



**ANALISIS GESER PADA BALOK BAMBU SUSUN VERTIKAL
MENGUNAKAN PERKUATAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)**

**(SHEAR ANALYSIS OF VERTICAL STACKED BAMBOO BEAM
USING REINFORCEMENT
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP))**

Aditya Purnama¹ , Mochamad Valdiansyah²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tulungagung

Alamat korespondensi:

E-mail: purnamaaditya126@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tulungagung

Alamat korespondensi:

E-mail: moch.valdiansyah@gmail.com

Abstract

Bamboo is a type of building material that has been used by humans for a long time. The strength of bamboo which can be matched with steel makes it popular as a construction material, especially in Asia. However, bamboo has several drawbacks in its use as a construction material, such as the difficulty of combining several layers of bamboo to work together and work together. One of the reasons why it is difficult for the bamboo to stick together is the weak shear strength of the bamboo in the direction of the fibers. Therefore, research is needed to increase the strength of bamboo in resisting shear loads in the direction of the grain.

In general, the flow of this research is stacked bamboo beams with reinforcement and without shear reinforcement using CFRP. The numerical analysis will be carried out with solid element modeling using the Midas Gen 2019 program. Then the results of the two numerical analyzes will be discussed and compared. Shear analysis on stacked bamboo beams with carbon fiber reinforcement using bamboo which has a diameter of + 10 cm, with a bamboo wall thickness of + 1 cm. The CFRP used in this research is using a type of fiber with the fiber used is a type of unidirectional mat (UDM). As the name suggests, this sheet has one direction of fiber, the arrangement of fibers is maximized in one direction so that it can withstand loads whose orientation matches the direction of the fiber, these sheets are usually used for beams and frames.

Based on the results of the analysis carried out on stacked bamboo beams without CFRP reinforcement and using CFRP reinforcement, it can be concluded that the CFRP reinforcement reduces the compressive stress experienced by bamboo with the CFRP reinforcement in the shear connector area by 79.64%, increasing the shear stress. That occurs in steel shear connectors when reinforced with CFRP is 55.57%.

Keywords: *Bamboo, CFRP, Shear, Stress*

Abstrak

Bambu adalah salah satu jenis bahan bangunan yang sudah lama digunakan oleh manusia. Kekuatan bambu yang dapat disandingkan dengan baja membuatnya populer sebagai bahan konstruksi, terutama di Asia. Namun, bambu memiliki beberapa kekurangan dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi, seperti sulitnya menggabungkan beberapa susun bambu agar dapat menyatu dan bekerja secara bersamaan. Salah satu hal yang menjadi penyebab sulitnya bambu tersebut dapat menyatu adalah lemahnya kekuatan geser bambu pada searah serat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan bambu dalam menahan beban geser searah serat.

Secara umum alur penelitian ini ialah balok bambu susun dengan perkuatan dan tanpa perkuatan geser menggunakan CFRP akan dilakukan analisis numerik dengan pemodelan *solid element* menggunakan program Midas Gen 2019. Kemudian kedua hasil analisis numerik tersebut akan dibahas dan dibandingkan. Analisis geser pada balok bambu susun dengan perkuatan *carbon fiber* menggunakan bambu yang memiliki ukuran diameter ± 10 cm, dengan ketebalan dinding bambu ± 1 cm. CFRP yang digunakan dalam penelitian ini ialah menggunakan jenis fiber dengan serat yang digunakan ialah jenis *unidirectional mat* (UDM). Seperti namanya, lembaran ini memiliki satu arah serat, susunan *fiber* dimaksimalkan pada satu arah sehingga dapat

menahan beban yang orientasinya sesuai dengan arah *fiber*, lembaran ini biasanya digunakan untuk balok dan *frame*.

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada balok bambu susun tanpa perkuatan CFRP dan dengan menggunakan perkuatan CFRP dapat diambil kesimpulan bahwa perkuatan CFRP tersebut justru membuat penurunan tegangan desak yang dialami oleh bambu dengan adanya perkuatan CFRP pada daerah *shear connector* sebesar 79,64%, peningkatan tegangan geser yang terjadi pada baja *shear connector* ketika diberi perkuatan CFRP sebesar 55,57%.

Kata kunci: Bambu, CFRP, Geser, Tegangan

PENDAHULUAN

Bambu adalah salah satu jenis bahan bangunan yang sudah lama digunakan oleh manusia. Kekuatan bambu yang dapat disandingkan dengan baja membuatnya populer sebagai bahan konstruksi, terutama di Asia. Namun, bambu memiliki beberapa kekurangan dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi, seperti sulitnya menggabungkan beberapa susun bambu secara vertikal agar dapat menyatu dan bekerja secara bersamaan. Salah satu hal yang menjadi penyebab sulitnya bambu tersebut dapat menyatu adalah lemahnya kekuatan geser bambu pada searah serat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan bambu dalam menahan beban geser searah serat.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan bambu adalah dengan memperkuatnya menggunakan CFRP. CFRP memiliki kekuatan yang sangat tinggi dan tahan terhadap korosi dan panas. Dalam penelitian ini, fokus akan diberikan pada analisis geser pada balok bambu susun vertikal yang diperkuat dengan CFRP.

Dalam penelitian ini, balok bambu susun vertikal akan diperkuat dengan CFRP pada bagian-bagian tertentu untuk meningkatkan kekuatannya. Kemudian, balok tersebut akan dianalisis untuk mengetahui apakah penggunaan CFRP efektif dalam meningkatkan kekuatan geser pada balok bambu susun vertikal.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang penggunaan CFRP dalam meningkatkan kekuatan geser pada balok bambu susun vertikal. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi pada pengembangan bahan konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Mengacu pada latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:, bagaimana tegangan desak akibat geser yang terjadi pada balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP dan tanpa perkuatan CFRP, bagaimana tegangan geser yang terjadi pada balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP dan tanpa perkuatan CFRP.

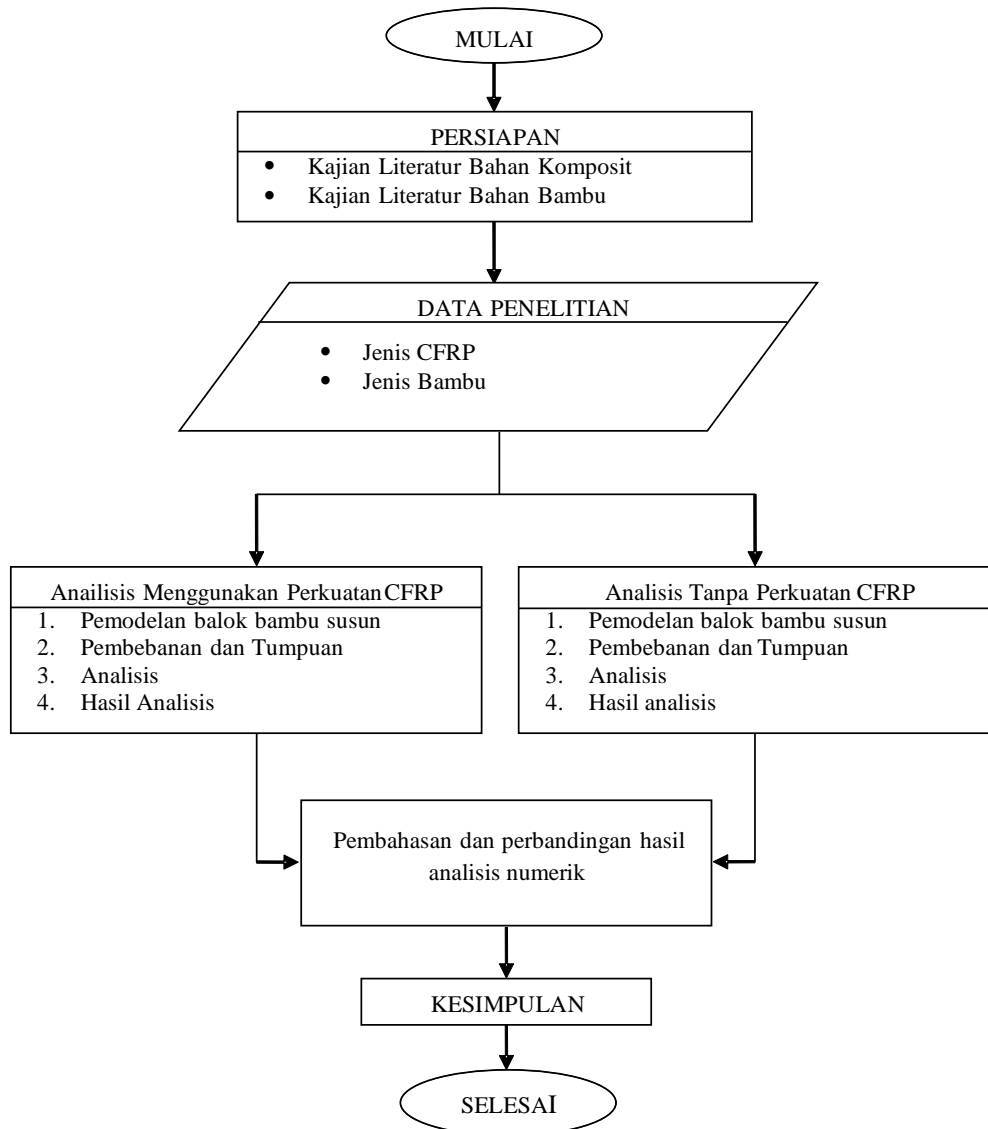
Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka diperlukan batasan-batasan sebagai berikut: beban diberikan terpusat dan pembebanan dilakukan dalam keadaan statis, pada analisis ini meninjau kekuatan balok bambu susun dengan perkuatan CFRP pada sambungan antar bambu berdasarkan tegangan yang terjadi, perhitungan analisis tegangan secara numerik dilakukan menggunakan *solid element* dengan bantuan program komputer.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: mengetahui tegangan desak akibat geser yang terjadi pada balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP dan tanpa perkuatan CFRP, mengetahui tegangan geser yang terjadi pada balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP dan tanpa perkuatan CFRP.

METODE PENELITIAN

Alur penelitian merupakan tahapan-tahapan kerja dari penelitian atau analisis ini yang merupakan acuan yang digunakan oleh peneliti dalam proses penelitian dari mulai awal sampai dengan selesainya penelitian ini. Secara umum alur penelitian ini ialah balok bambu susun dengan perkuatan dan tanpa perkuatan geser menggunakan CFRP akan dilakukan analisis numerik dengan pemodelan *solid element* menggunakan program Midas Gen 2019. Kemudian kedua hasil analisis numerik tersebut akan dibahas dan dibandingkan.

Alur penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1 Diagram alur penelitian

Kuat Tekan Bambu

Gaya tekan yang mampu ditahan oleh bambu dipengaruhi ada tidaknya ruas pada batang yang ditinjau. Bagian batang tanpa ruas memiliki kuat tekan (8 – 45) % lebih tinggi dari pada batang bambu yang beruas (Eratodi 2017:25), sedangkan hasil uji tekan bambu yang sudah dilakukan penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 1.

Kuat tekan batang bambu dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_{tk} = \frac{P_{tk}}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2 - 1)$$

dimana: P_{tk} = Beban tekan maksimum (N)
 A = Luas bidang tekan (mm²)

Tabel 1 Kuat tekan rata-rata bambu bulat

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
<i>Dendrocalamus asper</i> (bambu Petung)	Pangkal	277
	Tengah	409
	Ujung	548
<i>Bambusa vulgaris</i> (bambu Tutul)	Pangkal	532
	Tengah	543
	Ujung	464
<i>Gigantochloa verticilata</i> (bamboo Galah)	Pangkal	327
	Tengah	399
	Ujung	405
<i>Gigantochloa apus</i> (bamboo Apus)	Pangkal	215
	Tengah	288
	Ujung	335

Sumber: Morisco (1999)

Kuat Tarik Bambu

Batang bambu yang digunakan sangat menentukan besarnya gaya tarik yang mampu ditahan oleh bambu. Bagian ujung memiliki kekuatan terhadap gaya tarik 12% lebih rendah dibanding dengan bagian pangkal (Eratodi 2017:25). Kuat tarik batang bambu dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_{tr} = \frac{P_{tr}}{A_n} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2 - 2)$$

dimana: P_{tr} = Beban tarik maksimum (N)
 A_n = Luas bersih bidang Tarik (mm²)

Menurut Yap (1983), kebanyakan pengujian atas bambu di Indonesia menghasilkan kekuatan tarik (tegangan patah untuk tarik) sebesar 250 sampai 1000 kg/cm², serta modulus kenyal sebesar 10000 sampai 30000 MPa. Pengujian ini juga menunjukkan kekuatan dan modulus kenyal bagian luar lebih besar daripada bagian dalam, juga kekuatan internodes lebih besar daripada nodes.

Kumar dan Dobriyal (1990) dalam Putriarani 2009, berdasarkan hasil penelitiannya menyatakan bahwa kekuatan bambu bagian luar lebih dari dua kali kekuatan bambu bagian dalam. Selanjutnya Morisco (1996), mengadakan pengujian kekuatan bambu Ori (*Bambusa Bambos Backer*), bambu Petung (*Dendrocalamus Asper Schult*), bambu Wulung (*Gigantochloa Verticillata Munro*), serta bambu Tutul (*Bambusa Vulgaris Schrad*). Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 2 terlihat bahwa kekuatan bambu dengan nodia lebih rendah dari bambu tanpa nodia.

Turunnya kekuatan ini disebabkan karena serat bambu di sekitar nodia tidak lurus, sebagian berbelok menjauhi sumbu batang sedang sebagian lain berbelok menuju sumbu batang. Dengan demikian perancangan batang tarik dari bambu harus didasarkan pada kekuatan bambu dengan nodia.

Turunnya kekuatan ini disebabkan karena serat bambu di sekitar nodia tidak lurus, sebagian berbelok menjauhi sumbu batang sedang sebagian lain berbelok menuju sumbu batang. Dengan demikian perancangan batang tarik dari bambu harus didasarkan pada kekuatan bambu dengan nodia.

Tabel 2 Kuat tarik bambu kering oven

Jenis Bambu	Kuat Tarik (MPa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco (1999)

Tabel 3 Kuat tarik rata-rata bambu pada berbagai posisi

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
<i>Dendrocalamus asper</i> (bambu Petung)	Pangkal	228
	Tengah	177
	Ujung	208
<i>Bambusa vulgaris</i> (bambu Tutul)	Pangkal	239
	Tengah	292
	Ujung	449
<i>Gigantochloa verticilata</i> (bamboo Galah)	Pangkal	192
	Tengah	335
	Ujung	232
<i>Gigantochloa apus</i> (bamboo Apus)	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174

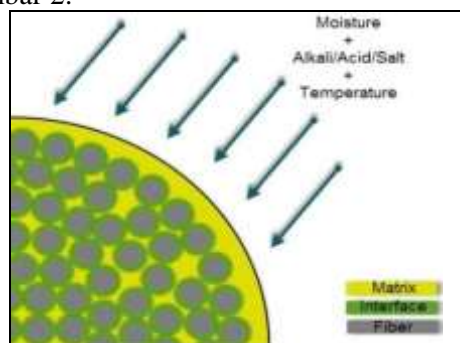
Sumber: Morisco (1999)

Kekuatan tarik serat bambu yaitu suatu ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya untuk menahan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kekuatan tarik dibedakan menjadi dua macam yaitu kekuatan tarik tegak lurus serat dan kekuatan tarik sejajar serat. Kekuatan tarik sejajar arah serat merupakan kekuatan tarik yang terbesar pada bambu. Kekuatan tarik tegak lurus serat mempunyai hubungan dengan ketahanan bambu terhadap pembelahan (Yododibroto, 1979 dalam Putriariani 2009).

FRP (*Fiber Reinforced Polymer*)

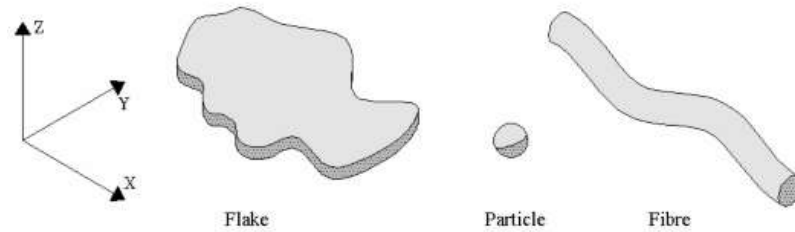
Banyak literatur telah mendeskripsikan polimer yang diperkuat dengan serat atau lebih terkenal dengan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) dan juga teknik pembuatannya antara lain Hyer, (1998), Powell (1994), Gibson (1994), Jones (1998). Para penyusunnya telah menampilkan istilah dan definisi menurut perspektif mereka, sehingga untuk menyatukan persepsi serta menghindari kerancuan, maka dalam penelitian ini diberikan penjelasan tentang bahan, istilah dan teknik pembuatannya.

Polimer berpenguat serat termasuk dalam salah satu kelompok bahan komposit khusus. Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa bahan komposit merupakan sebuah bahan yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang sangat berbeda dalam hal bentuk maupun komposisinya yang tidak dapat bercampur secara kimiawi satu sama lain. Bahan utama berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) yang mempunyai karakteristik mekanik tertentu yang diharapkan, sedangkan bahan lainnya merupakan unsur pengisi yang disebut matriks dan berperan untuk menyatukan secara komposit. Kinerja tertentu dari bahan yang sudah menyatu secara komposit lebih tinggi dari bahan pembentuknya secara terpisah. Interface merupakan material ketiga akibat reaksi adhesif atau ketidaksempurnaan lekatan antara matriks dan serat, (Kaminski, 2002) seperti yang ada dalam Gambar 2.

**Gambar 2** Permukaan kontak (interface) antara serat dan pengisi

Sumber: McDaniel dan Knight (2014)

Kebanyakan matrik penyusun aslinya menggunakan bahan organik yang dibuat dari beberapa bahan polimer atau plastik, namun karena jenis ini memiliki ketahanan yang rendah terhadap pengaruh suhu tinggi, maka sering dipakai matriks anorganik seperti logam atau keramik untuk kondisi seperti ini. Bahan penguat (fiber) bisa juga bersifat organik atau anorganik dalam kondisi aslinya sebagaimana matriks. Bahan penguat bisa berbentuk kepingan, partikel atau serat (Springolo, 2005) seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Variasi bahan penguat untuk komposit (tidak dalam skala)

Sumber: Springolo (2005)

Ditinjau dari segi struktural, sifat mekanis terbaik dimiliki oleh penguatan dengan serat, selain itu bahan serat juga bisa kita dapatkan dengan mudah di pasaran dan dapat juga diperoleh dari bahan alami, misalkan kayu yang terdiri dari serat selulosa dan lignin.

Unsur Pembentuk FRP

Sesuai dengan namanya, *FRP (Fiber Reinforced Polymer)* merupakan material yang terbuat dari serat sebagai penguat, dan unsur lain yang mengisi adalah resin, *filler* dan aditif. Serat memberikan perkuatan yang utama untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan tarik. Resin merupakan matriks yang berfungsi mengikat serat di dalamnya, selain itu resin juga memberikan kekuatan tekan yang tinggi.

Setiap komponen memiliki fungsi yang saling berkaitan antara satu dengan yang lain. Sebagai material alternatif dalam dunia konstruksi yang mana memiliki kelebihan ringan dan kuat, bahan FRP tersebut harus memenuhi persyaratan konstruksi dalam menawarkan keunggulannya. Keunggulan FRP salah satunya ialah bahan ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga walaupun terbakar bahan ini tidak akan mudah berubah bentuk. Untuk mendapatkan keunggulan dari FRP, salah satu hal yang memiliki peranan penting adalah unsur pembentuk dari FRP tersebut.

Serat

Serat sebagai perkuatan merupakan unsur penting dalam pembuatan material komposit. Telah banyak upaya yang dilakukan baik dalam penelitian atau pengembangan mengenai efek-efek serat dalam jenis, fraksi volume, desain dan orientasi. Secara umum prosentase serat dalam pembuatan material komposit sebesar 30% – 70% dari volume matriks. Perlakuan yang dapat dilakukan pada serat antara lain dapat dicincang, ditenun, dijahit dan/atau dikepang. Serat yang paling banyak digunakan dalam *FRP (Fiber Reinforced Polymer)* untuk digunakan pada struktural adalah *Glass fiber*, aramid, dan karbon. *Glass fiber* adalah serat yang harganya agak terjangkau tetapi mutunya sangat rendah, sedangkan *carbon fiber* adalah serat yang harganya agak mahal tetapi memiliki kekuatan yang sangat tinggi bahkan melebihi kekuatan baja. Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system *Carbon Fiber Reinforced Polymern (CFRP)* adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas.

I. H. Ismadi dan G. Nugroho (2020) dalam jurnalnya yang berjudul *Tensile Strength of Carbon Fiber/Epoxy Composite Manufactured by the Bladder Compression Molding Method at Variable Pressure Levels* membahas tentang pengujian kuat tarik CFRP, dimana metode pembuatan benda ujinya menggunakan cetakan yang diberi tekanan, sehingga rongga yang

terdapat pada benda uji CFRP tersebut bisa diminimalkan. Pengujian kuat tarik CFRP dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Pengujian kuat tarik benda uji CFRP
Sumber: I. H. Ismadi dan G. Nugroho (2020)

Sobuz, Ahmad, Hasan, Uddin (2011) menyatakan hasil uji tarik dari jenis *Unidirectional CFRP laminates* dengan ketebalan 1,2 mm yang diperoleh dari Sika Carbodur S1012/160 (2008) diuji di laboratorium untuk mendapatkan tegangan tarik putus, tegangan leleh, modulus elastisitas dan persentase perpanjangan ultimate sampai putus. *Material properties* lainnya dari *carbon fiber* dan perekat *epoxy* dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tarik CFRP

<i>Materials</i>	<i>Property</i>	<i>Values</i>
<i>CFRP laminate</i>	<i>Sheet form</i>	<i>Uni-directional roving</i>
	<i>Yield strength (MPa)</i>	1315
	<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>	165
	<i>Elongation at ultimate (%)</i>	2.15
	<i>Design thickness (mm/ply)</i>	1.2
	<i>Tensile strength (MPa)</i>	1685
	<i>Density (g/cm³)</i>	1,6
<i>Epoxy adhesive</i>	<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>	3
	<i>Elongation at ultimate (%)</i>	2.6
	<i>Tensile strength (MPa)</i>	55

Sumber: Habibur et al. (2011)

Serat sendiri berdasarkan material pembuatannya dibagi menjadi dua jenis yaitu serat *anorganic* dan serat *organic*. Berdasarkan Tabel 5 dapat kita lihat sifat mekanis dari beberapa tipe serat.

Tabel 5 Sifat mekanis serat

Serat	Diameter	Kerapatan	Kekuatan Tarik	Modulus Tarik
	(μm)	(kg/m^3)	(GPa)	(GPa)
<i>Anorganic</i>				
Serat Gelas (tipe E)	8 - 14	2540	3.45	72.4
Serat Gelas (tipe S)	8 - 14	2490	4.58	86.2
Keramik silikon karbit	100 - 150	3190	1.52	483
<i>Organic</i>				

Serat Karbon HS, T300	7	1760	3.53	230
Serat Karbon AS4	7	1800	4	228
Sert Karbon IM7	5	1800	5.41	276
Serat Karbon GY80	8.5	1960	1.86	572
Serat Aramid (Kevlar 49)	12	1440	3.62	130
Serat Boron	20 - 50	2600	3.44	407
Serat Poli - etilena	10 - 12	970	2.7	87

Sumber: ASM (2001)

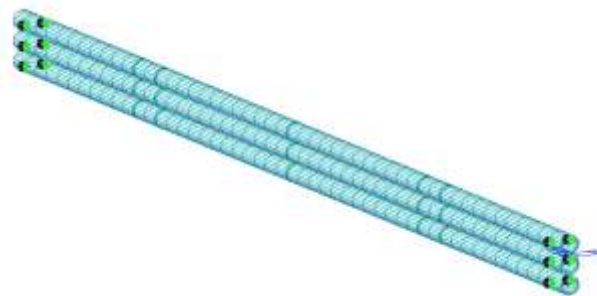
Matriks

Dalam pembahasan sebelumnya telah diulas bahwasannya serat memiliki modulus dan kekuatan yang tinggi pada arah sejajar sumbu memanjangnya, akan tetapi bahan ini apabila tanpa adanya material pengikat tidak mempunyai kapasitas tekan maupun geser, kecuali apabila bahan ini diikat dalam sebuah kekangan matriks atau resin sehingga dapat menjadi sebuah kesatuan struktur komposit FRP.

Dalam komposit resin adalah elemen yang penting. Resin memiliki dua jenis yaitu termoplastik dan termoset. Sebuah resin termoplastik memiliki sifat ketika pada suhu kamar akan berbentuk padat, akan meleleh ketika berada pada suhu tinggi dan mengeras bila suhunya diturunkan. Karena termoplastik tidak memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, maka ia tidak diaplikasi pada struktural di bidang teknik sipil. Sebaliknya, resin termoset memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi yang cukup baik yaitu antara 160°C sampai 350°C (Gay, dkk., 2003). Inilah yang menjadi alasan mengapa komposit resin termoset sangat diinginkan untuk diaplikasikan pada dunia teknik sipil.

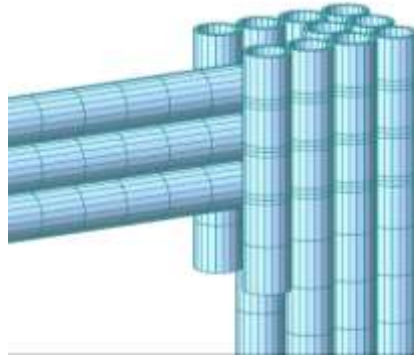
Pemodelan 3D Struktur Balok Bambu

Struktur balok bambu yang digunakan pada penelitian ini menggunakan konsep balok bambu susun, dimana balok bambu disusun secara vertikal dan setiap balok bambu langsung menumpu pada kolom bambu pada bagian ujungnya dengan menggunakan tumpuan sendi-sendi. Pemodelan balok bambu dapat dilihat pada Gambar 5 Berikut ini.



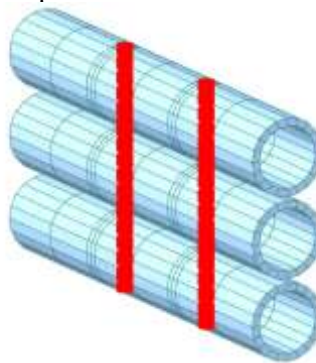
Gambar 5 Pemodelan balok bambu

Setiap balok bambu yang tersusun secara vertikal langsung menumpu kolom pada bagian ujungnya dengan perilaku sendi, sehingga balok tersebut pada bagian ujungnya masih bisa terjadi rotasi. Hal ini yang membuat struktur bambu memiliki kelebihan ketika menerima beban gempa. Struktur bambu seperti ini akan mampu bergoyang dan tidak terlalu kaku ketika ada beban gempa. Contoh pemodelan tumpuan balok bambu susun pada kolom bambu dapat dilihat pada gambar 6.



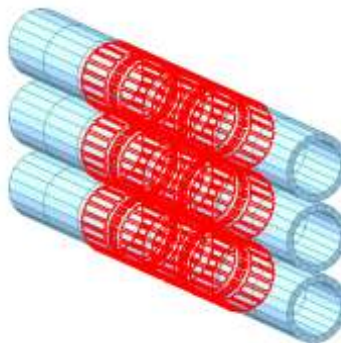
Gambar 6 Pemodelan tumpuan balok bambu susun pada kolom bambu

Balok bambu susun dihubungkan dengan menggunakan besi yang berfungsi sebagai *shear connector*. Pemodelan *shear connector* pada balok bambu susun dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Pemodelan *shear connector* pada balok bambu susun

Struktur balok bambu susun dengan menggunakan *shear connector* menggunakan besi memiliki kelemahan kurangnya kekuatan bambu ketika menerima beban desak dari besi *shear connector*. Kelemahan tersebut dapat diatasi salah satunya dengan menambahkan perkuatan pada bambu di sekitar *shear connector* menggunakan *carbon fiber reinforced polymer (CFRP)*. Pemodelan perkuatan bambu menggunakan CFRP pada daerah sekitar *shear connector* dapat dilihat pada gambar 8.

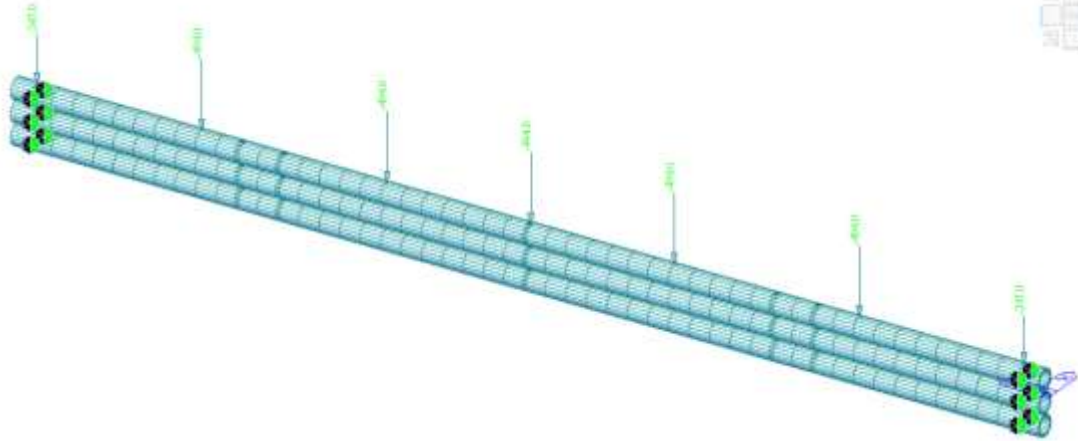


Gambar 8 Pemodelan perkuatan bambu menggunakan cfrp pada daerah sekitar *shear connector*

Pembebanan Struktur Balok Bambu

Dalam analisis ini, terdapat dua jenis beban yang digunakan, yaitu beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Beban mati (DL) mencakup beban lantai serta beban sendiri dari struktur bambu. Untuk balok, lebar area beban sebesar 3,33 m (1,67 m x 2) didapatkan dengan membagi beban secara proporsional menggunakan metode pembebanan amplop pada ruangan berukuran 5 m x 5 m. Perencanaan balok pada bangunan ini tidak dilakukan secara menerus, karena menggunakan konsep perencanaan balok bambu yang terpisah.

Beban merata pada balok bambu diubah menjadi beban terpusat pada titik-titik yang memiliki pengaruh yang paling signifikan dengan tumpuan sendi-sendi pada kedua ujungnya. Tujuannya adalah agar sistem struktur balok bambu dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan program bantu Midas Gen 2019. Berat sendiri dari balok bambu masuk kedalam beban mati (DL) dengan menggunakan *selfweight*. Gambar 9 menunjukkan bagaimana pendistribusian beban mati merata (Q_{dl}) menjadi beban mati (P_{dl}) terpusat.



Gambar 9 Beban mati terpusat (P_{dl}) dari pendistribusian beban mati merata (Q_{dl})

HASIL DAN PEMBAHASAN

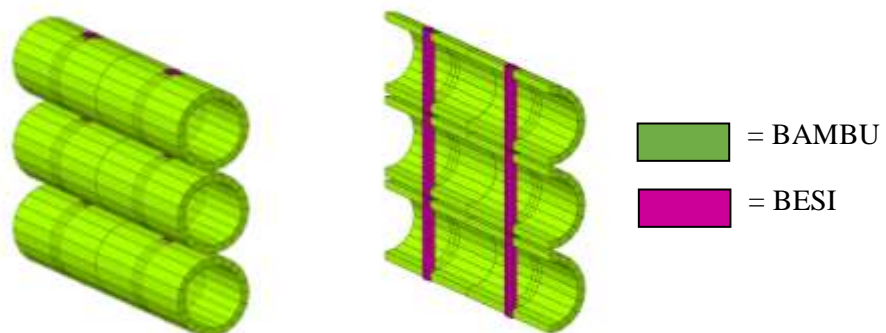
Analisis Tegangan Desak pada Daerah *Shear Connector*

Tegangan desak pada daerah sekitar *shear connector* merupakan tegangan tekan yang timbul pada bambu akibat pergeseran antara balok bambu yang tersusun. Sebuah balok yang terbuat dari bambu yang disusun, kemudian bambu susun tersebut dihubungkan oleh besi yang berfungsi sebagai *shear connector* akan membuat bambu susun tersebut mengalami perilaku dimana pada tengah bentang bambu yang berada di atas akan cenderung berperilaku tekan dan bambu yang berada di bawah akan berperilaku tarik, sehingga pergeseran antara balok bambu susun ini yang mengakibatkan tegangan tekan pada daerah sekitar *shear connector*. Daerah bambu yang terdapat *shear connector* dapat dilihat pada gambar 10.

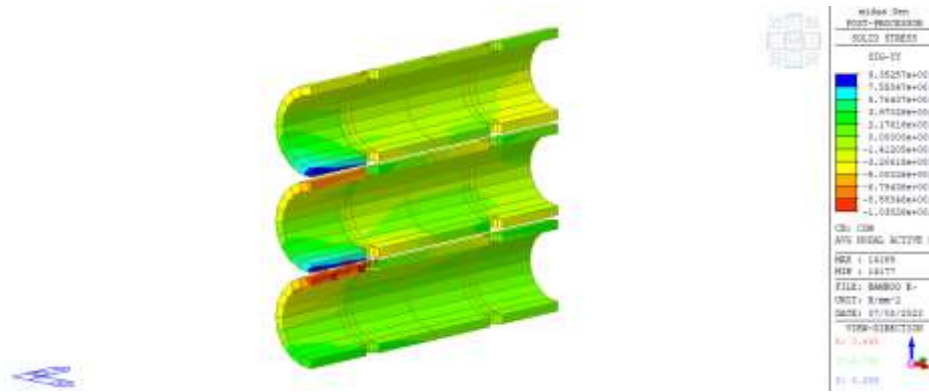


Gambar 10 Daerah bambu yang terdapat *shear connector*

Pemodelan secara *solid element* untuk melakukan analisis tegangan pada bambu yang terdapat *shear connector* dapat diperjelas pada gambar 11 berikut ini.

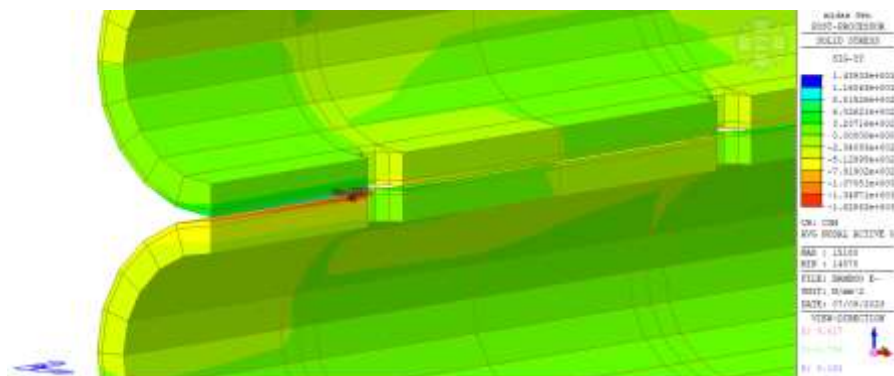


Gambar 11 Pemodelan *solid element* analisis tegangan pada bambu yang terdapat *shear connector*



Gambar 14 Analisis *solid element* tegangan desak pada daerah sekitar *shear connector* balok bambu menggunakan perkuatan CFRP

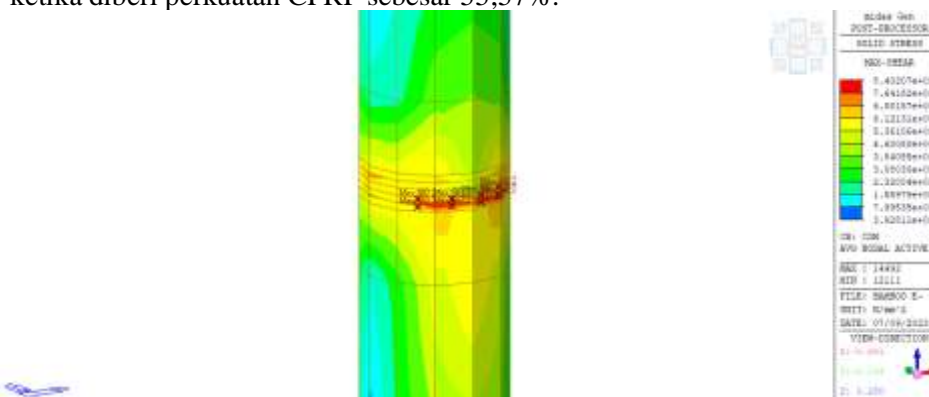
Penurunan tegangan desak pada bambu dimana terdapat *shear connector* dikarenakan tegangan desak yang ada pada daerah tersebut ditahan oleh CFRP sebesar 1628,62 N/mm², karena modulus elastisitas CFRP jauh lebih besar daripada modulus elastisitas bambu. Hal ini dapat dilihat dari analisis *solid element* yang disajikan pada gambar 15.



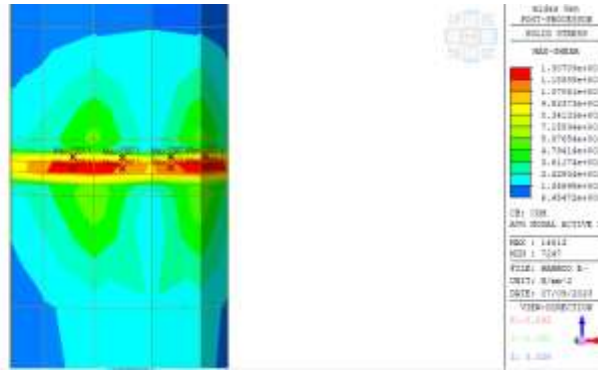
Gambar 15 Analisis *solid element* tegangan desak pada CFRP

Analisis Tegangan Geser pada *Shear Connector*

Penghubung antara bambu susun yang digunakan sebagai struktur balok menggunakan baja dengan diameter 20 mm yang berfungsi sebagai *shear connector* yang dipasang sebanyak masing-masing dua buah pada seperempat bentang. Berdasarkan analisis *Solid Element* yang dilakukan diperoleh besarnya tegangan geser baja pada bambu tanpa perkuatan CFRP sebesar 840,21 N/mm² yang dapat dilihat pada gambar 16. Sedangkan pada bambu dengan perkuatan CFRP diperoleh tegangan pada baja *shear connector* sebesar 1307,09 N/mm² yang dapat dilihat pada gambar 17. Berdasarkan analisis tersebut diperoleh peningkatan tegangan geser yang terjadi pada baja *shear connector* ketika diberi perkuatan CFRP sebesar 55,57%.



Gambar 16 Analisis *solid element* tegangan geser baja *shear connector* pada bambu tanpa perkuatan CFRP



Gambar 17 Analisis *solid element* tegangan geser baja *shear connector* pada bambu menggunakan perkuatan CFRP

DAFTAR PUSTKA

- Advanced Composite Materials, Chapter 7. From <http://www.faa.gov/regulations/policies/handbooks/manuals/aircraft>, 5 Desember 2015.
- ASM International Handbook Committee. 2001. *Composites*: Volume 21 of ASM Handbook.
- Bosbambu. 2022. Bambu Apus/Tali Panjang 6 Meter 500 Batang. Tokopedia. From <https://www.tokopedia.com/bosbambu/bambu-apus-tali-panjang-6-meter-500-batang>.
- Chen, H., Cheng, H., Wang, G. *et al.* Tensile properties of bamboo in different sizes. *J Wood Sci* 61, 552–561 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1511-x>.
- Colan Australia, Composite Reinforcements Fabric and Tape Product Range. From www.colan.com.au/compositereinforcement, 5 Desember 2015.
- Eratodi, I Gusti Lanang Bagus. 2017. *Struktur dan Rekayasa Bambu*. Denpasar Bali: Universitas Pendidikan Nasional.
- Fiberglass Tanks, Purdue Extension, Purdue University. From www.the-education-store.com, 5 Desember 2015.
- Gay, D., Hoa, S.V. & Tsai, S.W. 2003. *Composite Materials: Design and Applications*. CRC Press, LLC.
- Ghavami K. 1988. Application of Bamboo as a Low-cost Construction Material : hal. 270-279. In Rao, I.V.R., Gnaharan, R. & Shastry, C.B., *Bamboo Current Research*, The Kerala Forest Research Institute-India, and IDRC Canada.
- Gibson, R. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. McGraw-Hill Company.
- Ginoga, B. 1977. *Sifat Fisis dan Mekanis Bambu Apus (Gigantochloa Apus Kurz) dan Bambu Hitam (Gigantochloa Nigrocillata Kurz)*. Laporan Intern Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Bogor.
- Haryanto, U.T. 2010. *Polimer Termoplastik dan Termosetting*. From <http://rinapuspita996.blogspot.co.id/2014/02>, 5 Desember 2015.
- Horse Construction. 2022. Unidirectional Carbon Fiber Cloth. From <https://www.horseen.com/ueditor/php/upload/image/20200923/1600851681606462.jpg>.webp.
- Hyer, M.W. 1998. *Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials*. Singapore: WCB McGraw Hill Company.
- Ismadi, I. H & G. Nugroho. (2020). Tensile Strength of Carbon Fiber/Epoxy Composite Manufactured by the Bladder Compression Molding Method at Variable Pressure Levels. *Journal of Materials Processing and Characterization*. 1(1): (2020) 14-21.
- Jones, R. M. 1998. *Mechanics of Composite Materials*. McGraw-Hill Book Company.
- Jual Beli Online Sakra Barat. 2020. Bambu Galah untuk Kandang Ayam. Facebook. From <https://www.facebook.com/357113511606718/photos/a.357114298273306/584286555556078/?type=3&theater>.
- Kamin'ski, Marcin. 2002. Stochastic problem of fiber-reinforced composite with interface defects. *Engineering Computations*, Vol. 19 Issue 7, pp.854 – 868.
- Kelompok Bambu Samuel. 2019. Bambu Petung, Ori, dan Jawa Panjang Minimal 10 Meter. Bumdeskota. From https://bumdeskota.id/menyediakan_bambu_petung_ori_dan_jawa_panjang_minimal_10_meter_130.

- Liese, W., 1980, Anatomy Of Bamboo: hal 161-164 In Lessard, G & Chouinard, A., *Bamboo Research in Asia*, Proceeding of a Workshop held in Singapore, 28-30 May 1980, Ottawa or IDRC.
- McDaniel, G. dan Chase K. (2014). *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites*. Design Training Expo 2014.
- Mirmehdi, Muhamad. 2016. The Effects of bamboo species and adhesive type on mechanical properties of laminated bamboo lumber (LBL). Qualification project as a doctoral requirement course of the graduate program in the field of Science and Technology of Wood at the Federal University of Lavras (UFLA).
- Morisco. 1996. Bambu Sebagai Rekayasa. Pidato Pengukuhan Jabatan Lector Kepala Madya dalam Bidang Teknik Konstruksi. Fakultas Teknik. Yogyakarta:UGM.
- Morisco. 1999. Rekayasa Bambu, Nafiri Offset, Komplek Yadara Blok V/12 Yogyakarta.
- Morisco. 2006. Teknologi Bambu. Bahan Kuliah Magister Teknologi Bahan Bangunan. Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Powell, P. 1994. *Engineering with Fiber-Polymer Laminates*. England: Chapman and Hall Inc.
- Prasetyo, Y. 2012. *Glass Fiber Reinforced Polymer dan Aplikasinya (Komponen Struktural)*. From <https://yudiprasetyo53.wordpress.com>, 13 September 2015.
- Prawirohatmodjo, S. 1976. Sifat Mekanika Kayu. Yayasan Pembinaan Fakultas Kehutanan. Yogyakarta :UGM.
- Putriariani, R. 2009. Pengaruh Isian Mortar terhadap Kuat Lentur Bambu. *Skripsi*. <http://lib.unnes.ac.id/954/1/2446.pdf>. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Siopongco, J.O.; Munandar, M. 1987. Technology manual on bamboo as building material. Forest Products Research and Development Institute, Los Baños, Philippines. 93 pp.
- Sobuz, Md. H.R., Ahamd, E., Hasa, N., Uddin, Md. A. (2011). Use of carbon fiber laminates for strengthening reinforced concrete beams. *International Journal of Civil and Structural Engineering*. Volume 2 Issue 1.
- Springolo, M. 2005. *New fiber – reinforced polymer box beam: Investigation of static behaviour*. Ph.D Thesis. University of Southern Queensland.
- Strongwell Fiberglass Building Solutions, Pultrusion Power. From www.strongwell.com, 5 Desember 2015.
- Sutapa, J.P.G. 1986. Pengujian Beberapa Sifat Anatomi Fisik dan Mekanik Bambu Apus. Legi dan Petung. Fakultas Kehutanan. Yogyakarta: UGM.
- Suthoni. 1983. Suatu Kajian tentang Pengawetan Bambu secara Tradisional untuk Mencegah Serangan Bubuk. Disertasi Doktor Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta: tidak diterbitkan.
- Uchimura, E. 1980. Bamboo Cultivation: hal. 151-160. In Lessard, G & Chouinard, A., *Bamboo Research In Asia*. IDRC.
- Yap, F.K.H. 1983. Bambu Sebagai Bahan Bangunan, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (DPMB), DPU dan Tenaga Listrik, Bandung.