

PENGARUH BESAR DAN POSISI BEBAN TERHADAP MOMEN, DEFLEKSI DAN REGANGAN PADA BALOK MELINTANG JEMBATAN KOMPOSIT BAMBU

Tatang Fendy Harianto, Sri Murni Dewi, Hendro Suseno
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan M.T. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur - Indonesia
E-mail: timez_taq2@yahoo.com

ABSTRAK

Potensi bambu sebagai salah satu material yang memiliki kuat tarik sejajar serat yang cukup tinggi, diharapkan dapat menjadi material alternatif pengganti tulangan baja. Hal tersebut membuat banyak dilakukannya penelitian terhadap material bambu. Penulis juga tertarik untuk meneliti penggunaan bambu sebagai tulangan pada struktur jembatan rangka beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besar dan posisi beban terhadap momen, defleksi dan regangan pada balok melintang jembatan komposit bambu dengan melakukan pengujian langsung pada jembatan. Pada penelitian ini, digunakan sebuah benda uji berupa jembatan komposit bambu dengan gelagar induk berupa rangka. Untuk mengetahui pengaruhnya terhadap momen, defleksi dan regangan pada balok melintang, dilakukan pemasangan LVDT pada 6 titik sesuai dengan perencanaan dan pemasangan *strain gauge* pada tulangan bambu yang terdapat pada 2 buah balok. Pemberian beban dilakukan secara bertahap yaitu diawali dengan beban garis 50kg/m, 100kg/m kemudian 150 kg/m. Pada setiap pembebanan, beban diletakkan secara bertahap pada 5 posisi yang telah ditentukan pada bentang jembatan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh posisi terhadap momen, defleksi dan regangan yang terjadi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh yang terjadi akibat besar dan posisi beban terhadap momen, defleksi dan regangan yang terjadi pada balok melintang jembatan komposit bambu. Pemodelan struktur terhadap titik hubung antara balok melintang dan gelagar induk pada jembatan komposit bambu dapat dipertimbangkan dengan pemodelan tumpuan jepit-jepit, tetapi juga dapat dimodelkan dengan tumpuan sendi-sendi.

Kata Kunci : Balok, Pemodelan Struktur, Momen, Defleksi, dan Regangan

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang hampir dua pertiga permukaan wilayahnya adalah lautan, sehingga membutuhkan suatu infrastruktur untuk menghubungkan daratan yang satu dengan yang lain, misalnya jembatan. Jembatan merupakan salah satu infrastruktur yang berfungsi untuk me-lewatkan suatu massa atau traffic yang melintasinya melewati suatu penghalang. Keberadaan jembatan sangatlah penting mengingat keadaan topografi di Indonesia yang beraneka ragam.

Beton dan baja merupakan material yang telah banyak digunakan sebagai bahan utama dalam pembangunan jembatan. Beton sebagai material yang memiliki kuat tekan tinggi, namun di sisi lain beton juga memiliki kuat tarik yang rendah sehingga penguatan tarik dan geser diberikan pada tulangan baja. Tulangan baja digunakan karena baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi akan tetapi perlu diingat bahwa baja merupakan sumber daya alam (SDA) yang tidak dapat diperbaharui sehingga suatu saat keberadaannya akan habis. Bambu sebagai salah satu sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan juga

memiliki kuat tarik sejajar serat yang tinggi, membuat bambu menjadi menarik untuk diteliti sebagai material pengganti tulangan baja.

Penggunaan bambu sebagai tulangan pada beton telah lama diteliti. Melalui penelitian Khare yang meneliti balok beton bertulang bambu dan menyimpulkan bahwa bambu sangat potensial menggantikan baja. Wonlele, dkk yang meneliti penggunaan bambu sebagai tulangan pada rangka batang beton dan menyimpulkan bahwa rangka batang beton bertulang bambu cukup berpotensi menggantikan rangka batang kayu. Berangkat dari hasil-hasil penelitian tersebut, penulis mencoba untuk menggunakan bambu sebagai tulangan pada jembatan khususnya pada elemen struktur balok.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Ingin mengetahui perbandingan momen, defleksi, dan regangan yang terjadi pada balok melintang dengan hasil analisa teoritis akibat posisi dan besarnya beban.
2. Ingin mengetahui distribusi momen lapangan yang terjadi jika dibandingkan dengan tumpuan jepit-jepit dan sendi-sendi teoritis.

TINJAUAN PUSTAKA

Balok (*Beam*) adalah salah satu elemen struktur yang digunakan untuk mentransfer beban vertikal secara horizontal. Meskipun dianggap sederhana dalam hal konstruksi, balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan elemen struktur yang lain, misalnya rangka batang maupun kabel. (Schodek, 1998).

Penggunaan bambu sebagai tulangan pada elemen balok memerlukan perencanaan tulangan minimum. Perencanaan tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya tulangan yang putus

secara mendadak akibat dibebani secara lentur (Kusuma & Vis, 1994).

Berdasarkan penelitian Ghavami (2004) menyimpulkan persentase ideal tulangan bambu terhadap penampang melintang balok adalah 3%. Selain itu, penelitian yang dilakukan *The United States Naval Civil Engineering Laboratory* (1966, 2000) merekomendasikan persentase minimum tulangan bambu terhadap penampang melintang balok adalah 3 - 4% untuk menghasilkan nilai beban optimum.

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk memudahkan proses analisis. Pemodelan efektif bergantung pada perilaku eksak struktur pada titik hubung elemen struktur karena sifat gaya-gaya reaksi yang timbul pada benda yang dibebani tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau dihubungkan dengan benda lain. Untuk memudahkan analisis, titik hubung dapat dimodelkan sebagai salah satu jenis dari jenis-jenis dasar (sendi, jepit, rol) (Schodek, 1998).

Momen

Momen adalah setiap gaya yang bekerja pada suatu benda, yang akan menyebabkan benda tersebut mengalami translasi dalam arah gaya itu. Secara sederhana momen dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M = P \cdot a \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

M = Momen

P = Gaya luar/beban

a = Jarak \perp antara gaya P terhadap titik yang ditinjau

Defleksi

Defleksi pada suatu konstruksi dapat ditentukan sebagai bidang/diagram momen \bar{M} oleh beban diagram momen M_0 yang direduksi dengan $-\frac{1}{EI}$. Garis elastis menjadi garis sisi diagram momen \bar{M} itu. Garis elastis adalah garis sumbu

suatu batang yang lurus, yang akan melengkung oleh pengaruh gaya atau momen yang membebaninya (Frick, 2003).

Regangan

Regangan (ϵ) dapat didefinisikan sebagai rasio (perbandingan) antara perubahan ukuran atau bentuk suatu elemen yang mengalami tegangan, terhadap ukuran dan bentuk semula (S) elemen (Schodek, 1998). Berdasarkan hukum hooke, yang menyatakan hubungan antara regangan dan tegangan, maka secara umum rumus regangan dapat dirumuskan menjadi :

$$\epsilon = \frac{M \times y}{I \times E} \dots\dots\dots(2)$$

dimana : M = Momen
 ϵ = Regangan
 E = Modulus elastisitas
 y = Parameter Lokasi
 I = Besaran Penampang

Bambu

Bambu merupakan *famili* rumput-rumputan yang banyak terdapat di daerah tropis dan subtropis di Asia termasuk Indonesia. Dilihat dari struktur anatominya, bambu mengandung banyak serat dan pembuluh yang arahnya sejajar mengikuti arah memanjang bambu, hal tersebut yang membuat kekuatan tarik dan kekuatan tekan sejajar serat cukup tinggi. Secara umum ada 40% - 70% serat yang terkonsentrasi pada bagian luar dan 15% - 30% di bagian dalam batang.

Bambu memiliki beberapa kelemahan yaitu mudah terbakar, mudah diserang serangga dan sifat higroskopis, yang artinya mempunyai kemampuan meng-absorpsi atau deabsorpsi air, hal tersebut juga tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekelilingnya. Namun dengan melakukan pengawetan dan pemberian lapisan *impermeable* serta pasir pada bambu yang mana dapat meningkatkan kekuatan lekat antara

bambu dan beton hingga 90%, dapat meminimalisir kelemahan yang ada.

Pada penelitian ini akan digunakan bambu dengan jenis bambu petung (*Dendrocalamus asper*) yang menurut penelitian Morisco pada tahun 1994-1999, kuat tarik Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) juga lebih tinggi dari baja (kuat leleh 2400 kg/cm²).

Dari pengujian sifat fisik dan mekanik bambu petung yang dilakukan Karyadi dan Susanto (2010) dan Setyo, dkk (2013) diperoleh data-data sebagai berikut berikut:

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik Bambu Petung

No	Sifat Fisik & Mekanik	Satuan	Bambu Petung
1	Kadar Air	%	12,50
2	Berat Jenis	gr/cc	0,63
3	MOE	kg/cm ²	166703
4	MOR	kg/cm ²	1490
5	Tekan Sejajar Serat	kg/cm ²	321,5
6	Tarik Sejajar Serat	kg/cm ²	1664
7	Poisson Ratio Longitudinal-Radial		0,189
8	Poisson Ratio Longitudinal-Tangensial		0,225

Garis Pengaruh

Garis Pengaruh adalah diagram yang menggambarkan perubahan reaksi tumpuan atau gaya dalam struktur akibat beban satuan bergerak. Garis pengaruh ini dapat digunakan untuk mencari posisi beban akibat rangkaian beban berjalan yang memberikan efek maksimum. (Dewi,2013). Namun perlu dipahami pembuatan garis pengaruh berbeda dengan membuat diagram geseran atau momen. Garis pengaruh menggambarkan efek beban bergerak hanya di titik tertentu pada suatu anggota bagian, sedangkan diagram geseran dan momen menggambarkan efek beban-beban tetap sepanjang sumbu anggota bagian. (Hibbeler, 2002)

Untuk mendapatkan suatu nilai fungsi (momen, defleksi, dan regangan) akibat posisi dan besar beban yang berubah pada penelitian ini, maka akan digambarkan dengan garis pengaruh yang diperoleh dengan cara berikut : letakkan suatu beban satuan di berbagai lokasi x, sepanjang elemen struktur dan di setiap lokasi peletakan dengan menggunakan ilmu statika untuk mencari nilai-nilai fungsi (reaksi, geseran, atau momen) di titik tertentu. Setelah diperoleh berbagai nilai fungsi (momen, defleksi, dan regangan) di berbagai titik sepanjang elemen struktur, nilai-nilai tersebut dapat diplot dan segmen-segmen garis pengaruh dapat dibuat (Hibbeler, 2002).

METODE PENELITIAN

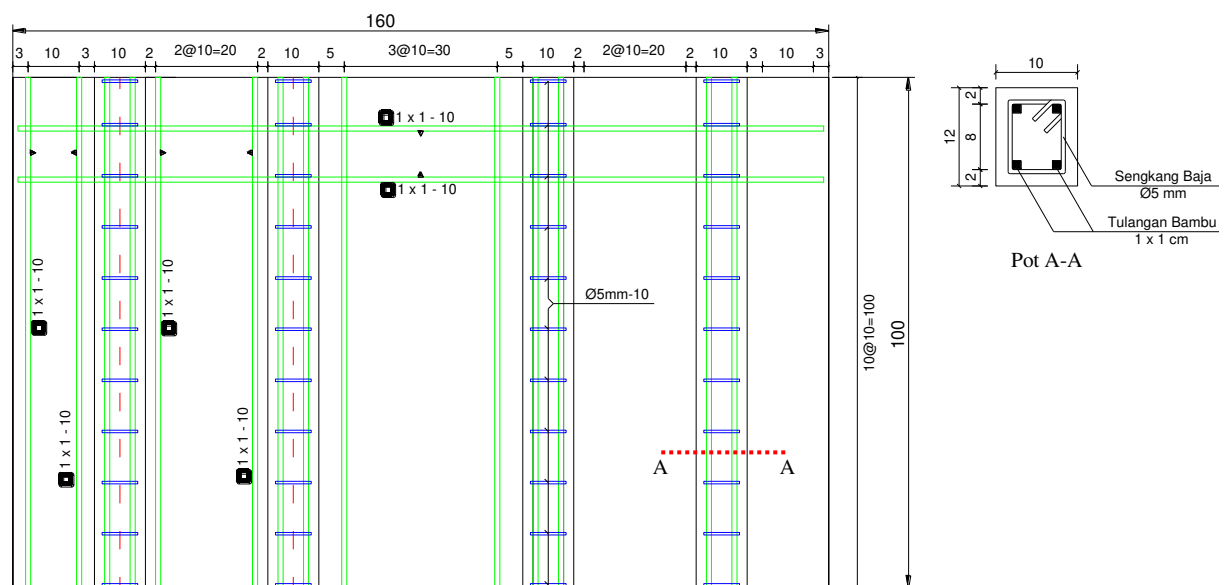
Penelitian ini adalah penelitian eksperimen, yang mana pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sedangkan Uji pembebanan dilakukan di Jalan Raya Mojorejo RT. 02 Rw. 05 Batu. Analisis yang dilakukan adalah analisis data hasil pengujian dan analisis teoritis.

Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

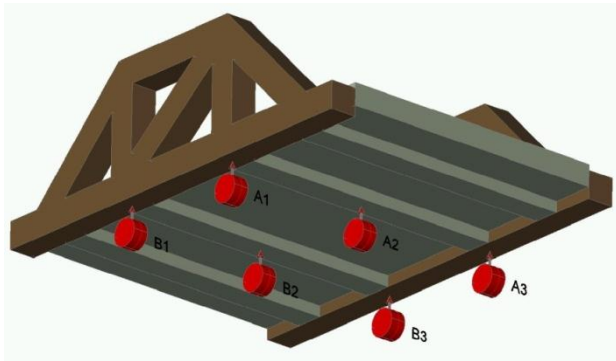
Dalam penelitian ini akan dibuat sebuah jembatan komposit bambu dengan gelagar induk berupa rangka. Penulangan dan pemodelan tulangan bambu pada balok seperti pada gambar 1. Nantinya setiap tulangan bambu akan dilapisi dengan cat dan pasir dengan pengulangan pemberian lapisan sebanyak 2 kali. Pengujian defleksi dilakukan untuk mengetahui defleksi aktual yang terjadi pada balok dengan pemodelan pembacaan defleksi seperti gambar 2 yaitu dengan memasang LVDT pada keenam titik tersebut dan untuk mengetahui regangan yang terjadi pada balok A dan balok B (gambar 3) akan dipasang *strain gauge* pada tulangan tekan yang terdapat pada balok A dan balok B.

Pemodelan Pembebanan

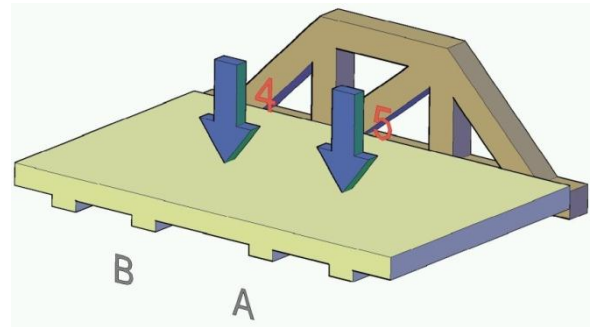
Pengujian akan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari sejak pengecoran seluruh jembatan dilakukan. Pengujian dilakukan dengan pembacaan hasil pada LVDT (Gambar 2) dan *strain meter* (gambar 3) sesuai dengan perencanaan.



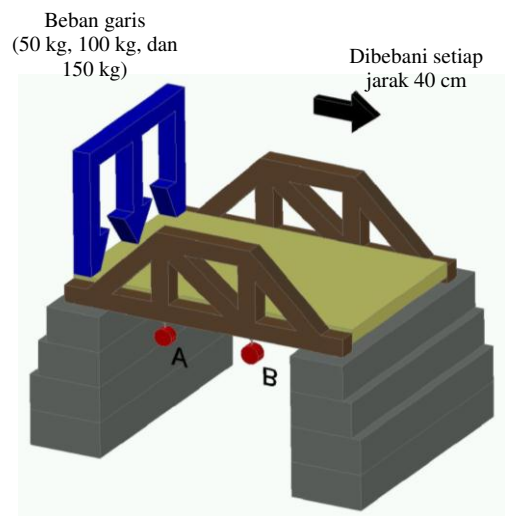
Gambar 1 Penulangan balok dan pelat jembatan komposit bambu



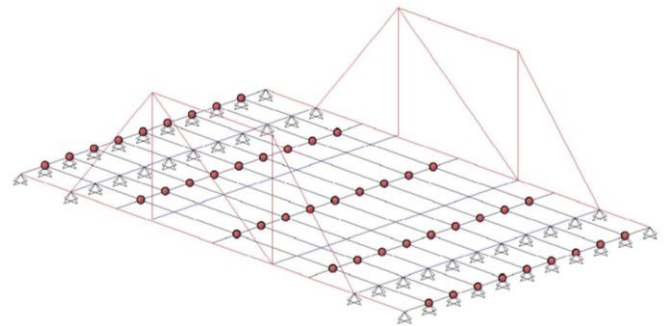
Gambar 2 Pemodelan pembacaan LVDT



Gambar 3 Perencanaan pemasangan *Strain Gauge*



Gambar 4 Pemodelan pembebanan jembatan



Gambar 5 Pemodelan Struktur Pada SAP2000 v14.2.2

Pembacaan akan dilakukan saat jembatan dibebani pada posisi 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm dan 160 cm (gambar 4). Nantinya akan diberikan 3 jenis beban garis (beban 50 kg, 100 kg dan beban 150 kg) dengan pengulangan pembacaan sebanyak 3 kali terhadap setiap posisi beban.

Analisis Struktur Dengan *Software* SAP2000 v14.2.2

SAP2000 adalah *software* analisis struktur yang menggunakan perhitungan elemen hingga dengan metode input data berbasis pada orientasi objek.

Pada penelitian ini, penggunaan *software* SAP2000 v14.2.2 untuk memudahkan memperoleh besaran momen, regangan, dan defleksi hasil analisis teoritis. Pada penelitian ini, bentang jembatan pendek membuat pemodelan 3-dimensi sangat membantu dalam menun-

-jukkan perilaku balok yang berhubungan dengan rangka sebagai satu kesatuan struktur dalam menahan beban. Pemodelan struktur 3D jembatan komposit bambu pada *software* SAP2000 v14.2.2 untuk memperoleh besaran momen, regangan, dan defleksi teoritis dapat lihat pada gambar 5.

Hasil dan pembahasan

Pengujian yang dilakukan pada balok A dan balok B memberikan hasil analisa sebagai berikut

Pengujian Regangan

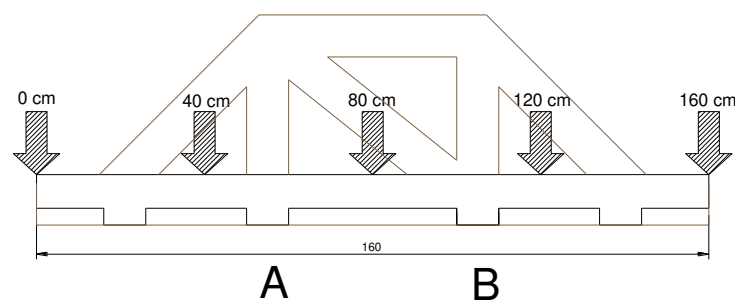
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi pada balok A dan balok B akibat pemodelan pembebanan yang diberikan. Dari hasil pengujian lapangan didapatkan pola grafik yang menghubungkan antara

posisi beban dan regangan yang terjadi. Untuk melakukan pembacaan regangan dipasang *strain gauge* pada tulangan tekan pada balok melintang dan nilai regangan diperoleh dari alat *strain meter* yang dihubungkan dengan *strain gauge*. Pembacaan regangan dilakukan dengan 5 posisi seperti pada gambar 6 dengan 3 (tiga) kali pengulangan pembacaan untuk setiap posisi dan besarnya beban garis 50 kg, 100 kg, dan 150 kg. Karena pada penelitian ini menggunakan model pengujian *full-scale* maka untuk analisis teoritis akan menggunakan bantuan program SAP2000 v14.2.2 yang diharapkan dapat mendekati pemodelan yang sebenarnya. Dan untuk menggambarkan pengaruh akibat perubahan posisi beban akan dibuat garis pengaruhnya dengan menggunakan metode yang telah dipaparkan sebelumnya.

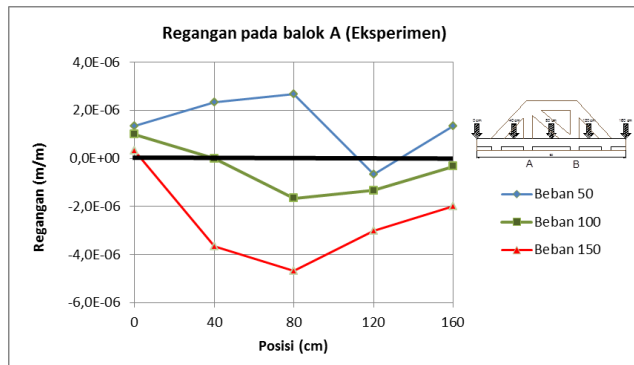
Dengan membandingkan gambar 7(a) dan 8(a) yang merupakan grafik regangan hasil eksperimen dengan gambar 7(b) dan 8(b) yang merupakan grafik regangan hasil eksperimen dapat disimpulkan beberapa hal. Pertama, nilai regangan pada grafik hasil eksperimen (gambar 7(a) dan 8(a)) semakin meningkat akibat pertambahan beban. Peningkatan regangan yang terjadi pada grafik hasil eksperimen (gambar 7(a) dan 8(a)) awalnya berada pada daerah tarik (saat dibebani 50 kg), hal ini diakibatkan pelat yang menumpu relatif terhadap balok. Namun seiring dengan pertambahan beban regangan bergeser ke arah tekan. Sedangkan pada grafik hasil analisis teoritis (gambar 7(b) dan 8(b)), regangan

awal yang terjadi akibat beban 50 kg berada pada daerah tekan dan seiring dengan peningkatan beban mengakibatkan perubahan regangan secara *linear* ke daerah tekan. Sehingga secara umum pola grafik regangan hasil eksperimen memiliki kesamaan dengan pola grafik analisis teoritis.

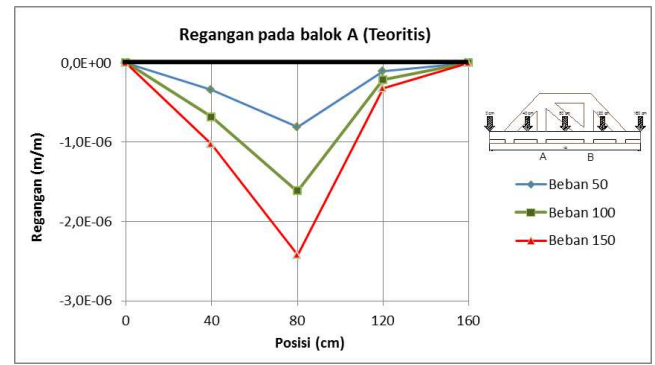
Namun, Pada posisi 0 cm dan 160 cm grafik hasil eksperimen (gambar 7(a) dan 8(a)) terdapat data regangan, yang mana hasilnya sangat berbeda dengan hasil teoritis yang tidak menunjukkan terjadinya regangan. Perbedaan tersebut mungkin terjadi karena penempatan beban yang tidak tepat berada di posisi tumpuan sehingga menyebabkan diperolehnya pembacaan data regangan dan juga hasil teoritis merupakan kondisi ideal yang sangat sulit untuk diterapkan pada pengujian di lapangan. Selain itu, perbedaan antara hasil eksperimen dan teoritis dapat juga terjadi karena beberapa faktor seperti, *human error* pada saat pembacaan, sulitnya menentukan lama waktu pembacaan untuk setiap posisi pembebanan, dan pada kenyataan aksi komposit antara bambu dan beton sangat mempengaruhi hasil pembacaan, sedangkan pada analisis teoritis aksi komposit tersebut dianggap sempurna. Selain itu, akibat pemberian beban yang terlalu kecil membuat kesalahan pembacaan yang terjadi semakin besar. Untuk lebih memahami perbandingan regangan antara hasil eksperimen dan hasil analisis teoritis berikut akan ditabelkan hasil perbandingannya pada tabel 2 dan tabel 3



Gambar 6 Posisi pembebanan

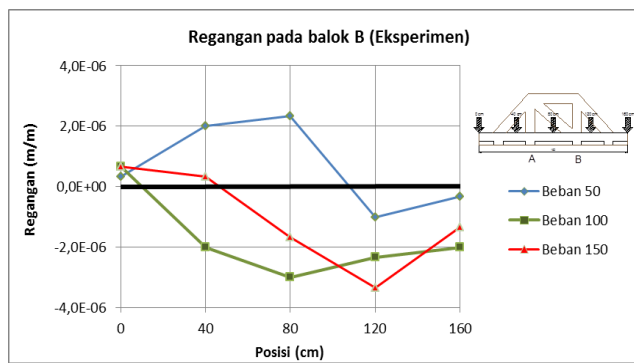


(a)

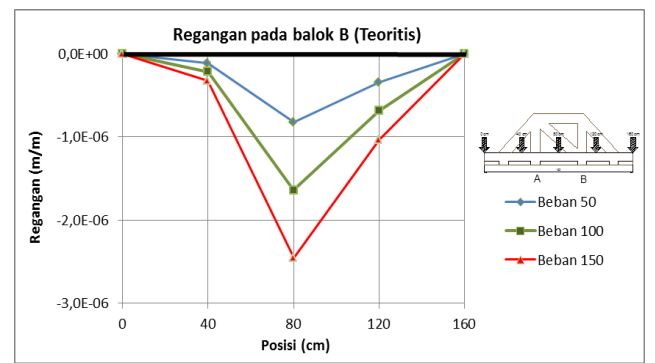


(b)

Gambar 7. Grafik hubungan regangan-posisi pada balok A



(a)



(b)

Gambar 8. Grafik hubungan regangan-posisi pada balok B

Tabel 2 Perbandingan Regangan antara Eksperimen dan Analisis Teoritis Pada Balok A

Posisi (cm)	Hasil Pembacaan Regangan (10^{-6}) mm					
	Beban 50 kg		Beban 100 kg		Beban 150 kg	
	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis
0	1,33	0	1,00	0	0,33	0
40	2,33	-0,4	0,00	-0,9	-3,67	-1,3
80	2,67	-1,0	-1,67	-2,0	-4,67	-3,0
120	-0,67	-0,1	-1,33	-0,3	-3,00	-0,4
160	1,33	0	-0,33	0	-2,00	0

Tabel 3 Perbandingan Regangan antara Eksperimen dan Analisis Teoritis Pada Balok B

Posisi (cm)	Hasil Pembacaan Regangan (10^{-6}) mm					
	Beban 50 kg		Beban 100 kg		Beban 150 kg	
	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis
0	0,33	0	0,67	0	0,67	0
40	2,00	-0,1	-2,00	-0,3	0,33	-0,4
80	2,33	-1,0	-3,00	-2,1	-1,67	-3,1
120	-1,00	-0,4	-2,33	-0,9	-3,33	-1,3
160	-0,33	0	-2,00	0	-1,33	0

Pengujian Momen

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya momen yang terjadi pada balok A dan balok B akibat pemodelan pembebanan yang diberikan. Berdasarkan tinjauan pustaka, hubungan regangan dan momen adalah berbanding lurus sehingga untuk menganalisis momen hasil eksperimen akan digunakan persamaan 2 yang mana nilai untuk parameter lokasi (y) diperoleh 5,814 cm, momen inersia penampang transformasi ($I_{gt \text{ transformasi}}$) diperoleh 1540,3068 cm⁴, dan modulus elastisitas komposit ($E_{komposit}$) diperoleh 208551,808 kg/cm². Sedangkan untuk analisis teoritisnya akan menggunakan bantuan program SAP2000 v14.2.2 yang diharapkan dapat mendekati pemodelan yang sebenarnya. Dan untuk menggambarkan pengaruh posisi beban terhadap momen akan dibuat garis pengaruh momen dengan menggunakan metode

yang telah dipaparkan pada tinjauan pustaka.

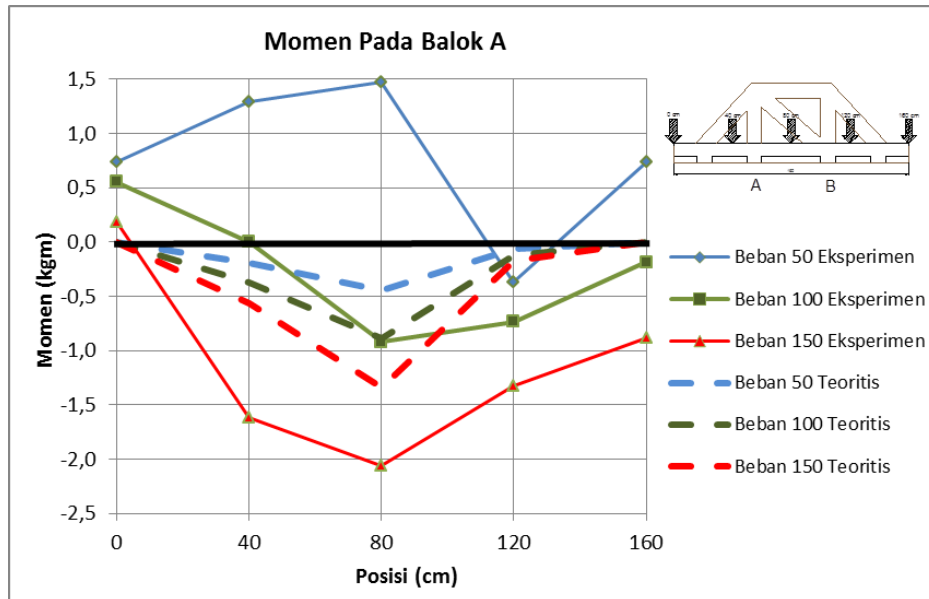
Dengan membandingkan antara grafik hasil eksperimen dan teoritis, akan diketahui sejauh mana perbedaan antara perilaku struktur secara nyata dan dalam teori. Pada gambar 9(a) dan gambar 9(b), lihat grafik yang dihasilkan dari eksperimen secara umum memiliki pola yang hampir sama dengan grafik teoritis namun penyimpangan terlihat dari grafik hasil eksperimen akibat beban 50 kg, yang mana pada grafik itu nilai momennya semakin meningkat ke arah positif. Sedangkan momen teoritisnya meningkat ke arah negatif. Untuk mengetahui perbandingan hasil eksperimen terhadap analisis teoritis pada gambar 9, berikut pada tabel 4 dan tabel 5 akan ditabelkan perbandingan antara hasil momen eksperimen terhadap analisis teoritis.

Tabel 4 Perbandingan Momen Lapangan antara Eksperimen dan Analisis Teoritis Pada Balok A

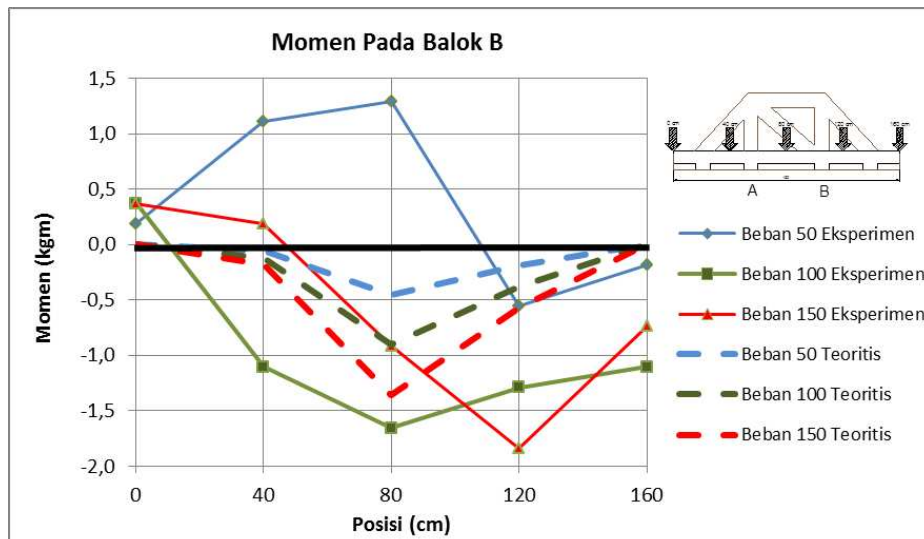
Posisi (cm)	Hasil Pembacaan Momen (kgm)					
	Beban 50 kg		Beban 100 kg		Beban 150 kg	
	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis
0	0,737	0	0,553	0	0,184	0
40	1,290	-0,189	0,000	-0,378	-1,620	-0,567
80	1,474	-0,447	-0,921	-0,893	-2,062	-1,340
120	-0,369	-0,059	-0,737	-0,118	-1,326	-0,178
160	0,737	0	-0,184	0	-0,884	0

Tabel 5 Perbandingan Momen Lapangan antara Eksperimen dan Analisis Teoritis Pada Balok B

Posisi (cm)	Hasil Pembacaan Momen (kgm)					
	Beban 50 kg		Beban 100 kg		Beban 150 kg	
	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis	Eksperimen	Teoritis
0	0,184	0	0,369	0	0,369	0
40	1,106	-0,060	-1,106	-0,121	0,184	-0,181
80	1,290	-0,453	-1,658	-0,907	-0,921	-1,360
120	-0,553	-0,191	-1,290	-0,381	-1,843	-0,572
160	-0,184	0	-1,106	0	-0,737	0



(a)



(b)

Gambar 9. Grafik hubungan momen-posisi pada balok

Pengujian Defleksi

Dalam penelitian ini, pengujian defleksi dilakukan untuk mengetahui lendutan ditengah bentang balok A dan balok B akibat beban yang diberikan. Pembebanan dilakukan pada 5 posisi yaitu 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm dan 160 cm dengan beban sebesar 50 kg, 100 kg, dan 150 kg. Pembacaan defleksi akan dilakukan pada setiap posisi pembebanan dengan bantuan alat LVDT (*Lateral Vertical Displacement Transducer*) yang dipasang sesuai dengan gambar 2.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap posisi dan besarnya beban demi akurasi data yang diperoleh.

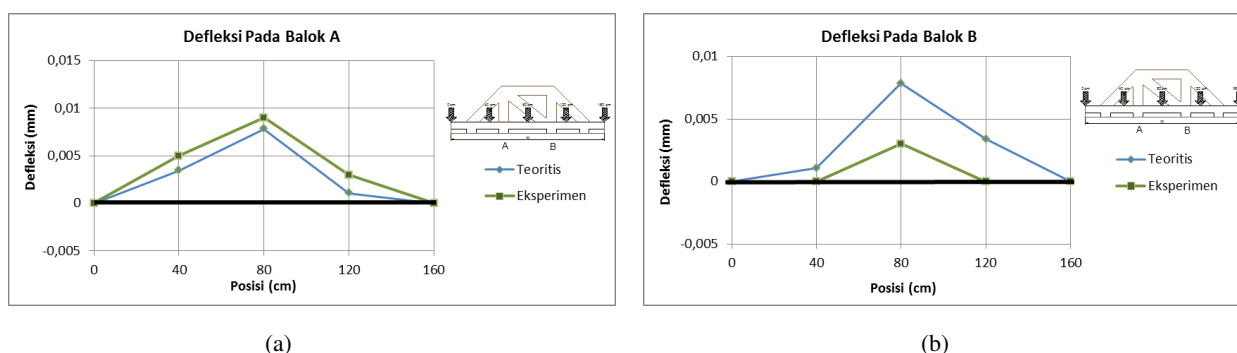
Akan tetapi setelah pengujian yang dilakukan dengan beban garis 50 kg, 100 kg dan 150 kg pada berbagai macam posisi yang telah ditentukan, tidak terdeteksi adanya defleksi pada balok A maupun balok B. Diduga terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut seperti beban yang diberikan pada jembatan terlalu kecil sedangkan bentang dari jembatan juga pendek yaitu

sebesar 1,6 m dengan lebar jembatan 1 m sehingga momen yang dihasilkan akan kecil dan tentu saja akan mempengaruhi lendutan yang terjadi.

Selain itu, beban yang diberikan akan ditahan bersama-sama oleh balok dan pelat yang mana sifat monolit antara balok dan pelat akan meningkatkan kapasitas momen sehingga defleksi yang terjadi pada balok tidak terlalu besar. Sehingga dilakukan penambahan beban secara bertahap melewati 150 kg dan pada saat dibebani 290 kg baik rangka maupun balok menunjukkan terjadi defleksi.

Dalam pengujian ini akan dibandingkan defleksi hasil eksperimen terhadap defleksi hasil analisis teoritis yang diperoleh dengan bantuan program SAP2000 v14.2.2 dan diharapkan struktur balok komposit tulangan bambu aman terhadap lendutan sehingga layak untuk digunakan.

Untuk lebih jelasnya, grafik perbandingan antara hasil eksperimen dan teoritis dapat dilihat pada gambar 10(a) untuk balok A dan gambar 10(b) untuk balok B. Dengan melihat grafik tersebut, ternyata defleksi yang terjadi pada balok A lebih besar dibandingkan hasil teoritisnya sedangkan pada balok B defleksi yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan grafik teoritisnya. Hal tersebut dapat terjadi karena pada penelitian ini, pengecoran balok dan pelat dilakukan secara manual sehingga pencampuran kurang maksimal dan menyebabkan perbedaan mutu beton antara balok A dan balok B. Untuk mengetahui perbandingan hasil eksperimen terhadap analisis teoritis pada gambar 9, berikut pada tabel 6 akan ditabelkan perbandingan antara hasil defleksi eksperimen terhadap analisis teoritis dengan bantuan program SAP2000 v14.2.2.



Gambar 10. Grafik hubungan defleksi-posisi pada balok

Tabel 6 Defleksi Hasil Eksperimen dan Teoritis Akibat Beban 290 kg

Posisi	Beban 290 kg (Balok A)	
	Eksperimen	Teoritis
0	0	0
40	0,005	0,003
80	0,009	0,008
120	0,003	0,001
160	0	0

Posisi	Beban 290 kg (Balok B)	
	Eksperimen	Teoritis
0	0	0
40	0	0,001
80	0,003	0,008
120	0	0,003
160	0	0

Pemodelan Struktur

Dalam pemodelan struktur, struktur akan dibagi-bagi ke dalam elemen-elemen yang lebih mendasar dengan cara memisahkan secara khas hubungan antar elemen struktur sehingga memudahkan dalam menganalisis. Pemodelan yang efektif sangat bergantung pada pengidentifikasian perilaku pada titik hubung elemen, khususnya pada penelitian ini adalah perilaku titik hubung antara balok dan rangka. Karena dibutuhkan pertimbangan yang matang dalam penentuan model titik hubung antar elemen agar asumsi dapat mendekati kenyataan maka akan dilakukan penelitian mengenai model titik hubung yang efektif untuk penelitian ini.

Pemodelan pada titik hubung akan dilakukan dengan memberi beban 100 kg yang diletakkan diatas balok A dan B sehingga diperoleh momen lapangan. Melalui prosentase selisih hasil momen lapangan antara eksperimen dan teoritis yang dibandingkan dengan hasil teoritis tumpuan sendi-sendi dan jepit-jepit, akan diketahui pemodelan struktur mana yang lebih efektif untuk jembatan komposit bambu pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil perhitungan, prosentase selisih momen lapangan pada balok A terhadap tumpuan sendi-sendi sebesar 77,890% dan terhadap tumpuan jepit-jepit 33,669%. Pada balok B prosentase selisih momen lapangan terhadap tumpuan sendi-sendi sebesar 82,312% dan terhadap tumpuan jepit-jepit sebesar 46,935%. Dapat disimpulkan pemodelan struktur terhadap balok melintang pada jembatan komposit bambu lebih mendekati asumsi tumpuan jepit-jepit dibandingkan dengan asumsi tumpuan sendi-sendi.

Kesimpulan

1. Semakin besar beban yang diberikan pada jembatan komposit bambu maka semakin besar pula regangan yang terjadi pada balok melintang

2. Posisi pembebanan pada jembatan komposit bambu mempengaruhi regangan dan defleksi yang terjadi pada balok melintang.
3. Pola diagram eksperimen menyerupai pola diagram hasil analisis teoritis, namun masih terdapat perbedaan hasil pembacaan antara eksperimen dan analisis teoritis. Penyebab perbedaan tersebut dapat disebabkan terutama pada saat pembuatan benda uji maupun pada saat pelaksanaan pengujian antara lain :
 - a. Penurunan mutu dan kekuatan bahan akibat pemadatan benda uji yang kurang sempurna.
 - b. Kesalahan saat melakukan pembacaan dan peletakan pembebanan yang tidak sesuai dengan asumsi teoritis.
 - c. Kurang teliti dan berhati-hati saat pemasangan *strain gauge*, sehingga *strain gauge* menjadi tidak stabil saat dibaca, dan peletakan LVDT yang kurang sempurna
4. Pemodelan struktur terhadap balok melintang pada jembatan komposit bambu lebih mendekati pemodelan dengan tumpuan jepit-jepit, tetapi dapat juga dimodelkan terhadap tumpuan sendi-sendi.
5. Tulangan bambu cukup berpotensi untuk menggantikan tulangan baja pada gelagar induk rangka jembatan beton tulangan Bambu.

Daftar Pustaka

- Dewi, S. M. 2013. *Garis Pengaruh*. Malang : Bargie Media.
- Dipohusodo, I. 1993. *Analisis Struktur*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Farrelly, D. 1984. *The Book of Bamboo*. Sierra Club Books.
- Frick, H. 2003. *Mekanika Teknik 1 Statika dan Kegunaannya* (20 ed.). Yogyakarta: Kanisius.
- Ghali, A., & Neville, A. 1985. *Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik*

- dan Matriks. (W. MSCE, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- Ghavami, K. 2004. *Bamboo As Reinforcement In Structural Concrete Elements. Journal Science and Direct Elsevier*. Journal, Science and Direct Elsevier, 2005
- Hibbeler, R. 2002. *Analisis Struktur*. (C. Tanya, & P. W. Indarto, Penerj.) Jakarta: Tema Baru.
- Jung, Y. 2006. Investigation of Bamboo As Reinforcement In Concrete.
- Kardiyono, T. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Karyadi dan Susanto, P. B. Januari 2010. *Uji Kapasitas Tekan Kolom Laminasi Dari Bahan Kayu Sengon dan Bambu Petung Sebagai Alternatif Pengganti kayu Komersial*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil VI-2010, A179-A188.
- Khare, L. 2005. *Performance Evaluation of Bamboo Reinforced Concrete Beams, The Universty of Texas*. Texas: Arlington.
- Kusuma, G., & Vis, W. 1994. *Dasar-dasar perencanaan Beton bertulang*. (S. Utomo, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- Mulyati. 2006. *Bahan Ajar - Statika*.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Murdock, L., & Brook, K. 1986. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta : Erlangga.
- Nawy, E. 2008. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. (T. Surjaman, Penyunt.) Bandung: PT Refika Aditama.
- Nugraha, P. 2007. *Teknologi Beton*. Surabaya: Andi.
- Schodek, D. L. 1998. *Struktur*. (B. Suryoatmono, Penerj.) PT Refika Aditama.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- U.S. Naval Civil Engineering Laboratory. 1966, 2000. *Bamboo Reinforced Concrete Construction*. Dipetik November 20, 2013, dari <http://www.romanconcrete.com/docs/bamboo1966/BambooReinforcedConcrete>
- Wang, C.-K., & Salmon, C. 1994. *Desain Beton Bertulang* (4 ed.). (B. Hariandja, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- Winter, G. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wonlele, T. 2013. Penerapan Bambu Sebagai tulangan Dalam Struktur Rangka Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7.