik Polyester*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Pahrurrozi, (2013), *Analisa Sifat Mekanik Komposit Sandwich Hibrid Serat Sisal dan Serat Waru dengan Core Styrofoam bermatrik Polyester*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Porwanto, D.A., (2003), Karakterisasi Komposit berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas sebagai Alternatif Bahan Baku Industri, *Jurnal Jurusan Teknik Fisika*, FTI Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, <http://Jurnal.ITS.ac.id>. diakses tanggal 22 Maret 2014.
- Prasetyo, A.J., (2010), Aplikasi Metode Elemen Hingga (Meh) Pada Struktur Rib Bodi Angkutan Publik, *Jurnal, Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta. <http://core.kmi.open.ac.uk/>. Diakses tanggal 5 Maret 2014.
- Pujiyanto, H., (2010), Analisis Stress pada Panel Komposit Body Angkutan Publik melalui Simulasi Dimensi Dua (2-d) dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga (meh), *Jurnal Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta. <http://core.kmi.open.ac.uk/>. Diakses tanggal 6 Maret 2014.
- Putradi, G.I., (2011), *Kekuatan Impak Komposit Sandwich berpenguat Serat Aren*, *Jurnal Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta. <http://eprints.uns.ac.id/>. diakses tanggal 10 Maret 2014.
- Schwartz, M.M., (1986), *Composite Materials HandBook*, McGraw-Hill Inc, New York, USA.
- Simonetta, B., (2008), *Crash Analysis of an Impact Attenuator for Racing Car in Sandwich Material*, Department of Mechanical, University of Pisa, Italy.
- Shohocken. Billmeyer, F.W., (1984), *Textbook of Polymer Science*, Third Edition John Wiley and Sons, New York.
- Witkiewicz, W., Zieliński, A., (2006), Properties Of The Polyurethane (Pu) Light Foams, *Journal of Department of Materials Science and Engineering*, Gdańsk University of Technology, Poland, <http://www.pg.gda.pl/>. Diakses tanggal 10 Maret 2014.
- Zaidan, M., J., (2011), *Kekakuan Bending Eksperimen Komposit Sandwich Serat Sabut Kelapa- Matrik Polyester Dengan Core Kertas Kardus*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram, <http://download.portalgaruda.org/article .php>. diakses tanggal 22 Maret 2014.