

## Pengaruh anyaman 2D triaxial braided fabric filler kain goni terhadap kekuatan bending dan struktur makro komposit bermatrik polyester

Ahmad Syafiq N.<sup>1</sup>, Wirawan Sumbodo<sup>2</sup>, Rahmat Doni Widodo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

**ABSTRAK** : Goni merupakan hasil olahan dari serat alam yang pemanfaatannya masih sebatas untuk mengemas hasil pertanian atau industri. Goni memiliki karakteristik yang kuat dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi produk yang bernilai lebih, salah satunya sebagai bahan dasar pembuatan komposit serat alam yang dapat digunakan di dunia industri. Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit maka perlu adanya perlakuan, salah satunya perlakuan pada *filler* kain goni dengan dianyam *triaxial*. Matriks yang digunakan adalah Poliester Yukalac 157 BQTN-EX dengan fraksi volume resin 70% : 30% *filler*. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up* dengan variasi sudut serat diagonal (bias) pada anyaman 2D *Triaxial Braided Fabric* dengan sudut  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ , dan  $\pm 60^\circ$ . Pengujian *bending* dilakukan dengan metode pengujian *three point bending* sesuai standar ASTM D 790-03 menggunakan *Universal Testing Machine* merk Torontech. Perlakuan sudut serat diagonal pada anyaman memberikan pengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* dengan nilai tertinggi pada anyaman *triaxial*  $30^\circ$  diikuti anyaman *triaxial*  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  dengan nilai berturut-turut 93,63 MPa, 53,05 MPa dan 42,64 MPa. Perlakuan anyaman *triaxial* juga berpengaruh terhadap nilai momen bending dan modulus elastisitas bending yaitu terjadi peningkatan berturut-turut dari komposit *triaxial*  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $30^\circ$ . Hasil uji foto makro terdapat beberapa kegagalan seperti *fiber pull-out*, *void* dan *delaminasi*. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit lamina ini.

**Kata kunci** : Lamina komposit, Goni, Kekuatan *bending*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu bahan yang terus berkembang sejalan dengan pertumbuhan industri otomotif di Indonesia. Dalam pembuatan mobil, produsen kendaraan mempertimbangkan apa saja yang dibutuhkan untuk proses produksi, terutama material yang digunakan. Material polimer masih menjadi primadona dalam industri ini. Secara umum material tersebut adalah material yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*) dan mahal. Penetapan tahun 2009 sebagai *Internasional Year of Natural Fibres* (IYNF) oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa melalui Badan Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) bertujuan mendorong pemanfaatan kembali serat alam sebagai bahan baku industri. Hal tersebut juga sesuai dengan program dalam Renstra

tahun 2010-2014 Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) salah satunya adalah pengembangan komoditas perkebunan yang diprioritaskan untuk penelitian dan pengembangan tanaman pemanis (tebu), pengembangan bahan bakar nabati dan tanaman penghasil serat.

Pemerintah melalui Kementerian Perindustrian (Kemenperin) telah menerbitkan kebijakan Nomor 33/M-IND/PER/7/2013 mengenai mobil murah dan ramah lingkungan atau *Low Cost Green Car* (LCGC). Kebijakan ini mendorong perkembangan mobil nasional yang murah, hemat energi dan ramah lingkungan yang tidak hanya dari segi penggunaan tetapi juga material yang digunakan. Penggunaan bahan alami yang dapat terurai oleh alam tidak menumpuk dalam tanah, tidak

melepaskan senyawa beracun yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman, hewan dan manusia (Albertsson dan Hakkarainen, 2008: 35). Komposit dengan penguat serat alam bisa menjadi solusi untuk material komponen otomotif yang murah namun dapat bersaing dengan bahan teknik lainnya. Penggunaan serat alam sebagai penguat komposit mempunyai keuntungan antara lain kekuatan spesifik dan modulusnya yang tinggi, densitas rendah, harga murah, melimpah di banyak negara, emisi polusi yang lebih rendah, dapat diperbaharui dan dapat di daur ulang (Joshi et al. 2004: 376; Li et al. 2008: 553; Mukhopadhyay et al. 2009: 387)

Dalam penelitian ini bahan pengisi (*filler*) yang digunakan merupakan kain goni (*Hessian Cloth*) yang telah lama dikenal memiliki karakteristik yang kuat dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi produk yang bernilai lebih. Kain goni yang digunakan berasal dari karung goni (*Hessian Bag*) bekas untuk memperpanjang nilai manfaatnya. Susunan serat pada kain goni yang sudah berupa anyaman dari serat kenaf akan memudahkan dalam proses pembuatan komposit. Pemanfaatan kain goni sebagai bahan penguat komposit alternatif pembuatan komponen interior mobil seperti plafon kendaraan (*head lining roof*), *seat back panel* ataupun komponen interior lainnya merupakan langkah yang tepat, guna meningkatkan fungsinya yang selama ini masih sebatas sebagai karung goni dan untuk kerajinan tangan.

Pola anyaman serat sangat menentukan karakteristik komposit. Kadir et al. (2014: 16) meneliti pengaruh pola anyaman terhadap kekuatan tarik dan *bending* komposit berpenguat serat bambu dengan pola anyaman adalah *plain*, *twill* dan *random*. Pada pengujian *bending*, nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada anyaman *plain*, sedangkan nilai kekuatan *bending* terendah terdapat pada anyaman *random*.

Dalam komposit yang diperkuat serat, susunan serat acak ataupun dengan penataan serat sejajar akan terjadi anisotropi pada komposit. Hal tersebut

disebabkan karena susunan serat yang tidak beraturan pada komposit serat acak. Pada komposit serat sejajar akan memiliki kekuatan yang maksimal jika pembebanan searah dengan arah serat, namun akan sangat lemah jika pembebanan tegak lurus dengan arah serat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu mengoptimalkan konstituen komposit, yaitu dengan menganyam serat penguat komposit. Jika serat disusun dalam dua arah yang tegak lurus sesamanya, maka komposit akan mendapat penguatan dalam dua arah, dengan konsekuensi nilai modulus elastisitas komposit lebih rendah dari komposit serat sejajar. Meskipun komposit mendapat penguatan dalam dua arah sesuai arah serat, modulus pada sudut  $45^\circ$  nilainya rendah (Vlack, 1995: 597).

Dalam penelitian ini perlakuan anyaman dilakukan pada kain goni sebagai penguat komposit. Perlakuan anyaman pada *filler* dimaksudkan supaya serat lebih tertata, terdistribusi merata pada setiap bagian komposit, dan mencegah anisotropi pada lembaran komposit (Vlack, 1995: 597 – 598). Pola anyaman yang dipilih adalah *2D Triaxial Braided Fabric* (anyaman dua dimensi tiga arah). Anyaman *2D Triaxial Braided Fabric* merupakan anyaman berbentuk lembaran dimana serat disusun pada tiga orientasi arah serat, yaitu satu arah aksial, dan dua arah diagonal (*bias*). Anyaman *2D Triaxial Braided Fabric* dipilih karena anyaman tersebut memiliki sifat kuasi-isotropi jika dibandingkan jenis anyaman yang lain yang memberikan kekuatan dalam pembebanan aksial ataupun diagonal.

## 2. Metode Penelitian

Kadir et al. (2014) meneliti pengaruh pola anyaman terhadap kekuatan tarik dan *bending* komposit berpenguat serat bambu. Matriks yang digunakan adalah *polyester*. Penelitian ini menggunakan variasi pola anyaman *plain*, *twill* dan *random*. Hasil pengujian *bending* dengan standar ASTM D 790-02 menunjukkan anyaman *plain* memiliki kekuatan tertinggi yaitu  $41,707 \text{ N/mm}^2$ , ), sedangkan nilai kekuatan *bending* terendah terdapat pada

anyaman *random* yaitu sebesar 15,061 N/mm<sup>2</sup>.

Salman et al. (2015), meneliti komposit serat kenaf anyam yang dibuat dari 3 macam matriks thermoset yaitu epoksi, *poliester* dan *vinil ester*. Pada masing-masing matriks terdapat dua variasi sudut anyam yaitu 0°/90° dan 45°/45°. Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, mekanik dan morfologi komposit. Spesimen dibuat dengan teknik *vacuum infusion manufacturing*. Variasi sifat mekanik untuk matriks yang sama dipengaruhi oleh variasi orientasi serat. Sifat mekanik pada uji bending dengan standar ASTM D-790 didapatkan nilai tertinggi pada semua matriks pada komposit kenaf dengan sudut anyam 0°/90°.

Masruri et al. (2011) meneliti pengaruh orientasi sudut anyaman serat *cantula* terhadap kekuatan *bending* dan gaya tarik paku komposit semen serbuk aren-*cantula*. Matriks yang digunakan adalah semen dan serbuk aren, serat *cantula* sebagai penguat dan CaCl<sub>2</sub> sebagai *additive*. Proses pembuatan komposit menggunakan metode tekan, dengan orientasi sudut anyaman serat *cantula* 0°/90°, 15°/105°, 30°/120°, 45°/135°. Hasil uji *bending* dengan standar ASTM D 6272 menunjukkan nilai kekuatan bending tertinggi pada orientasi sudut 45°/135° dengan nilai 17,08 MPa, sedangkan nilai terendah pada orientasi sudut 0°/90° dengan nilai 15,76 MPa.

Djamil et al. (2014) meneliti kekuatan tarik komposit matriks polimer berpenguat serat alam bambu *gigantochloa apus* jenis anyaman *diamond braid* dan *plain weave*. Matriks menggunakan *polymer* dan *reinforcement* berupa fiber bahan alam bambu jenis *gigantochloa apus* dipotong berbentuk serat. Komposit dibuat dengan metode *hand lay-up*, spesimen menggunakan standar ASTM D3039 dengan sudut orientasi 0°, 45°, 90°. Hasil uji tarik didapatkan nilai kekuatan maksimum untuk spesimen *diamond braid* sudut orientasi 45°: 2,387 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan tarik maksimum untuk spesimen *plain weave* sudut orientasi 0°: 4,2 N/mm<sup>2</sup>

dan 90°: 4,2 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan pola anyaman dan orientasi sudut serat pada anyaman mempengaruhi kekuatan tarik dan *bending*.

Benda uji pada penelitian ini adalah komposit goni dengan matrik *polyester* jenis Yukalac 157 BQTN-EX, dicampur 1% *hardener* jenis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*). Metode pembuatan komposit adalah *press hand lay-up*. Perlakuan pada penelitian ini adalah dengan variasi anyaman *2D triaxial braided fabric* dengan sudut diagonal 30°, 45° dan 60° serta komposit dengan anyaman dasar goni dengan fraksi volume karung goni 30% : 70% matriks. Karung goni yang digunakan adalah karung goni bekas kemasan cocoa dengan kondisi yang masih baik. Sifat mekanis yang diteliti dari komposit goni adalah kekuatan *bending* dengan metode *three point bending* standar ASTM D790 menggunakan alat uji jenis *universal Testing Machine* merk *Toron Tech*. Hasil pengujian berupa beban maksimal yang kemudian diolah untuk mendapatkan tegangan bending, momen bending dan modulus elastisitas bending menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$M = \frac{1}{4}PL \dots\dots\dots (2)$$

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana *m* adalah slope tangen pada kurva beban – defleksi, maka Persamaan 3 berubah menjadi:

$$E_b = \frac{PL^3}{4bd^3 \delta} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- Σb = Kekuatan *bending* (MPa)
- E<sub>b</sub> = Modulus Elastisitas *bending* (MPa)
- L = Jarak antara titik tumpuan (mm)
- P = Beban yang diberikan (N)
- δ = Defleksi (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- M = Momen *bending* (Nmm)

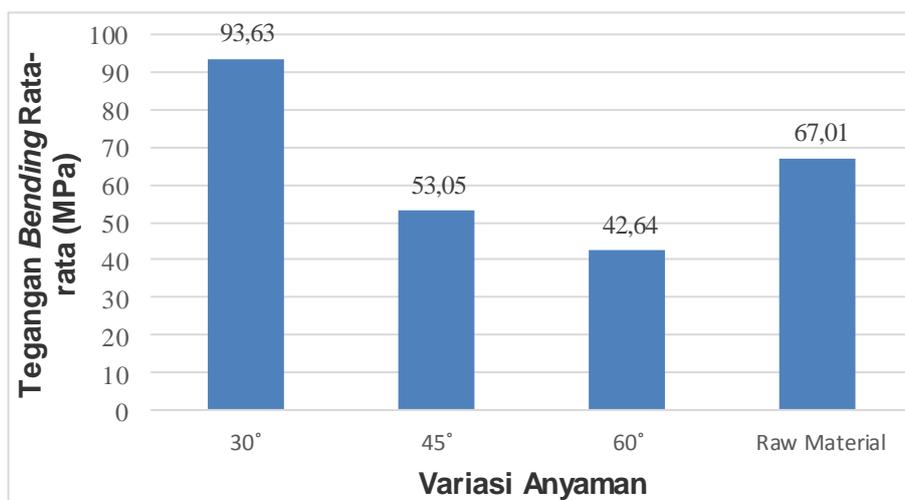
### 3. Hasil dan Pembahasan

Data diperoleh dari pengujian *three point bending* pada spesimen yang terdiri dari variasi anyaman *2D triaxial braided fabric* dengan sudut diagonal 30°, 45° dan 60°. Serta komposit dengan anyaman dasar goni dengan total spesimen uji 16 buah.

#### 3.1 Pengaruh Variasi Anyaman Terhadap Kekuatan *Bending*

Gambar 1 menunjukkan tegangan *bending* mengalami peningkatan pada semua spesimen komposit *triaxial* seiring dengan menurunnya sudut diagonal pada anyaman *Triaxial Braided Fabric*. Komposit dengan perlakuan anyaman *triaxial* 30° memiliki nilai tegangan *bending* rata-rata tertinggi sebesar 93,63 MPa yaitu 43,34% lebih tinggi dari tegangan *bending* rata-rata komposit *triaxial* 45° dengan nilai 53,05 MPa. Sedangkan komposit *triaxial* 60° memiliki tegangan *bending* rata-rata terendah dengan nilai 42,64 MPa atau 54,46% lebih rendah dari komposit *triaxial* 30° dan 19,62% lebih rendah dari komposit *triaxial* 45°. Pada komposit *raw material* karung goni tegangan *bending* rata – rata lebih tinggi dari komposit *triaxial* 45° dan 60° masing – masing sebesar 20,83% dan 36,36%, namun masih lebih rendah 28,43% dari komposit *triaxial* 30° dengan nilai 67,01 MPa.

Tegangan *bending* dirumuskan dengan Persamaan (1). Pada saat pengujian *bending*, bagian bawah komposit mengalami gaya tarik dan bagian atas komposit mengalami gaya tekan. Adanya perlakuan sudut diagonal pada anyaman *filler* komposit *triaxial* mempengaruhi kekuatan komposit. Masruri et al. (2011) dan Djamil et al. (2014), menyatakan bahwa kekuatan *bending* meningkat seiring semakin dekatnya orientasi serat dengan arah pembebanan pada komposit. Hal ini disebabkan karena serat yang searah dengan arah pembebanan mampu menahan beban lebih baik. Sebaliknya serat yang disusun tegak lurus pada komposit tidak mampu menahan beban dengan maksimal. Pernyataan ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Salman et al. (2015), dimana komposit dengan serat penguat yang mendekati arah pembebanan memiliki kekuatan yang lebih besar. Komposit *raw material* nilainya lebih tinggi dari komposit *triaxial* 45° dan 60°, namun lebih rendah dari komposit *triaxial* 30°. Hal ini disebabkan oleh jumlah lapisan yang berbeda pada komposit *triaxial* dan komposit *raw material*. Perbedaan jumlah lapisan pada komposit *triaxial* dan komposit *raw material* ini bertujuan untuk mempertahankan fraksi volume serat 30% : 70% matriks, sehingga pada komposit *triaxial* terdapat 4 lapis dan komposit *raw material* terdapat 6 lapis anyaman serat



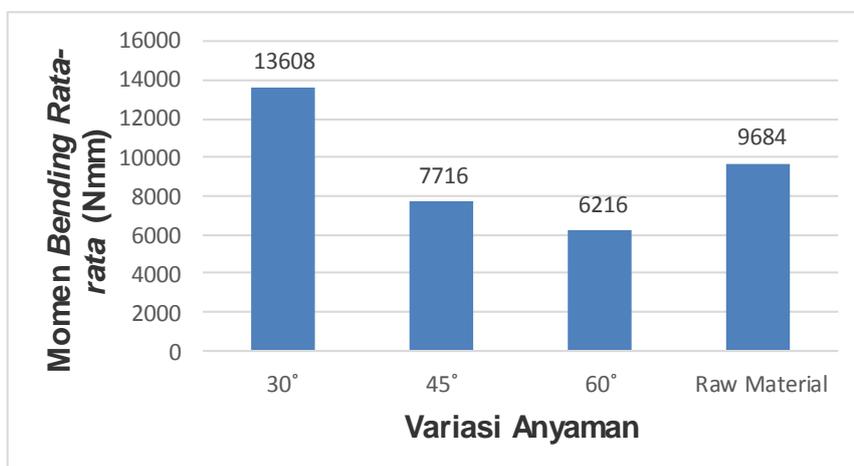
Gambar 1 Diagram kekuatan *bending* rata-rata terhadap variasi anyaman komposit lamina serat karung goni

### 3.2 Pengaruh Variasi Anyaman Terhadap Momen Bending

Gambar 2 menunjukkan momen *bending* mengalami peningkatan pada semua spesimen komposit *triaxial* seiring dengan menurunnya sudut diagonal pada anyaman *Triaxial Braided Fabric*. Komposit dengan perlakuan anyaman *triaxial* 30° memiliki nilai momen *bending* rata-rata tertinggi sebesar 13608 Nmm yaitu 43,29% lebih tinggi dari momen *bending* rata-rata komposit *triaxial* 45° dengan nilai 7716 Nmm. Sedangkan komposit *triaxial* 60° memiliki momen *bending* rata-rata terendah dengan nilai 6216 Nmm atau 54,32% lebih rendah dari

komposit *triaxial* 30° dan 19,44% lebih rendah dari komposit *triaxial* 45°. Pada komposit *raw material* karung goni momen *bending* rata – rata lebih tinggi dari komposit *triaxial* 45° dan 60° masing – masing sebesar 20,32% dan 35,81%, namun masih lebih rendah 28,83% dari komposit *triaxial* 30° dengan nilai 9684 Nmm.

Momen *bending* dirumuskan dengan Persamaan (2). Berdasarkan rumus tersebut beban maksimal (P) dan panjang *span* (L) berbanding lurus dengan momen *bending* (M), sehingga semakin besar beban dan panjang *span* maka nilai momen *bending* akan semakin besar.



Gambar 2 Grafik momen *bending* rata-rata terhadap variasi anyaman komposit lamina serat karung goni

### 3.3 Pengaruh Variasi Anyaman Terhadap Modulus Elastisitas Bending

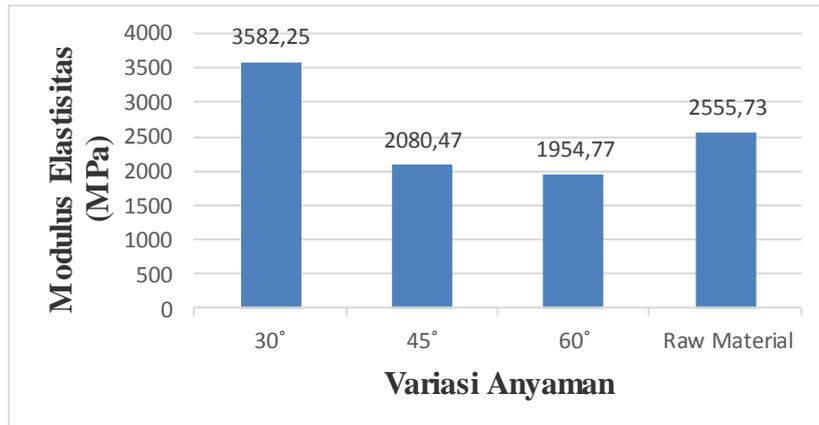
Gambar 3 menunjukkan modulus elastisitas *bending* mengalami peningkatan pada spesimen komposit *triaxial* 30°, namun pada komposit *triaxial* 45° dan 60° nilai modulus elastisitas *bending* hampirimbang. Komposit dengan perlakuan anyaman *triaxial* 30° memiliki nilai modulus elastisitas *bending* rata-rata tertinggi sebesar 3582,25 MPa yaitu 41,92% lebih tinggi dari modulus elastisitas *bending* rata-rata komposit *triaxial* 45° dengan nilai 2080,47 Nmm. Sedangkan komposit *triaxial* 60° memiliki modulus elastisitas *bending* rata-rata dengan nilai 1954,77 MPa atau

45,43% lebih rendah dari komposit *triaxial* 30° dan 6,04% lebih tinggi dari komposit *triaxial* 45°. Pada komposit *raw material* karung goni modulus elastisitas *bending* rata – rata lebih tinggi dari komposit *triaxial* 45° dan 60° masing – masing sebesar 18,59% dan 23,51%, namun masih lebih rendah 28,65% dari komposit *triaxial* 30° dengan nilai 2555,73 MPa.

Modulus elastisitas mengindikasikan kekakuan suatu bahan, semakin tinggi tegangan *bending* suatu material maka semakin tinggi pula modulus elastisitasnya, yang menindikasikan semakin kaku suatu material. Hal ini dikarenakan semakin banyak serat yang searah dengan arah pembebanan maka semakin kaku sifat komposit karena semakin banyak *filler* yang membantu menahan beban pada komposit.

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Salman et al. (2015), bahwa sifat

mekanik komposit sangat dipengaruhi oleh variasi orientasi serat.



Gambar 3 Grafik modulus elastisitas *bending* rata-rata terhadap variasi anyaman komposit lamina serat karung goni

### 3.4 Hasil Pengujian Struktur Makro

#### 3.4.1. Fiber pull-out

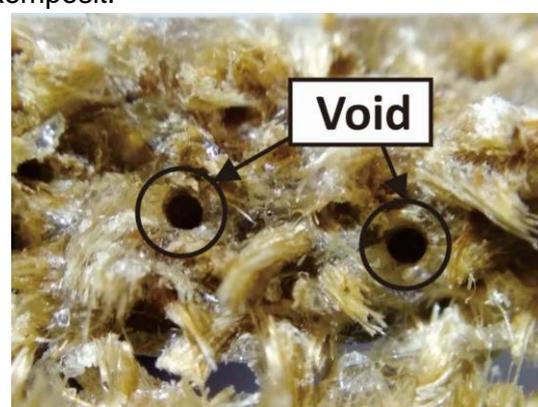
Pada Gambar 4 terlihat serabut serat lepas dari matriksnya, sehingga komposit memiliki kekuatan *bending* yang lebih rendah. Ikatan permukaan antara matriks dan *filler* (*mechanical bonding*) sangat mempengaruhi kekuatan *bending* komposit karena ikatan inilah yang menyalurkan beban dari matriks ke *filler*. Pada pengujian *bending* bagian bawah dari komposit mengalami gaya tarik, sehingga jika *mechanical bonding* tidak dapat menyalurkan beban dengan baik dan serat tidak mampu lagi menahan beban maka spesimen akan patah dan terjadi *fiber pull-out*.



Gambar 4 *Fiber pull-out*

#### 3.4.2. Void

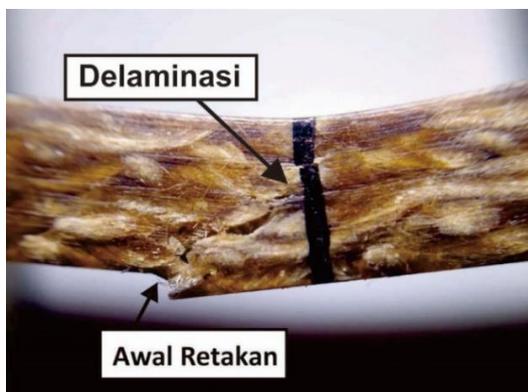
*Void* dapat terjadi akibat kesalahan pencampuran, penekanan, manufaktur atau teknik pembuatan komposit yang kurang tepat. Katalis yang terlalu banyak menyebabkan gelembung-gelembung udara, karena resin cepat mengeras sehingga gelembung udara sulit naik ke permukaan dan terjebak di dalam komposit. Penekanan pada pembuatan komposit bertujuan menghilangkan udara terjebak dalam komposit. Manufaktur yang tepat disesuaikan dengan bahan yang digunakan dalam pembuatan. Adanya *void* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dalam komposit sangat mempengaruhi kekuatan komposit.



Gambar 5 Rongga udara (*void*)

### 3.4.3. Delaminasi

Spesimen mengalami kegagalan (retakan) pada saat pengujian dimulai dari bagian bawah pada komposit karena tidak mampu menahan gaya tarik. Awal retakan yang terjadi pada komposit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 tidak pas terjadi di bawah titik pembebanan dan retakan tidak merambat lurus ke atas. *Delaminasi* diakibatkan oleh ikatan antar lapisan yang kurang karena masih adanya kandungan pektin dan hemiselulosa sehingga retakan merambat diantara lapisan.



Gambar 6 *Delaminasi*

## 4. Simpulan dan Saran

### 4.1. Simpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 4.1.1. Dari hasil pengujian komposit dengan perlakuan anyaman *triaxial* 30° memiliki nilai tegangan *bending* rata-rata tertinggi sebesar 93,63 MPa dan terendah komposit *triaxial* 60° dengan nilai 42,64 MPa. Momen *bending* tertinggi pada komposit *triaxial* 30° dengan nilai 13608 Nmm dan terendah komposit *triaxial* 60° dengan nilai 6216 Nmm. Modulus elastisitas *bending* tertinggi pada komposit *triaxial* 30° dengan nilai 3582,25 MPa dan terendah komposit *triaxial* 60° dengan nilai 1954,77 MPa.
- 4.1.2. Hasil uji foto makro masih terdapat beberapa kekurangan seperti adanya gelembung udara (*void*) yang diakibatkan oleh teknik

pembuatan komposit yang kurang tepat. Ikatan permukaan (*mechanical bonding*) antara serat dan matriks yang kurang kuat akibat masih adanya pektin dan hemiselulosa pada serat sehingga terjadi *fiber pull-out* dan *delaminasi*.

### 4.2. Saran

Selain itu penulis juga menyarankan beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

- 4.2.1. Proses pembuatan komposit karung goni dengan anyaman *2D Triaxial Braided Fabric* sebaiknya dilakukan dengan metode *Vacuum Bag Process* untuk mencegah *void* yang timbul pada komposit.
- 4.2.2. Perlu adanya perlakuan lain dalam pembuatan komposit karung goni guna meningkatkan nilai *bending* yang lebih tinggi salah satunya adalah perlakuan alkali untuk menghilangkan kandungan pektin dan hemiselulosa sehingga ikatan permukaan serat dan matriks semakin kuat.
- 4.2.3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan jenis pengujian yang lebih beragam mengenai komposit berbahan dasar karung goni mengingat karung goni berasal dari serat alam yang dapat diperbaharui dan lebih ramah lingkungan memiliki potensi yang besar untuk bahan dasar pembuatan panel interior mobil.

## 5. Reference

- ASTM D790-3. 2003. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material*, 1-11, American Society for Testing and Material, United States.
- Albertsson, A.C. and M. Hakkarainen. 2008. *Chromatography for Sustainable Polymeric Materials*. Berlin: Springer.

- Djamil, S., S.Y. Lubis, dan Hartono. 2014. Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu *Gigantochloa Apus* Jenis Anyaman *Diamond Braid* dan *Plain Weave*. *Energi dan Manufaktur* 7 (1): 1-118.
- Goldberg, R.K., B.J. Blinzler and W.K. Binienda. 2011. *Investigation of a Macromechanical Approach to Analyzing Triaxially-Braided Polymer Composites*. *AIAA Journal*, 49 (1): 205-215.
- Joshi, S.V., L.T. Drzal, A.K. Mohanty, and S. Arora. 2004. *Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites? Composites: Part A*, 35: 371-376.
- Kadir, A., Aminur dan Marzan. 2014. Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik dan *Bending* Komposit Berpenguat Serat Bambu. *Dinamika*. 6 (1): 9-17.
- Li,Y., Y. Hu, C. Hu and Y. Yu. 2008. *Microstructures and Mechanical Properties of Natural Fibers*. *Advanced Materials Research*, 33-37: 553-558.
- Masruri, D., W.W. Raharjo dan D. Ariawan. 2011. Pengaruh Orientasi Sudut Anyaman Serat *Cantula* Terhadap Kekuatan *Bending* dan Gaya Tarik Paku Komposit Semen Serbuk Aren–*Cantula*. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Wahid Hasyim*. D16-D20.
- Mukhopadhyay, S., R. Figueiro and V. Shivankar. 2009. *Variability of Tensile Properties of Fibers from Pseudostem of Banana Plant*. *Textile Research Journal*, 79 (5): 387-393.
- Salman, S.D., M.J. Sharba, Z. Leman, M.T.H. Sultan, M.R. Ishak and F. Cardona. 2015. *Physical, Mechanical, and Morphological Properties of Woven Kenaf/Polymer Composites Produced Using a Vacuum Infusion Technique*. *International Journal of Polymer Science*, 2015: 1-10.
- Vlack, L.H.V. 1995. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. terjemahan Sriati Djaprie. n.d. Jakarta: Erlangga.
- Zhang, C., N. Li, W. Wang, W.K. Binienda and H. Fang. 2015. *Progressive Damage Simulation of Triaxially Braided Composite Using a 3D Meso-scale Finite Element Model*. *Composite Structures*, 125: 104-116.