



**PENGUATAN BALOK KAYU SENGON (PARASERIANTHES FALCATARIA)
DENGAN MENGGUNAKAN CFRP DALAM MENAHAN BEBAN LENTUR
(STRENGTHENING SENGON WOOD BEAM (PARASERIANTHES
FALCATARIA) USING CFRP TO RESIST FLEXIBLE LOADS)**

Aditya Purnama¹, Marthin Bagoes Nugroho²

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung¹

Jalan Kimangunsarkoro Beji, Kec. Boyolangu, Kab. Tulungagung 66233

Alamat korespondensi:

E-mail: purnamaaditya126@gmail.com

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung²

Jalan Kimangunsarkoro Beji, Kec. Boyolangu, Kab. Tulungagung 66233

Alamat korespondensi:

E-mail: onter0716@gmail.com

ABSTRACT

Sengon wood (Paraserianthes Falcataria) is one of the wood varieties that is often used in Indonesia in the forest industry. This type of wood was chosen because it grows quickly, can grow in various types of soil, has superior silvicultural properties, and the quality of the wood is suitable for use in making panels and for carpentry purposes. However, the disadvantage of using wooden beams is their inability to withstand bending loads.

So that the strength of wooden beams in withstanding bending loads can be increased, a method that can be applied is to use additional materials such as Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP is a material that has a high level of strength and stiffness and is resistant to corrosion.

In general, this series of research involves numerical analysis of sengon wood beams, both reinforced and unreinforced using CFRP, using solid element modeling in the Midas Gen 2019 program. After that, the results of the numerical analysis of the two conditions will be discussed and compared. Analysis of strengthening sengon wood beams with CFRP involves beams with dimensions of 6 cm wide, 12 cm high, and 400 cm long. The CFRP used in this research is a unidirectional mat (UDM) fiber type with a thickness of 2 mm. As the name suggests, this sheet has fibers oriented in one direction, where the fiber arrangement is maximized to withstand loads with an orientation in line with the direction of the fibers. Generally, this sheet is often used to strengthen beams and frames.

From the analysis results on sengon wood beams without CFRP reinforcement and beams reinforced with CFRP, it can be concluded that CFRP reinforcement resulted in a reduction in bending stress of 18.86%. In addition, there was a decrease in shear stress of 7.8% in the sengon wood beams reinforced with CFRP, as well as a decrease in deflection of 28.57% with the CFRP reinforcement.

Keywords: Sengon wood, CFRP, shear, deflection, bending

ABSTRAK

Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*) adalah salah satu varietas kayu yang seringkali digunakan di Indonesia dalam industri hutan. Jenis kayu ini dipilih karena pertumbuhannya yang cepat, mampu tumbuh di berbagai jenis tanah, memiliki sifat silvikultur yang unggul, dan kualitas kayunya cocok digunakan dalam pembuatan panel dan untuk keperluan kayu pertukangan. Meskipun demikian, kekurangan dari penggunaan balok kayu adalah ketidakmampuannya dalam menahan beban lentur.

Agar kekuatan balok kayu dalam menahan beban lentur dapat ditingkatkan, metode yang dapat diaplikasikan adalah memanfaatkan bahan tambahan seperti Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP adalah suatu materi yang memiliki tingkat kekuatan dan kekakuan yang tinggi, serta memiliki daya tahan terhadap korosi.

Secara umum, rangkaian penelitian ini melibatkan analisis numerik terhadap balok kayu sengon, baik yang diperkuat maupun yang tidak diperkuat dengan menggunakan CFRP, dengan menggunakan pemodelan elemen solid dalam program Midas Gen 2019. Setelah itu, hasil analisis numerik dari kedua kondisi tersebut akan dibahas dan dibandingkan. Analisis penguatan balok kayu sengon dengan CFRP

melibatkan balok dengan dimensi lebar 6 cm, tinggi 12 cm, dan panjang 400 cm. CFRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis serat unidirectional mat (UDM) dengan ketebalan 2 mm. Sesuai dengan namanya, lembaran ini memiliki serat yang berorientasi pada satu arah, dimana susunan serat dimaksimalkan untuk menahan beban dengan orientasi sejalan dengan arah serat tersebut. Umumnya, lembaran ini sering digunakan untuk penguatan balok dan frame.

Dari hasil analisis pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP dan balok yang diperkuat dengan CFRP, dapat disimpulkan bahwa penguatan CFRP mengakibatkan penurunan tegangan lentur sebesar 18,86%. Selain itu, terjadi penurunan tegangan geser sebesar 7,8% pada balok kayu sengon yang diperkuat dengan CFRP, serta penurunan lendutan sebesar 28,57% dengan adanya penguatan CFRP.

Kata kunci: Kayu Sengon, CFRP, Geser, Lendutan, Lentur

PENDAHULUAN

Balok kayu merupakan salah satu jenis struktur yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, baik untuk struktur atap, lantai, maupun struktur penyangga lainnya. Penggunaan kayu sebagai bahan balok struktur masih mengutamakan kayu yang memiliki jenis dan kualitas yang baik. Namun, semakin banyaknya penggunaan kayu dalam konstruksi, maka kayu dengan dimensi besar dan kualitas bagus semakin sulit didapatkan.

Kayu memiliki salah satu ciri khas yang sangat penting, yaitu ketersediaannya yang dapat diperbaharui. Sebagai bahan yang dapat diperbaharui, kayu tidak akan habis jika digunakan secara lestari dan dikelola dengan baik. Meskipun terdapat kemungkinan terjadinya kelangkaan pada jenis kayu tertentu, bahkan sampai punah, jenis kayu lain masih berpotensi untuk menggantikannya dengan kualitas yang tidak kalah bersaing.

Tersedia semakin sedikit pasokan kayu untuk berbagai keperluan, terutama dalam industri pengolahan kayu dan konstruksi, karena semakin berkurangnya ketersediaan kayu yang berasal dari hutan alam produksi. Sebagai gantinya, kayu yang lebih banyak tersedia saat ini berasal dari hutan tanaman dan hutan rakyat. Salah satu jenis kayu yang banyak digunakan adalah Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*), yang merupakan salah satu tanaman hutan industri di Indonesia. Jenis kayu ini dipilih karena pertumbuhannya yang sangat cepat, mampu tumbuh diberbagai jenis tanah, memiliki karakteristik silvikultur yang baik, dan kualitas kayunya dapat diterima untuk digunakan dalam industri panel dan kayu pertukangan. Namun, penggunaan balok kayu memiliki kelemahan yaitu kurang kuat dalam menahan beban lentur. Beban lentur adalah beban yang bekerja pada suatu struktur yang menyebabkan struktur tersebut membengkok atau lentur.

Untuk meningkatkan kekuatan balok kayu dalam menahan beban lentur, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan bahan tambahan seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). CFRP adalah material yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi dan tahan terhadap korosi.

Penggunaan CFRP sebagai material tambahan pada balok kayu dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan balok kayu sehingga mampu menahan beban lentur dengan lebih baik. Dalam penelitian ini, akan dilakukan studi tentang pengaruh penggunaan CFRP pada balok kayu sengon terhadap kekuatan dan kekakuan balok kayu dalam menahan beban lentur.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi para insinyur dan arsitek dalam merancang struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan lama, serta dapat memberikan kontribusi bagi industri konstruksi dalam penggunaan material alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Mengacu pada latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut: bagaimana tegangan lentur yang terjadi pada balok kayu sengon yang diberi perkuatan dengan CFRP, bagaimana tegangan geser yang terjadi pada balok kayu sengon yang diberi perkuatan dengan CFRP dan bagaimana lendutan yang terjadi pada balok kayu sengon yang diberi perkuatan dengan CFRP.

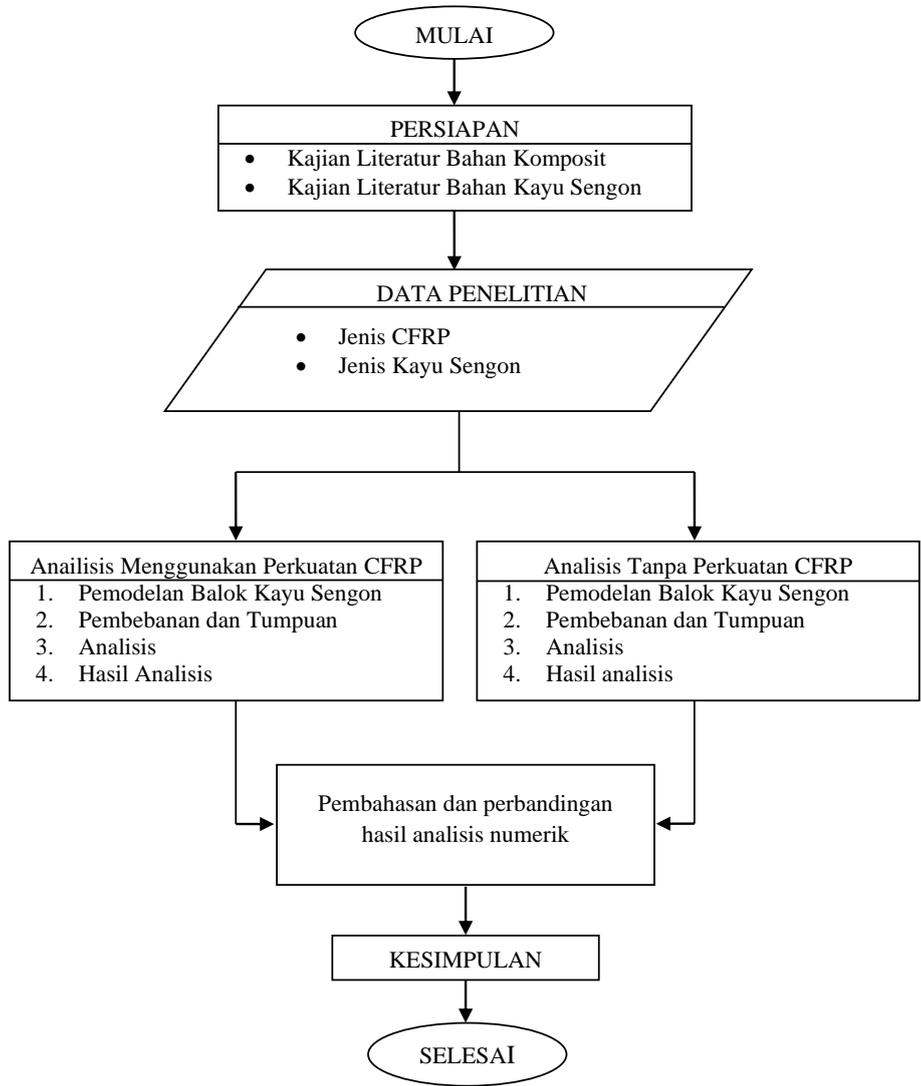
Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka diperlukan batasan-batasan sebagai berikut: beban diberikan terpusat dan pembebanan dilakukan dalam keadaan statis, pada analisis ini meninjau perkuatan balok kayu sengon dengan perkuatan CFRP berdasarkan tegangan yang terjadi dan perhitungan analisis tegangan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

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: mengetahui tegangan lentur yang terjadi pada balok kayu sengon yang diberi perkuatan dengan CFRP, mengetahui tegangan geser yang terjadi pada balok kayu sengon

yang diberi perrkuatan dengan CFRP dan mengetahui lendutan yang terjadi pada balok kayu sengon yang diberi perrkuatan dengan CFRP.

METODE PENELITIAN

Alur penelitian merupakan tahapan-tahapan kerja dari penelitian atau analisis ini yang merupakan acuan untuk digunakan oleh peneliti dalam proses penelitian dari mulai awal sampai dengan selesainya penelitian ini. Secara umum alur penlitian ini ialah balok kayu sengon dengan perkuatan dan tanpa perkuatan 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 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

Spesifikasi Kayu Sengon yang Digunakan

Analisis perkuatan balok kayu dengan menggunakan CFRP, dengan menggunakan balok kayu sengon (*paraserianthes falcataria*) dengan dimensi lebar balok 6 cm, tinggi balok 12 cm, dan panjang balok 400 cm. Pilihan jenis kayu sengon yang dapat digunakan pada analisis ini

dilihat pada gambar 3.2. Kayu Sengon masih banyak ditemukan di daerah Kabupaten Tulungagung, hal ini merupakan potensi yang dapat dimanfaatkan secara lebih baik.



Gambar 3.2 Balok kayu sengon

Sumber: <https://www.mirachinterior.id/wp-content/uploads/2021/07/kayu-balok-6x12-1-600x600.jpg>

Sifat Mekanik Kayu

Wahono dkk (2005: 71), menyatakan sifat mekanik terkait dengan kekuatan kayu yaitu kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar, gaya dari luar yang dimaksud adalah gaya yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah bentuk dan volume benda. Sifat mekanik kayu diperhitungkan untuk penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, perkakas seperti furniture atau mebel dan lain-lain. Secara umum hampir semua penggunaan kayu dituntut syarat kekuatan dalam penggunaannya. Beberapa macam kekuatan dari sifat mekanik kayu adalah: (a) kekuatan tarik; (b) kekuatan tekan; (c) kekuatan geser; (d) tegangan lengkung.

Sifat-sifat mekanik atau kekuatan kayu ialah kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar. Yang dimaksud dengan muatan dari luar ialah gaya-gaya di luar benda yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah benda dan besarnya benda. Hakekatnya hampir pada semua penggunaan kayu, dibutuhkan syarat kekuatan. Dalam hubungan ini dibedakan beberapa macam kekuatan sebagai berikut: (a) tegangan tarik; (b) tegangan tekan atau kompresi; (c) tegangan geser; (d) tegangan lengkung (lentur); (e) kekakuan; (f) keuletan; (g) kekerasan; (h) tegangan belah; (Dumanauw, 1984: 21).

Menurut Iensufrie (2009: 13-15), kayu yang digunakan sebagai bahan konstruksi artinya kayu tersebut dibutuhkan fungsi kekuatannya, karena kayu tersebut akan menjadi barang yang memiliki kegunaan bagi manusia. Misalnya untuk konstruksi jembatan, konstruksi rumah, furniture, lantai kayu, dan lain-lain.

a) Tegangan Tekan

Menurut Dumanauw (1984:21), tegangan tekan suatu jenis kayu ialah kekuatannya untuk menahan kekuatan jika kayu itu dipergunakan untuk penggunaan tertentu. Dalam hal ini dibedakan dua macam kompresi yaitu kompresi tegak lurus arah serat dan kompresi sejajar arah serat. Iensufrie (2009: 14) menyatakan, tegangan tekan atau kompresi adalah kekuatan kayu untuk menahan beban atau tekanan pada suatu titik. Pada semua kayu, tegangan kompresi yang tegak lurus dengan arah serat lebih kecil dari pada tegangan kompresi sejajar arah serat.

tegangan tekan sejajar arah serat kayu metode pengujian sesuai dengan ASTM D 143-52 ukuran benda uji 5 x 5 x 20 cm, Perhitungan tegangan tekan sejajar arah serat kayu dapat dihitung berdasarkan rumus (Rochadi, dkk, 1996: 22):

$$\sigma_{tk //} = \frac{P_{tk}}{l \cdot t}$$

tegangan tekan tegak lurus arah serat kayu Metode pengujian sesuai dengan ASTM D 143–52 ukuran benda uji 5 x 5 x 15 cm, Perhitungan tegangan tekan sejajar arah serat kayu dapat dihitung berdasarkan rumus (Rochadi, dkk, 1996:22) :

$$\sigma_{tk \perp} = \frac{P_{tk}}{l \cdot t}$$

dimana:

$\sigma_{tk //}$ = Tegangan tekan sejajar serat (kg/cm²)

$\sigma_{tk \perp}$ = Tegangan tekan tegak lurus (kg/cm²)

P_{tk} = Beban tekan maksimum (kg)

l = Lebar benda uji (cm)

t = Tinggi atau tebal benda uji (cm)

b) Tegangan Tarik

Dumanauw (1984:21) menyebutkan, kekuatan atau tegangan tarik suatu jenis kayu ialah kekuatan kayu untuk menahan gaya – gaya yang berusaha menarik kayu itu. Kekuatan tarik terbesar pada kayu ialah sejajar arah serat. Kekuatan tarik tegak lurus arah serat lebih kecil dari pada kekuatan tarik sejajar arah serat dan tegangan tarik ini mempunyai hubungan dengan ketahanan kayu terhadap pembelahan. Menurut Iensufrie (2009:13), yang dimaksud dengan tegangan tarik adalah kemampuan kayu untuk menahan gaya yang menarik kayu. Kekuatan tarik terbesar pada kayu ialah tegangan tarik sejajar dengan arah serat kayu.

Perhitungan tegangan tarik kayu dapat dihitung berdasarkan rumus (Rochadi, dkk, 1996: 42):

$$\sigma_{tr //} = \frac{P_{tr}}{l \cdot t}$$

dimana:

$\sigma_{tr //}$ = Tegangan tarik sejajar arah serat (kg/cm²)

P_{tr} = Beban tarik maksimum (kg)

l = Lebar belahan dalam (cm)

t = Tinggi belahan dalam (cm)

c) Tegangan Lentur

Iensufrie (2009: 14) menyatakan, tegangan lengkung atau kelenturan kayu adalah kemampuan kayu untuk melengkungkan diri ketika menahan tekanan di atasnya. Menurut Dumanauw (1984: 24) menyebutkan, tegangan lengkung atau lentur ialah kekuatan untuk menahan gaya – gaya yang berusaha melengkungkan kayu atau untuk menahan beban – beban mati maupun hidup selain beban pukulan yang harus dipikul oleh kayu tersebut, misalnya blandar.

Metode pengujian ada 2 cara yaitu menggunakan model dan ukuran sebenarnya. dengan model Metode pengujian sesuai dengan ASTM D 143 – 52 ukuran benda uji 5 x 5 x 76 cm, dengan jarak antar tumpuan 70 cm, pembebanan diberikan ditengah-tengah bentang secara statis. sedangkan ukuran sebenarnya sesuai dengan SNI 03-3975-1995 dengan panjang total 6h + 1m + 2h, dengan jarak antar tumpuan 6h + 1m, pembebanan diberikan ditengah-tengah bentang secara statis. Perhitungan tegangan lentur kayu dapat dihitung berdasarkan rumus (Rochadi, dkk, 1996: 8):

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot B \cdot H^2$$

$$\sigma_{lt} = \frac{\frac{1}{4} \cdot P \cdot L}{\frac{1}{6} \cdot B \cdot H^2} = \frac{6 \cdot P \cdot L}{4 \cdot B \cdot H^2} = \frac{3PL}{2BH^2}$$

dimana:

- σ_{lt} = Tegangan lentur maksimum (kg/cm²)
- M = Momen (kg.cm)
- W = Tahanan momen (cm³)
- P = Beban maksimum (kg)
- L = Jarak tumpu / bentangan (cm)
- B = Lebar benda uji (cm)
- H = Tinggi benda uji (cm)

d) Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah merupakan ukuran terhadap perpanjangan bila balok kayu mengalami tarikan, pemendekan apabila balok kayu mengalami tekakan selama pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan konstan. Besarnya modulus elastisitas kayu sejajar serat untuk masing-masing kelas kuat kayu (PKKI, NI-5,1991:6) terlihat pada tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Modulus elastisitas kayu

Kelas Kuat Kayu	Modulus Kenyal Sejajar Serat (kg/cm ²)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

Sumber: PKKI (1961)

Modulus elastisitas kayu sejajar serat dapat diperoleh dari pengujian kekuatan lengkung statik dengan mengukur lendutan (*Defleksi*) pada daerah pelengkungan selama pembebanan berlangsung.

Spesifikasi CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) yang Digunakan

CFRP yang digunakan dalam penelitian ini ialah menggunakan jenis fiber dengan serat yang digunakan ialah jenis *unidirectional mat* (UDM) dengan ketebalan 2 mm. 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*. Contoh dari *unidirectional mat* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Unidirectional mat CFRP

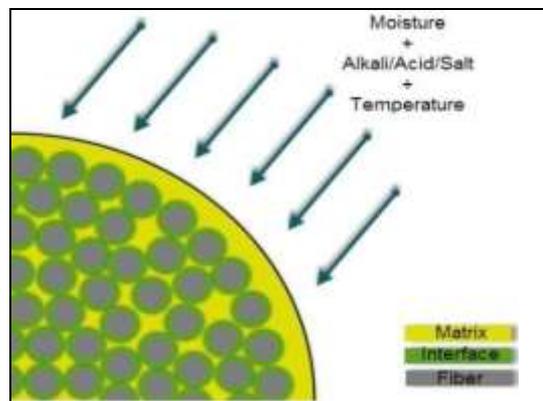
Sumber: <https://www.horseen.com/ueditor/php/upload/image/20200923/1600851681606462.jpg>. webp

Resin yang digunakan adalah *bisphenol Aepichlorohydrin* type resin epoxy yang dicampur dengan *cycloaliphatic anine* type EPH 55 *hardener epoxy* dengan perbandingan 1:1 sebagai matriks. Kekuatan dari CFRP ini adalah 435.56 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 51422 MPa.

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.

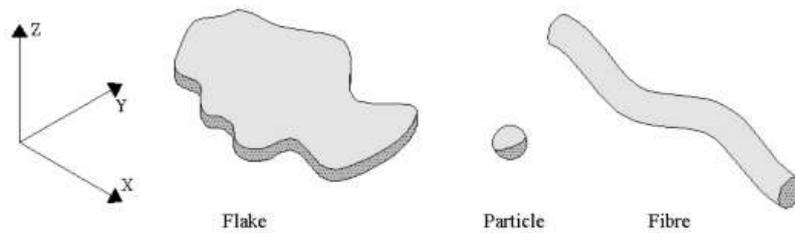
Polimer berpenguat serat termasuk dalam salah satu kelompok bahan komposit khusus. Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa bahan komposit merupakan sebuah bahan yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang sangat berbeda dalam hal bentuk maupun komposisinya yang tidak dapat bercampur secara kimiawi satu 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 2.2.



Gambar 2.2 Permukaan kontak (*interface*) antara serat dan pengisi

Sumber: McDaniel dan Knight (2014)

Kebanyakan matriks 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 2.3.



Gambar 2.3 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, ditunen, 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 uji CFRP tersebut bisa diminimalkan. Pengujian kuat tarik CFRP dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 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 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 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 2.6 dapat kita lihat sifat mekanis dari beberapa tipe serat.

Tabel 2.6 Sifat mekanis serat

Serat	Diameter (μm)	Kerapatan (kg/m^3)	Kekuatan Tarik (GPa)	Modulus Tarik (GPa)
Anorganic				
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
Organic				
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 satu 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 diaplikasikan 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.

Thermosetting resins

Thermosetting resins merupakan jenis matrik yang paling banyak digunakan. Secara umum jenis *thermosetting resins* yang sering digunakan dalam dunia teknik sipil antara lain *polyester*, *epoxydes*, dan *vinylesters*. Polimer termoseting merupakan polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer termoseting ini terkena suhu tinggi, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Polimer tipe ini memiliki sifat permanen pada model cetakan yang pertama kali (pada saat pembuatan). Bila benda berbahan polimer ini rusak maka tidak dapat dibuat ulang lagi. Polimer termoseting memiliki ikatan-ikatan silang yang mudah dibentuk ketika pada suhu tinggi, hal ini akan membuat polimer mengeras dan kaku. Semakin banyak ikatan silang di dalam polimer ini, maka akan semakin kaku dan menjadi mudah patah (getas). Polimer termoseting ini apabila dipanaskan untuk kedua kalinya akan mengakibatkan lepasnya ikatan silang antara rantai polimer. (Haryanto, 2010)

Haryanto (2010), Berikut ini merupakan sifat-sifat dari polimer termoseting, antara lain adalah sebagai berikut:

- Keras dan kaku.
- Jika dipanaskan akan mengeras.

- Tidak dapat dibentuk ulang.
- Tidak dapat larut dalam pelarut apapun.
- Jika dipanaskan untuk kedua kali akan meleleh.
- Tahan terhadap asam dan basa.
- Mempunyai ikatan silang antar rantai molekul

Dari beberapa jenis resin *thermosetting* yang paling banyak digunakan dalam membuat bahan komposit adalah jenis poliester tak jenuh, epoksi dan vinil ester yang sifat mekanisnya ditunjukkan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Sifat mekanis dari *termoset* tuang (230⁰C)

Sifat	Satuan	Polyester Tak Jenuh	Epoksid	Vinil ester
Densitas	Kg/m	1100 - 1400	1200 - 1300	1120 - 1320
Kekuatan Tarik	MPa	35.4 - 103.5	55 - 130	73 - 81
Modulus E. (tarik)	GPa	2.1 - 3.45	2.75 - 4.1	3 - 3.5
Rasio Poisson		0.2 - 0.3	0.2 - 0.33	0.2 - 0.3
Perpanjangan	%	1 - 5	4 - 8	3.5 - 5.5
Koefisien Perambatan Panas	10 ⁻⁶ m/m/ ⁰ C	30.9 - 60	50 - 80	52.6 - 64.8
Panas Distorsi	⁰ C	60 - 205	50 - 300	93 - 135
Susut Pemeliharaan	%	8 - 12	0.5 - 2	5.4 - 10

Sumber : Hyer (1998)

Pemodelan 3D Struktur Balok Kayu

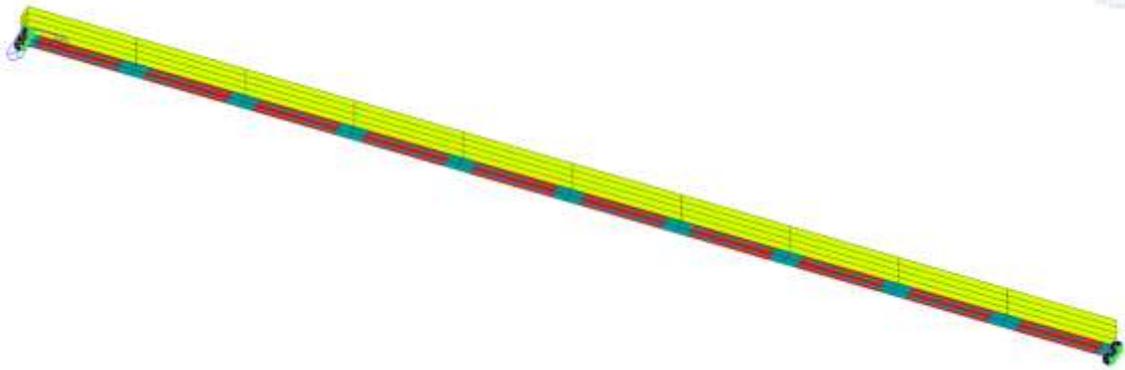
Struktur balok kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah balok balok kayu sengon (*paraserianthes falcataria*), dimana balok kayu sengon menggunakan dimensi lebar 6 cm, tinggi 12 cm, dan panjang 400 cm dengan menggunakan asumsi tumpuan sendi-rol pada kedua ujungnya. Struktur balok kayu dimodelkan dengan menggunakan *solid element* dengan dibagi menjadi beberapa sekmen agar dapat dianalisis untuk mencari tegangan yang terjadi pada balok kayu tersebut. Pemodelan struktur balok kayu sengon dapat dilihat pada Gambar 3.4 Berikut ini.



Gambar 3.4 Pemodelan struktur balok kayu sengon

Struktur balok yang menggunakan kayu sengon memiliki kelemahan yaitu rendahnya modulus elastisitas, dimana kebanyakan kayu sengon memiliki modulus elastisitas sebesar 19000 Mpa.

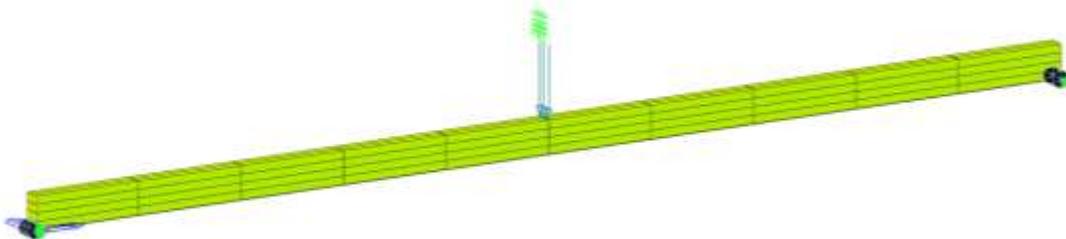
Hal ini mengakibatkan struktur balok yang menggunakan kayu sengon cenderung mengalami lendutan yang besar, karena hal tersebut membuat masyarakat enggan menggunakan kayu sengon sebagai struktur balok utama. Kelemahan tersebut dapat diatasi salah satu solusinya yaitu dengan perkuatan menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) pada serat yang mengalami tarik, hal ini dapat dilakukan karena CFRP memiliki modulus elastisitas yang tinggi, yaitu kurang lebih sebesar 165000 Mpa. Pemodelan perkuatan struktur balok kayu sengon menggunakan CFRP pada serat tarik dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pemodelan perkuatan balok kayu sengon menggunakan CFRP pada daerah serat tarik

Pembebanan Struktur Balok Kayu

Dalam analisis ini, pembebanan yang digunakan merupakan beban terpusat yang berada pada tengah bentang, hal ini ditujukan agar diperoleh tegangan lentur terbesar pada tengah bentang dan juga nanti bisa mengetahui tegangan gesar pada bagian kanan dan kiri balok. Pada analisis ini pembebanan yang digunakan secara terpusat pada tengah bentang memiliki total beban sebesar 1500 kg. Skema pembebanan struktur balok kayu sengon dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema pembebanan struktur balok kayu sengon

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tegangan Lentur *Ultimate*

Perhitungan tegangan lentur *ultimate* sangat penting dalam desain struktur, karena tegangan lentur *ultimate* merupakan tegangan lentur maksimum yang digunakan sebagai acuan untuk merencanakan sebuah elemen struktural agar tidak terjadi kegagalan struktur. Dengan mengetahui

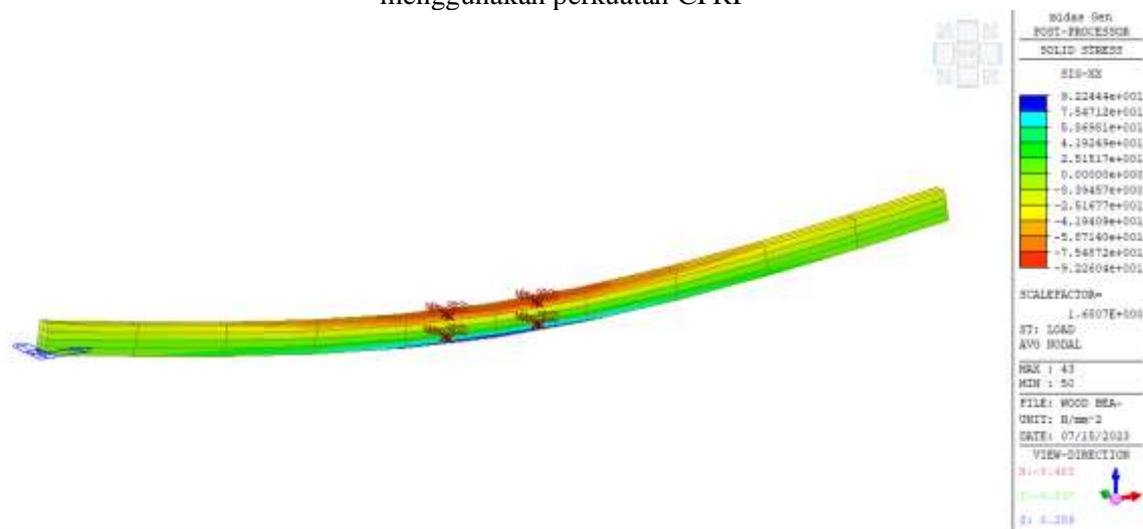
nilai tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon, kita dapat merencanakan balok kayu dan dapat memastikan bahwa balok tersebut mampu menahan beban dengan aman dan tidak akan mengalami kerusakan struktural. Perhitungan tegangna lentur *ultimate* akan dilakukan pada balok kayu sengon dengan perkuatan CFRP dan balok kayu sengon tanpa menggunakan perkuatan CFRP pada daerah serat tariknya.

Dengan menggunakan program Midas Gen 2019, dilakukan perhitungan tegangan lentur pada balok kayu sengon untuk menentukan tegangan lentur *ultimate*. Hasil perhitungan tegangan lentur pada balok kayu sengon dengan menggunakan perkuatan CFRP pada daerah serat tarik menunjukkan bahwa tegangan lentur positif terbesar terdapat pada tengah bentang pada serat bagian bawah dengan besarnya tegangan lentur 520,53 N/mm², sedangkan tegangan lentur negatif terbesar pada tengah bentang pada serat bagian atas dengan besarnya tegangan lentur 74,86 N/mm². Informasi mengenai analisis *solid element* tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon dengan menggunakan perkuatan CFRP dapat dilihat pada gambar 4.1.

Hasil perhitungan tegangan lentur pada balok kayu sengon tanpa menggunakan perkuatan CFRP pada daerah serat tarik menunjukkan bahwa tegangan lentur positif terbesar terdapat pada tengah bentang pada serat bagian bawah dengan besarnya tegangan lentur 92,24 N/mm², sedangkan tegangan lentur negatif terbesar pada tengah bentang pada serat bagian atas dengan besarnya tegangan lentur 92,26 N/mm². Informasi mengenai analisis *solid element* tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon dengan menggunakan perkuatan CFRP pada dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Analisis *solid element* tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon dengan menggunakan perkuatan CFRP

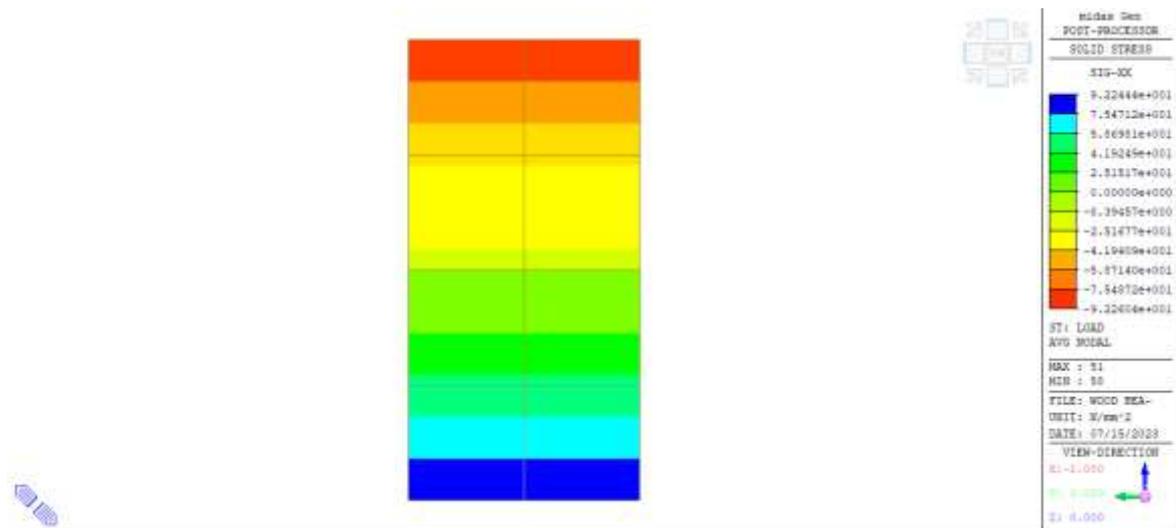


Gambar 4.2 Analisis *solid element* tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP

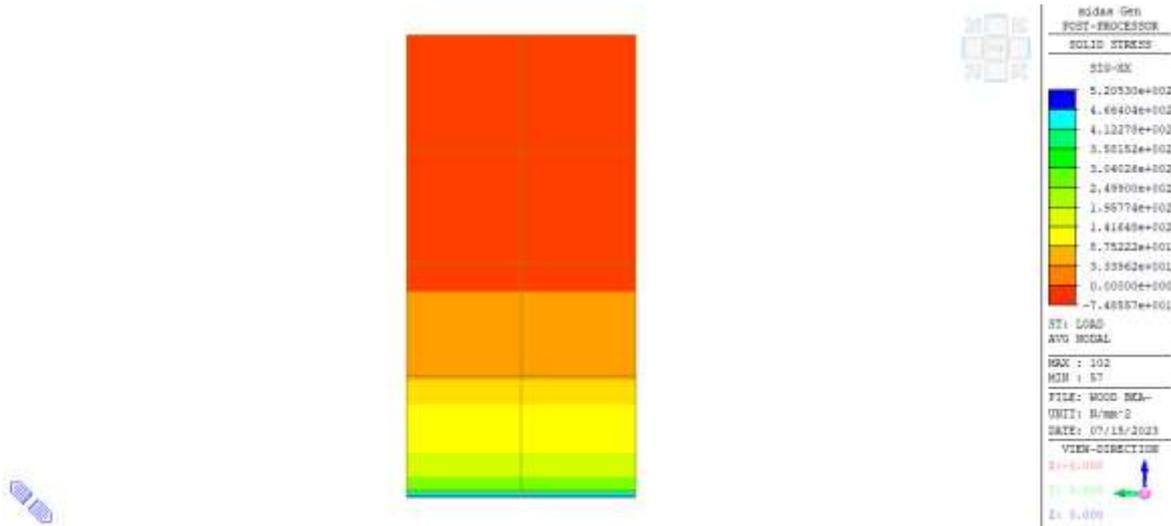
Gambar 4.1 dan gambar 4.2 memberikan visualisasi hasil perhitungan tegangan lentur *ultimate* pada balok kayu sengon dengan perkuatan CFRP dan tanpa perkuatan CFRP pada daerah serat tarik. Berdasarkan hasil analisis tersebut kita dapat melihat bahwa dengan penambahan CFRP pada daerah serat tarik ternyata memberikan pengaruh terhadap tegangan yang terjadi pada balok kayu sengon. Perkuatan CFRP tersebut membuat tegangan yang terjadi menurun sebesar 18,86 %. Penambahan CFRP pada balok kayu sengon selain menurunkan tegangan tekan yang terjadi pada balok kayu sengon, penambahan CFRP tersebut juga merubah digram tegangan yang terjadi pada balok kayu sengon.

Balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP yang diberikan beban terpusat pada tengah bentang menunjukkan pembagian tegangan tekan dan tegangan tarik yang merata pada balok kayu sengon tersebut, dimana dari tengah bentang ke atas terjadi tegangan tekan, sedangkan dari tengah penampang ke bawah menunjukkan daerah tegangan tarik, hal ini dapat kita lihat dengan jelas pada hasil analisis *solid element* tegangan lentur penampang balok kayu sengon gambar 4.3.

Penambahan CFRP sebagai perkuatan pada bagian serat tarik merubah diagram tegangan lentur yang terjadi pada balok kayu sengon seperti yang dapat kita lihat pada gambar 4.4, dimana kayu sengon menjadi dominan terjadi tegangan tekan dan tegangan tarik ditahan oleh CFRP, sehingga garis netral dimana tegangan nol terjadi menjadi turun ke bawah. Hal ini terjadi karena modulus elastisitas CFRP jauh lebih besar dari pada modulus elastisitas kayu sengon, sehingga gaya tarik yang ada dominan ditahan oleh CFRP.



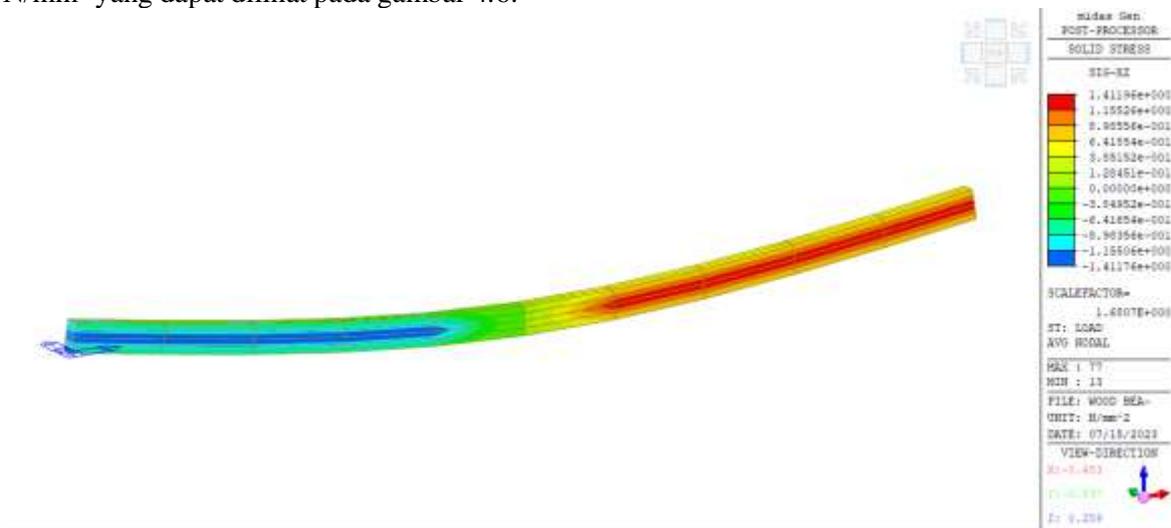
Gambar 4.3 Analisis *solid element* tegangan lentur pada penampang balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP



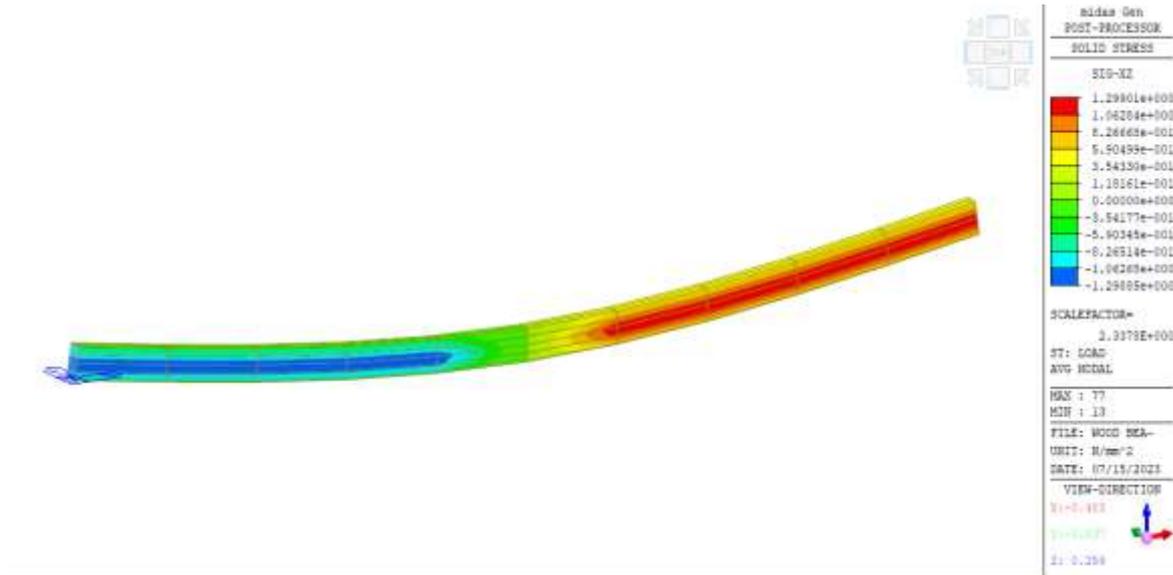
Gambar 4.4 Analisis *solid element* tegangan lentur pada penampang balok kayu sengon menggunakan perkuatan CFRP

Analisis Tegangan Geser

Sebuah struktur balok yang menumpu secara sendi -rol dan diberikan beban terpusat pada tengah bentang pasti akan menimbulkan gaya lintang yang akibatnya menimbulkan tegangan geser pada balok tersebut. Analisis *solid element* pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP menunjukkan besarnya tegangan geser yang terjadi sebesar 1,41 N/mm² yang mana dapat dilihat pada gambar 4.5. Sedangkan setelah diberi penambahan CFRP hasil analisis menunjukkan perubahan menjadi 1,3 N/mm² yang dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Analisis *solid element* tegangan geser baja *shear connector* pada bambu tanpa perkuatan CFRP

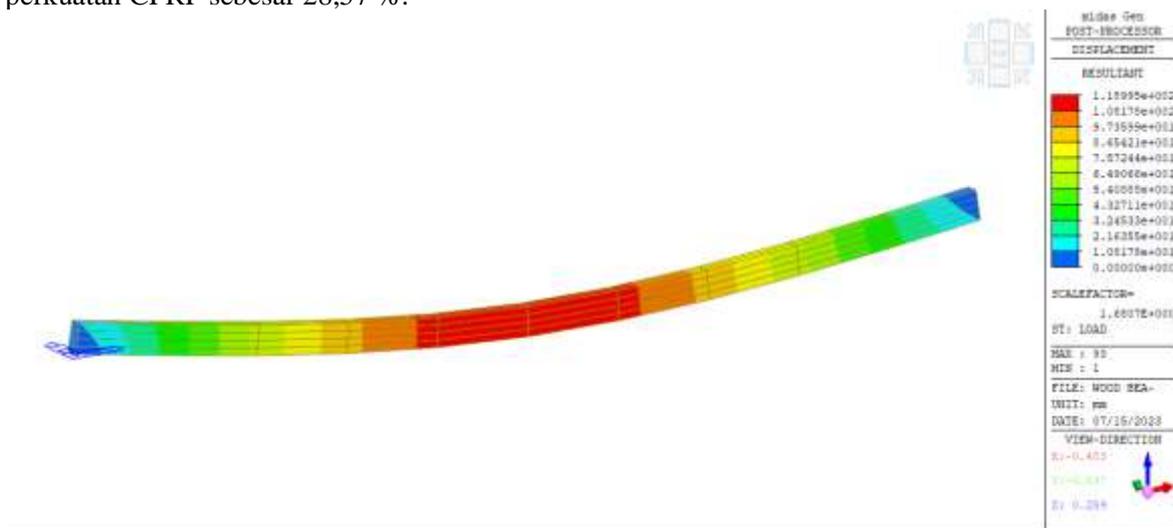


Gambar 4.6 Analisis *solid element* tegangan geser baja *shear connector* pada bambu menggunakan perkuatan CFRP

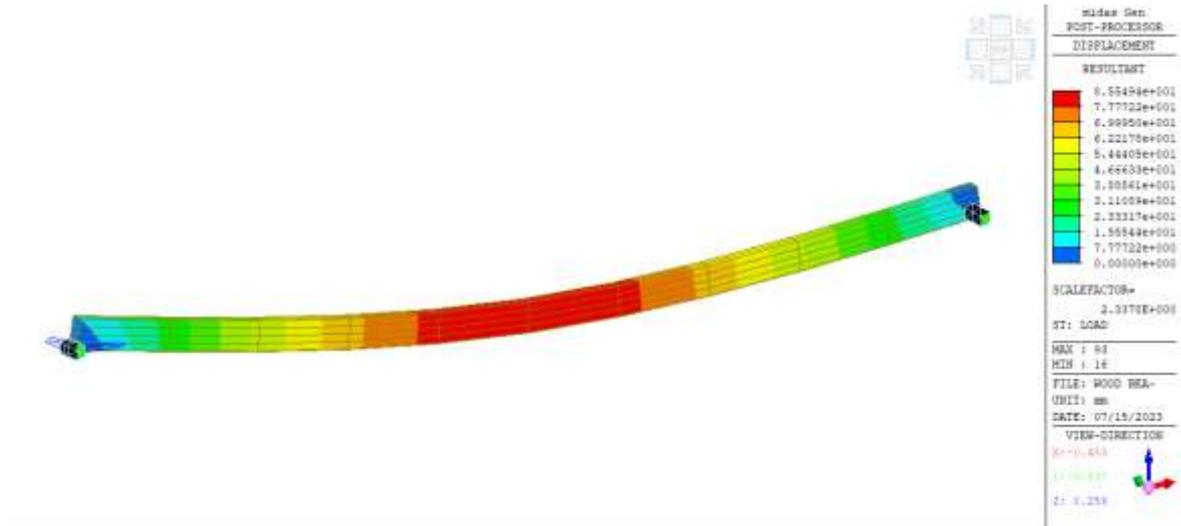
Berdasarkan analisis tersebut diperoleh penurunan tegangan geser yang terjadi pada balok kayu sengon dengan diberi perkuatan CFRP sebesar 7,8 %. Kalau diperhatikan hasil analisis pada gambar 4.5 dan gambar 4.6, selain penurunan tegangan geser perkuatan CFRP pada daerah serat tarik balok juga membuat daerah yang mengalami tegangan geser maksimum menjadi turun ke bawah.

Analisis Lendutan Balok Kayu

Lendutan balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP diperoleh sebesar 119 mm dengan bentang 4 meter yang dapat dilihat pada gambar 4.7, sedangkan lendutan balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP diperoleh sebesar 85 mm dengan bentangan 4 meter yang dapat dilihat pada gambar 4.8. Berdasarkan analisis lendutan tersebut diperoleh penuruanan lendutan dengan adanya perkuatan CFRP sebesar 28,57 %.



Gambar 4.7 Analisis lendutan pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP



Gambar 4.8 Analisis lendutan pada balok kayu sengon menggunakan perkuatan CFRP

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP dan dengan menggunakan perkuatan CFRP dapat diambil kesimpulan bahwa hasil perhitungan tegangan lentur pada balok kayu sengon tanpa menggunakan perkuatan CFRP pada daerah serat tarik menunjukkan bahwa tegangan lentur positif terbesar terdapat pada tengah bentang pada serat bagian bawah dengan besarnya tegangan lentur $92,24 \text{ N/mm}^2$, sedangkan tegangan lentur negatif terbesar pada tengah bentang pada serat bagian atas dengan besarnya tegangan lentur $92,26 \text{ N/mm}^2$. Hasil perhitungan tegangan lentur pada balok kayu sengon dengan menggunakan perkuatan CFRP pada daerah serat tarik menunjukkan bahwa tegangan lentur positif terbesar terdapat pada tengah bentang pada serat bagian bawah dengan besarnya tegangan lentur $520,53 \text{ N/mm}^2$, sedangkan tegangan lentur negatif terbesar pada tengah bentang pada serat bagian atas dengan besarnya tegangan lentur $74,86 \text{ N/mm}^2$. Perkuatan CFRP tersebut membuat tegangan lentur yang terjadi menurun sebesar 18,86 %.

Selain itu hasil analisis *solid element* pada balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP menunjukkan besarnya tegangan geser yang terjadi sebesar $1,41 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan setelah diberi penambahan CFRP hasil analisis menunjukkan perubahan menjadi $1,3 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan analisis tersebut diperoleh penurunan tegangan geser yang terjadi pada balok kayu sengon dengan diberi perkuatan CFRP sebesar 7,8 %.

Lendutan balok kayu sengon tanpa perkuatan CFRP diperoleh sebesar 119 mm, sedangkan lendutan balok bambu dengan menggunakan perkuatan CFRP diperoleh sebesar 85 mm. Berdasarkan analisis lendutan tersebut diperoleh penurunan lendutan dengan adanya perkuatan CFRP sebesar 28,57 %.

Berdasarkan analisis dan pengamatan yang dilakukan, agar penelitian berikutnya bisa menjadi lebih baik maka dapat disarankan beberapa hal. Pertama perlunya dilakukan analisis tentang perencanaan perkuatan CFRP, sehingga bisa diketahui kebutuhan yang tepat tentang ketebalan dan lebar CFRP, agar diperoleh hasil perencanaan perkuatan balok kayu sengon yang baik dan tepat. Kemudian sebaiknya dilakukan penelitian terkait material propertis kekuatan CFRP dan kayu sengon yang akan digunakan untuk merencanakan sebuah struktur bangunan. Selain itu juga perlunya dilakukan perbandingan biaya dan kemudahan dalam pengerjaan konstruksi antara memberi perkuatan dengan CFRP atau dengan mengganti kayu dengan mutu yang lebih bagus.

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.

- Awaludin, Ali dan Inggar Septhia I. 2005. *Konstruksi Kayu*. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Awaludin, Ali dan Inggar Septhia I. 2005. *Konstruksi Kayu*. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Balok Kayu Sengon. From <https://www.mirachinterior.id/wp-content/uploads/2021/07/kayu-balok-6x12-1-600x600.jpg>. Desember 2022.
- Colan Australia, Composite Reinforcements Fabric and Tape Product Range. From www.colan.com.au/compositereinforcement, 5 Desember 2015.
- Dumanauw, J.F. 1984. *Mengenal Kayu*. Edisi 2 Cetakan 2. Jakarta: PT. Gramedia.
- 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.
- Gibson, R. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. McGraw-Hill Company.
- Hartanto, Heri. 2011. *Cara Pembudidayaan Sengon*. Yogyakarta: Brilliant Books.
- Haryanto, U.T. 2010. *Polimer Termoplastik dan Termosetting*. From <http://rinapuspita996.blogspot.co.id/2014/02>, 5 Desember 2015.
- Heyne T. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- 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 Mc-Graw Hill Company.
- Iensufrie, Tikno. 2009. *Mengenal Teknik Pengeringan Kayu*. Surabaya: Erlangga.
- 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.
- Kamin'ski, Marcin. 2002. Stochastic problem of fiber-reinforced composite with interface defects. *Engineering Computations*, Vol. 19 Issue 7, pp.854 – 868.
- Krisnawati H., E. Varis, M. kallio dan M.Kannien. *Paraserianthes falcataria L. Nielsen Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Bogor: CIFOR (Center for International Forestry Research).
- McDaniel, G. dan Chase K. (2014). *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites*. Design Training Expo 2014.
- 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.
- Putri, S.E., Shulhan, M.A., Priyanto, A. 2020. Evaluasi Tegangan Tarik Acuan Kayu Lokal Berdasarkan SNI 7973:2013. *Jurnal Renovasi*. V (2). 29-35.
- Rochadi, dkk. 1996. *Pengujian Bahan Bangunan 2, untuk Mahasiswa Politeknik Jurusan Teknik Sipil*. Bandung: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.
- Setiadi Yadi. 2001. *Peranan mikoriza arbuskula dalam rehabilitasi lahan kritis di Indonesia*. Bogor: IPB.
- 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.
- Soerianegara, I. dan Lemmens, R. H. M. J. 1993. *Plant Resources of South-East Asia 5(1): Timber Trees: Major Commercial Timbers*. Belanda: Pudoc Scientific Publishers.
- Springolo, M. 2005. *New fiber – reinforced polymer box beam: Investigation of static behaviour*. Ph.D Thesis. University of Southern Queensland.
- Steenis Van. 1992. *Flora*. Diterjemahkan oleh M.Soerjowinoto. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Strongwell Fiberglass Building Solutions, Pultrusion Power. From www.strongwell.com, 5 Desember 2015.
- Sutarno. 2003. *Pengaruh Posisi Dan Jumlah Sambungan Longitudinal Pada Balok Laminasi Kayu*

Sengon Terhadap Kekuatan.Semarang. Yayasan Alumni Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Universitas Semarang.
Wahono, dkk. 2005. Perawatan Koleksi Kayu Museum Ronggowarsito. Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Museum Jawa Tengah Ronggowarsito. Semarang.