



PENGARUH SUDUT DAN JARAK Z-PIN TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH DENGAN INTI *POLYURETHANE FOAM* YANG DIBUAT DENGAN METODE VARI (*VACUUM ASISSTED RESIN INFUSION*)

D.A. Catur, Adji Bagus Pangestu, I.D.K. Okariawan

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara Barat
KodePos : 83125, Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087.

ARTICLE INFO

Article History:
Received
Accepted
available online

Keywords:

Sandwich
Composite
Polyurethane
Fiber
z-pin
Vacuum assisted resin resin
infusion

ABSTRACT

Sandwich construction becomes an option on structures that have high stiffness with lighter weight. The principle of sandwich structure is to combine composite skin with a high elastic modulus with a lightweight composite core to obtain a rigid combination, strong but lightweight materials. However, the core made of polyurethane foam has a compressive strength and modulus close to zero in the direction of the z-axis. The solution that can be given is to strengthen the polyurethane as the composite sandwich core. The purpose of this research is to study the effect of z-pin distance and angle to press strength, and tensile strength test produce sandwich composite by using bamboo stick as alternative material of z-pin core amplifier.

Composite sandwiches with polyurethane fibers are boosted with fiberglass fibers made with several variations, tested to obtain bending strength, shear strength and size damage area. In this study, sandwich composites were made with unrefined or strengthened polyurethane rigid foam core by inserting z-pins to form the X structure. The insertion angle was varied 60°, 75°, 90°. The distance between z-pins is varied 10 mm, 15 mm and 20 mm. While the composite sandwich made with the method of Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI). Bending tested (ASTM C365 standard) and drop weight test (ASTM C297 standard).

Based on the research that has been done, the result shows that the effect of angle and z-pin distance to to press strength, and tensile strength test is directly proportional, that is the greater the angle and z-pin distance given the bending strength, shear strength and drop weight damage area is greater. Z-pin insertion on sandwich composites improves the stiffness that affects the strength of the sandwich composite.

PENDAHULUAN

Saat ini ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang rekayasa material serta berkembangnya isu lingkungan hidup menuntut terobosan baru dalam menciptakan material material berkualitas tinggi serta ramah lingkungan. Pemakaian akhir material logam dan keramik akan menyisakan residu di alam, karena material tersebut sulit di hancurkan oleh alam dalam waktu singkat. Oleh karena itu, pemakaian material ramah lingkungan, mampu didaur ulang serta mampu dihancurkan sendiri oleh alam merupakan tuntutan teknologi saat ini (Sabari.I, 2009).

Bambu merupakan alternatif yang menarik karena bambu mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan dapat dipanen 3-4 tahun (Amada et al., 1997).Ketersediaan bambu di Indonesia (terutama di Nusa Tenggara Barat) melimpah dan tersebar hampir di sebagian wilayah. Sesuai SK Menteri Kehutanan RI No.598/Menhut-II/2009 tanggal 2 Oktober 2009 menyatakan, bahwa luas daratan kawasan hutan Propinsi NTB mencapai 1.035.838 ha yang menghasilkan produk kayu maupun nonkayu. Salah satu hasil hutan nonkayu adalah bambu. Menurut data dari Dinas kehutanan Propinsi NTB (2011) Hutan NTB menghasilkan produk bambu sebanyak 231.264 batang/tahun yang tersebar di Kabupaten Lombok Barat, Lombok Timur, Lombok Tengah, Sumbawa Barat, Sumbawa, dan Bima. Dengan jumlah yang demikian melimpah, perlu dilakukan rekayasa teknologi terhadap bambu agar menghasilkan produk material yang mampu menggantikan material dari logam. Salah satu upaya tersebut adalah dengan menjadikan bambu sebagai bahan penyusun komposit *sandwich*.Serat bambu secara mekanik mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (140-800 MPa), dan modulus elastisitas yang tinggi, 140 GPa (Defoirdt et al., 2010), setara dengan kekuatan tarik baja ringan. Sehingga serat bambu telah menjadi objek penelitian dalam mengembangkan material baru yang ramah lingkungan dengan digabungkan dengan polimer untuk membentuk material komposit (Anggela, 2006; Trisono, 2007; Setyawan PD dan Sugiman, 2013; Kalapaksi dkk, 2014; Zaen dkk, 2014).

Polyurethane Foam mempunyai kekuatan tekan yang dapat dikatakan rendah, dan mempunyai beban jenis yang sangat ringan. Perihal beban massa yang dimiliki, *polyurethane* juga mempunyai berat jenis yang tidak membebani suatu bangunan. Sebab, *polyurethane* sangat ringan. Berat jenis yang dimilikinya hanya sekitar 36 Kg/m³. Akibatnya komposit *sandwich* dengan *core*

polyurethane foam mempunyai kekuatan tekan flat yang sangat rendah pula. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dibuatlah tulangan yang menghubungkan antara kulit atas dan kulit bawah atau yang biasa disebut *Pin*.

DASAR TEORI

Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan adalah kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Kekuatan tekan dapat diukur dengan memasukkannya ke dalam kurva tegangan-regangan dari data yang didapatkan dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*). Pengetahuan mengenai kekuatan tekan merupakan kunci dalam mendesain sebuah struktur. Kekuatan tekan dapat diukur dengan mesin uji *universal*. Pengujian kekuatan tekan, seperti halnya pengujian kekuatan tarik, dipengaruhi oleh kondisi pengujian (penyiapan spesimen, kondisi kelembaban dan temperatur ruang uji, dan sebagainya).

Berdasarkan ASTM 2006 Pengujian tekan di bagi menjadi dua pengujian, pengujian tekan tepi dan pengujian arah ketebalan.

- a. Pengujian tekan arah ketebalan (ASTM C 365-05).

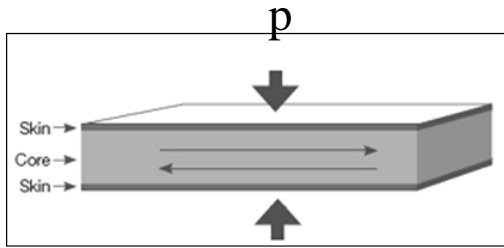
$$\sigma_{\text{tekan}} = P_{\text{max}} / A \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan persamaan (2-1) :

σ_{tekan} = kekuatan tekan arah ketebalan (N/mm²)

P_{max} =beban tekan maksimal (N)

A = luas penampang (mm²)



Gambar (2.1) Sketsa uji tekan arah ketebalan

Kekuatan Tarik

Sifat kuat tarik suatu material komposit adalah kekuatan untuk mengatasi gaya tarik persatuan luas permukaan yang diterima. Secara sederhana kuat tarik (tegangan) yang bekerja pada suatu material dirumuskan oleh persamaan: $\sigma_{tarik} = F/A$(2.2) dengan F adalah beban yang diberikan (N) dan A adalah luas permukaan di mana beban bekerja (m²). Tegangan pada suatu sistem akan menyebabkan terjadinya regangan, yaitu perubahan panjang atau perubahan ukuran benda. Regangan dirumuskan dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan ϵ adalah regangan, l adalah panjang akhir benda dan l₀ adalah panjang awal benda.

Dari dua besaran ini didapatkan suatu besaran lain yang dinamakan sifat elastisitas benda, atau lebih umum dinamakan modulus. Modulus elastisitas adalah sifat mekanik material yang menunjukkan seberapa besar material untuk kembali ke bentuknya semula setelah diberikan tegangan tertentu. Modulus elastisitas benda dirumuskan sebagai

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan E merupakan tegangan dibagi dengan regangan (N/m²). Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.3. Pada gambar ini terlihat bahwa kekuatan mekanik dari komposit berasal dari gabungan antara fiber dan matriksnya.

Untuk mengukur kuat tarik dari material komposit, dilakukan uji tarik pada spesimen material tersebut. Diagram spesimen untuk pengukuran kuat tarik dapat dilihat pada Gambar 2.4. Beban diberikan dari dua arah secara bersamaan. Spesimen dapat berbentuk tulang atau persegi panjang dengan ketebalan tertentu.

Hasil yang didapatkan dari uji tarik adalah tegangan dan regangan material. Dari data ini, maka dapat dihitung modulus elastisitas material dan kekuatan tarik maksimum material ketika terjadi kerusakan.

Metode Vacuum Assisted Resin Infusion

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Material yang menjadi matriks diletakkan di sebuah cetakan, kemudian dilakukan proses vakum untuk menarik aliran resin ke dalam matriks. Setelah lembaran lembaran antara resin dan matriks terbentuk, maka tabung vakum akan menghisap sisa-sisa resin yang masih tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk mempunyai ketebalan yang sama.

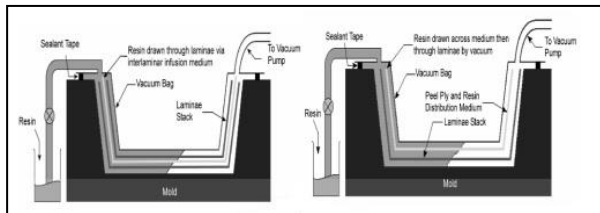
Metode *VARI* menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio *fiber-resin* yang tinggi dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode *VARI* aliran resin dilakukan oleh tekanan vakum yang konstan. Penggunaan tekanan vakum konstan ini yang mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio *fiber – resin* menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang lebih kuat dan ringan (Febriyanto 2011).

Beberapa langkah-langkah dasar dalam proses *VARI* adalah sebagai berikut :

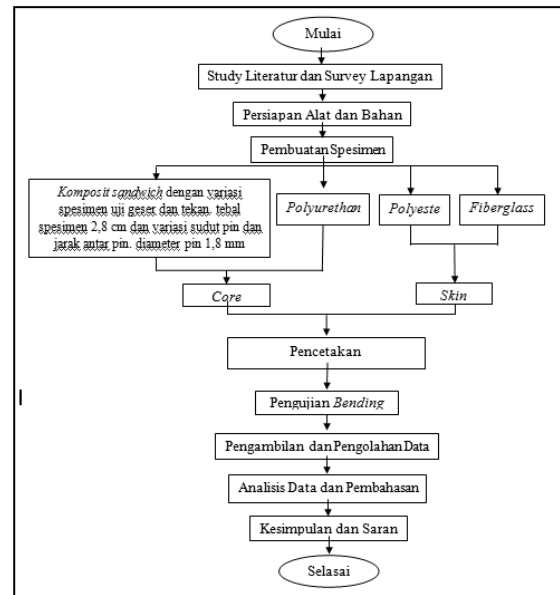
1. Material yang berfungsi sebagai matriks diletakkan dalam suatu cetakan yang dilapisi *vacuum bag*.
2. Resin berfungsi sebagai filler dituangkan dalam suatu wadah yang terhubung dengan cetakan dan mesin vakum.
3. Tekanan udara yang ada di dalam cetakan diturunkan oleh pompa vakum.
4. Resin dialirkan dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah.
5. Proses *curing* dilakukan setelah resin membentuk lamina.

Metode *VARI* dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode *surface infusion* dan metode *interlaminar infusion*. Pada *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina. Pada *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina. Pada *surface infusion*, kerugian terbesar terdapat pada biaya yang disebabkan persiapan pengoperasian mesin dan kompleksitas

yang meningkat jika metode ini diaplikasikan untuk skala besar. Metode *interlaminar infusion*, memiliki banyak keuntungan jika diaplikasikan dalam skala besar. Resin dialirkan di antara lamina agar ketebalan resin terjaga pada ruang antar lamina. Selain itu, proses pengaliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sudah dijaga ketebalannya. Proses yang lebih terjaga ini menyebabkan material sisa yang terbuang semakin berkurang (Febriyanto, 2011).



Gambar 2.4 VARI surface infusion (kiri) dan VARI interlaminar infusion (kanan). Sumber (Febriyanto, 2011)



Gambar 3.1 diagram alir penelitian

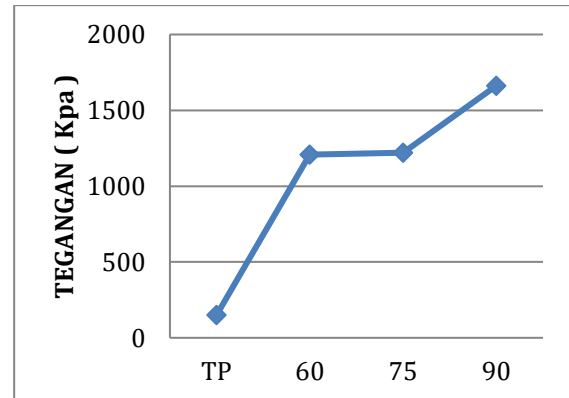
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tekan didapatkan grafik perbandingan antara tegangan dan variasi sudut menunjukkan perbandingan antara 3 buah pengulangan spesimen yang diujikan pada pengujian tersebut, yang dapat dilihat pada grafik 4.1 sampai 4.3:

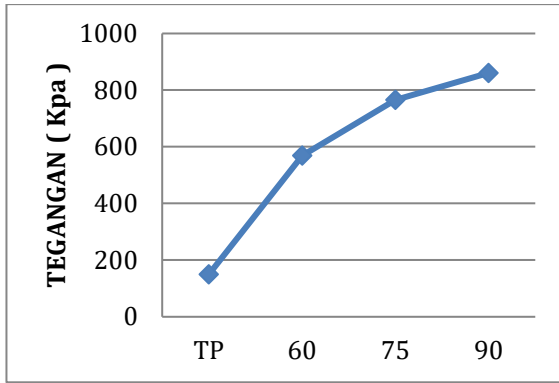
METODE PENELITIAN

Penelitian didefinisikan sebagai penyelidikan yang sistematis terorganisir pada fakta atau data, kritis, dan ilmiah terhadap permasalahan yang dilakukan untuk mendapatkan penyelesaian yang objektif. Sedangkan metode penelitian didefinisikan sebagai cara-cara yang digunakan dalam merancang penelitian, pengumpulan data dan analisis data serta cara-cara pengambilan kesimpulan. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode ekperimental, yaitu melakukan pengujian langsung terhadap alat uji agar memperoleh data-data yang diinginkan untuk menjawab/menyelesaikan permasalahan.

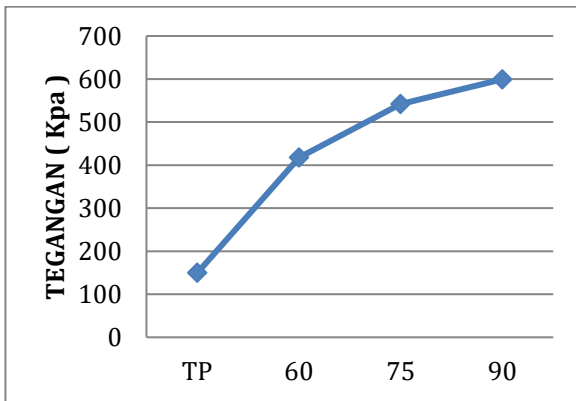
Diagram alir penelitian



Gambar 4.1 grafik tegangan pada jarak antar pin 10 mm



Gambar 4.2 grafik tegangan pada jarak antar *pin* 15 mm



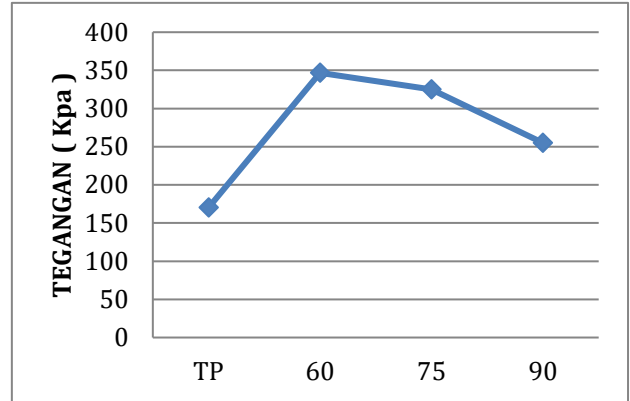
Gambar 4.3 grafik tegangan pada jarak antar *pin* 20 mm

Pada gambar grafik 4.1 – 4.3 menunjukkan bahwa dengan variasi sudut yang berbeda, dan dengan jarak antar *pin* 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Tegangan tertinggi berada pada sudut 90° sedangkan nilai tegangan tekan terbesar selanjutnya terdapat pada sudut 75°, 60° dan tanpa *pin*. Ini membuktikan bahwa *z-pin* berpengaruh atau dapat menambah nilai kekuatan tekan dari material komposit *sandwich*. Semakin banyak jumlah *z-pin* yang digunakan tentunya semakin tinggi pula nilai kekuatannya, ini disebabkan karena fungsi dari *z-pin* ini sendiri sebagai tulangan (penguat).

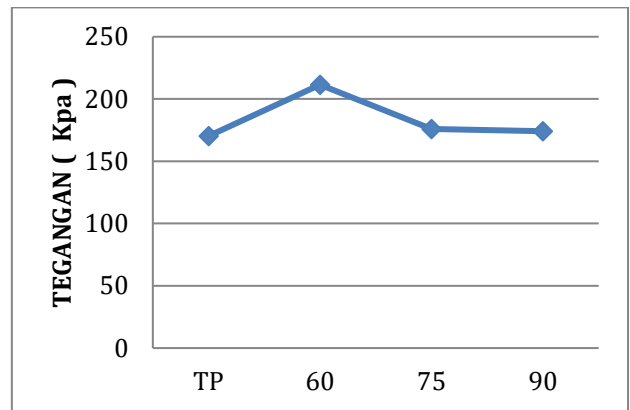
Semakin tegak lurus sudut *pin* dalam pengujian tekan ini maka semakin tinggi pula nilai kekuatan tekannya. *Pin* akan bekerja dengan baik seiring tegak lurus nya *pin* terhadap arah gaya yang diberikan. Baik pada jarak antar pin 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Nilai tegangan tertinggi berada pada variasi sudut 90° baik pada jarak 10 mm, 15 mm, maupun 20 mm yaitu 1662.4 Kpa, 860.66 Kpa, dan 599.49 Kpa. Nilai terendah berada pada variasi sudut 60°.

Pengujian tarik

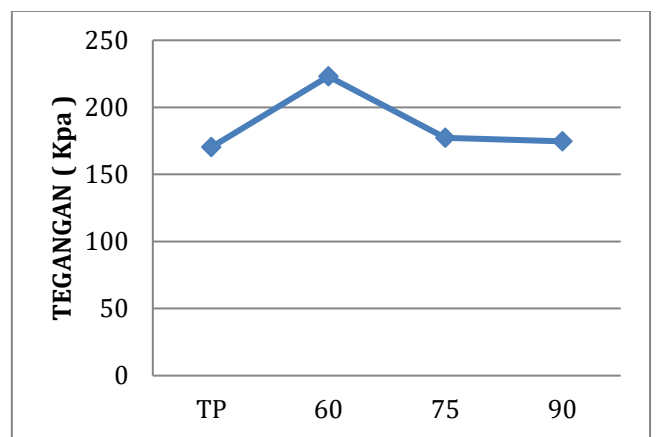
pengujian tarik diatas didapatkan grafik perbandingan antara tegangan dan elongation menunjukkan perbandingan antara 3 buah pengulangan *spesimen* yang diujikan pada pengujian tersebut, yang dapat dilihat pada gambar grafik 4.7 sampai 4.9



Gambar 4.7 grafik tegangan pada jarak antar *pin* 10 mm



Gambar 4.8 grafik tegangan pada jarak antar *pin* 15 mm



Gambar 4.9 grafik tegangan pada jarak antar *pin* 20 mm

Pada grafik 4.7 – 4.9 bisa kita lihat bahwa tegangan tarik terendah berada pada *specimen* komposit dengan sudut *pin* 90° baik pada variasi jarak 10 mm, 15 mm, dan 20 mm adapun penyebab pada komposit dengan sudut *pin* 90° memiliki nilai tegangan terendah dikarenakan oleh kemiringan sudut penancapan *pin*, dengan sudut tersebut tidak terlalu baik dalam mendistribusi tegangan dalam pengujian tarik dibandingkan dengan komposit dengan variasi sudut *pin* 75° dan 60°.

Selain itu pada komposit dengan sudut *pin* 60° rata-rata tegangan tarik yaitu 346.74 kpa, pada komposit *sandwich* ini merupakan yang memiliki tegangan paling besar dibandingkan dengan komposit dengan variasi sudut *pin* yang lain dikarenakan faktor penyisipan *z-pin* yang menggunakan struktur x yang semakin menambah kekuatan dan mendistribusi tegangan secara merata sehingga menyebabkan kekuatan tegangan semakin baik.

Adapun pada spesimen yang tanpa menggunakan *z-pin* pastinya memiliki kekuatan paling rendah. Karena dalam pengujian tarik, *z-pin* bambu sangat mempengaruhi nilai tegangan spesimen komposit *sandwich*. Maka pada spesimen tanpa menggunakan *pin* tidak ada yang memperkuat *specimen* dimana beban pada pengujian tarik diterima oleh *skins* dan *core* saja.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran-saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk generasi selanjutnya di harapkan untuk terfokus terhadap satu variasi yang akan digunakan
2. Penelitian komposit *sandwich* terutama pada penggunaan matrik pada *skin* menuju inti sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit, diharapkan diperlukan alat agar matrik terdistribusi dengan baik.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan agar pembuatan *composite sandwich* menggunakan metode *VAR!* dilakukan secara teliti dan rapi. Dimaksudkan agar saat pengambilan data nantinya menghasilkan data yang baik dan sesuai hipotesa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu-persatu, yang telah banyak membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini sampai selesai.

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

JKB	= jumlah kuadrat baris
JKK	= jumlah kuadrat kolom
JK(BK)	= jumlah kuadrat (baris kolom)
JKE	= jumlah kuadrat error
JKT	= jumlah kuadrat total
S_1^2	= jumlah rata-rata kuadrat baris
S_2^2	= jumlah rata-rata kuadrat kolom
S_3^2	= jumlah rata-rata interaksi
S_4^2	= jumlah rata-rata error
a	= jumlah perlakuan (<i>treatment</i>)
n	= jumlah pengulangan (<i>refliksi</i>)
N	= jumlah keseluruhan data
F_0	= total tabel
A	= luas penampang (mm ²)
l	= panjang (mm)
M	= massa (g)
t	= ketebalan (cm)
v	= volume (mm ³)
w	= lebar (cm)
W	= massa (N)
σ_{tekan}	= kekuatan tekan arah ketebalan (Mpa)
m_{serat}	= massa serat (g)
ρ_{serat}	= massa jenis serat (g/mm ³)
P_{max}	= beban tekan maksimal (N)
V_{fg}	= volume <i>fiberglass</i> (cm ³)
V_{sk}	= volume <i>skin</i> (cm ³)
$v_{fiberglass}$	= fraksi volume <i>fiberglass</i> (%)

w_{fg} = berat fiberglass (g)
 V_{resin} = volume resin (cm³)
 D_{fg} = berat/luas serat anyam (gram/m²)

DAFTAR PUSTAKA

- Agus DwiCatur, KaharMusakar, Sinarep, Sukartono, 2015, *pengaruh penguatan polyurethane rigid foam dengan square cells terhadap tegangan bending dan tekan panel sandwich sebagai bahan lambung haluan perahu*. jurnal Simposium Nasional RAPI XIV, Fakultasteknik, Universitas Muhamadiah Surakarta.
- Amada S, Ichikawa Y, Munekata T, Nagase Y, Shimizu K, 1997, *Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo*. Composites Part B 28, pp. 13–20.
- Anggela NKYC, 2006, *Pengaruh Jumlah dan Konfigurasi Lapisan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Tekan Komposit Hibrid Bambu-Fiberglass dengan Matrik Polyester dan Epoxy*, Skripsi, Universitas Mataram.
- Defoirdt N, Biswas S, De Vriese L, Tran LQN, Van Acker J, Ahsan Q, Gorbatikh L, Van Vuure A, Verpoest I, 2010, *Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre*, Composites: Part A 41, pp. 588–595.
- Kalapaksi G, Setyawan PD, Sugiman, Catur AD, Ramadhani M.F., 2014, *Kekuatan Tarik dan Tekan Komposit Laminat Hibrid Aluminium-Fiberglass-Bambu*, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20, UGM Jogjakarta
- Muzakar, K., 2014, *Pengaruh Penambahan Square Cells Honeycomb Pada Core Polyurethane Rigid Foam Terhadap Kekuatan Bending dan Tekan Komposit Sandwich*, Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- Nanayakkara, A., Feih, S. and Mouritz, A.P, 2010, *'Improving the through-thickness compression properties of aerospace sandwich composites by z-pinning'*, *Proceedings of the 21st Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, Melbourne, Australia.
- Nanayakkara, A., Feih, S. and Mouritz, A.P, 2012. *'Experimental analysis of the through thickness compression properties of z-pinned sandwich composites'*, *Composites Part A*, Volume 42, Issue 11, pp. 1673-1680.
- 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.
- Putradi, G. I., 2011, *Kekuatan Impak Komposit Sandwich Berpenguat Serat Aren*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- Satrio, F., 2010, *Penggunaan Metode Vacuum Assisted Infussion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Pada Kapal Bersayap WiSE-8*.
- Setyawan PD, Sugiman, 2013, *Pengaruh Densitas Honeycomb Bambu Sebagai Inti Komposit Sandwich Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich*, jurnal REFORMA Vol.2 No.2.
- Trisono A, 2007, *Kekuatan Bending Komposit Hibrid Bambu-Fiberglass/Polyester dan Bambu-Fiberglass/Epoxy*, Skripsi, Universitas Mataram.
- .Wicaksono, R., 2006, *Karakteristik Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Kombinasi Serat Kenaf Acak Dan Anyam*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Zaen U, Sugiman, Setyawan PD, 2014, *Investigasi Kekuatan Bending Komposit Laminat Aluminium-Fiberglass-Bambu*, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20, UGM Jogjakarta.