

PERILAKU MEKANIKA BALOK BAMBU TERSUSUN ISIAN MORTAR DENGAN PENGHUBUNG GESER BAMBU

Ebelhart Otman Pandoyu¹⁾
*¹⁾Staff Pengajar Program Studi Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas Sintuwu Maroso*

ABSTRAK

Meningkatnya pertumbuhan industri perumahan, mengakibatkan peningkatan penggunaan kayu sebagai bahan bangunan. Peningkatan kebutuhan akan kayu turut memicu penggundulan hutan yang semakin membahayakan kelestarian alam. Oleh sebab itu perlu adanya alternatif material lain sebagai pengganti kayu, salah satunya adalah bambu. Bambu mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan kayu yaitu memiliki kuat tarik yang hampir menyamai baja dan dapat diproduksi pada umur 3-5 tahun. Bambu sebagai elemen balok mempunyai lendutan yang besar, karena memiliki nilai elastisitas E yang rendah. Untuk menambah kekakuan maka balok bambu dibuat menjadi balok tersusun, konsekuensinya dibutuhkan alat sambung untuk menahan geser.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku mekanika balok bambu tersusun isian mortar dengan penghubung geser bambu. Dalam penelitian ini digunakan tujuh model balok bambu, yaitu balok bambu tunggal (BT), dua model balok bambu susun dua yaitu dengan enam penghubung geser (BBSD6) dan delapan penghubung geser (BBSD8), dua model balok bambu susun tiga yaitu dengan enam penghubung geser (BBST6) dan delapan penghubung geser (BBST8), dua model balok bambu susun empat yaitu dengan enam penghubung geser (BBSE6) dan delapan penghubung geser (BBSE8). Masing-masing model dibuat 3 benda uji. Pengujian model dilakukan dengan sistim pembebanan empat titik.

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan beban dari BT ke BBSD6 sebesar 131%, BT ke BBST6 sebesar 189% dan BT ke BBSE6 sebesar 280% . Untuk BT ke BBSD8 sebesar 152%, BT ke BBST8 sebesar 196% dan BT ke BBSE8 sebesar 294%. Pada kondisi elastis, momen inersia balok susun eksperimen mengalami penurunan terhadap teoritis. Rerata penurunan rasio untuk balok susun dengan 6 PG dari balok susun dua sampai balok susun empat berturut-turut sebesar 0,497, 0,305 dan 0,177. Sedangkan untuk balok susun dengan 8 PG rerata penurunan rasio dari balok susun dua sampai balok susun empat berturut-turut sebesar 0,554, 0,401 dan 0,213.

Kata kunci: balok bambu susun, penghubung geser, kapasitas lentur.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bambu adalah salah satu alternatif pengganti kayu yang murah dan mudah didapat. Bambu memiliki kelebihan antara lain mempunyai sifat-sifat mekanik yang baik, bentuknya yang seperti pipa mempunyai momen kelembaman yang tinggi serta sifat bahan yang ringan memiliki ketahanan terhadap gempa. Bambu mempunyai siklus hidup yang cepat, dengan dalam 3-5 tahun sudah dapat diperoleh bambu dengan kualitas yang baik (Morisco, 2006).

Salah satu aplikasi bambu pada struktur yaitu sebagai elemen balok, dengan bambu mempunyai kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi. Tetapi bambu memiliki nilai elastisitas yang rendah, maka penggunaan bambu tunggal sebagai balok biasanya memiliki lendutan yang besar. Jika diisyaratkan bahwa lendutan yang terjadi pada struktur tidak boleh melebihi nilai tertentu, misalnya $L/300$ maka usaha yang harus dilakukan adalah menambah kekakuan dari balok.

1.2. Perumusan Masalah

Alternatif untuk memperoleh kekakuan balok agar lendutannya tidak melampaui batas, yaitu menggabungkan beberapa bambu menjadi balok tersusun. Konsekuensinya, diperlukan

alat sambung untuk menahan geser yang terjadi di antara potongan-potongan bambu yang disusun. Metode tradisional yang dianggap murah dan mudah dilakukan yaitu menggunakan ijuk sebagai pengikat. Namun dengan metode ikatan ini kurang menjamin kesempurnaan kesatuan antara balok, karena ikatan menjadi kendur oleh pengaruh kembang-susut bambu. Untuk itu dalam penelitian ini, penulis mencoba merangkai balok bambu dengan menggunakan bambu Cendani sebagai penghubung geser, sedangkan mortar digunakan sebagai bahan pengisi pada ruas bambu. Untuk mengkaji perilaku mekanik balok bambu susun, maka variasi yang ditinjau yaitu terhadap jumlah susun dan jumlah penghubung geser.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kekuatan dan kekakuan balok bambu susun dari variasi jumlah susun dan jumlah penghubung geser.
2. Mengetahui perilaku mekanik berupa kuat lentur balok bambu susun.
3. Memperoleh estimasi kekuatan dan kekakuan dalam perencanaan struktur balok bambu susun.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Bambu

Dari hasil penelitian, Morisco (2006) memaparkan bahwa bagian terkuat dari bambu adalah bagian kulit. Kekuatan kulit sangat jauh lebih tinggi dari bambu bagian dalam. Karena pada penampang melintang bambu, dengan semakin mendekati bagian kulit batang susunan sel *parenkim* semakin rapat, sehingga kekuatan paling besar berada pada batang sebelah luar.

Tebal kulit bambu relatif seragam sepanjang batang, sedangkan tebal bambu bervariasi dari pangkal sampai ujung. Oleh karena itu bambu yang tipis memiliki porsi kulit yang besar sehingga kekuatan rata-ratanya menjadi tinggi dan bambu kulit tebal berlaku sebaliknya.

Hasil penelitian karakteristik bambu Wulung dari beberapa peneliti dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1. Karakteristik bambu Wulung dari beberapa peneliti

Peneliti/ asal bamboo	Kadar Air (%)		Kuat Tekan (MPa)		Kuat Tarik (MPa)		Kuat Geser (MPa)	
	Posisi Bambu		Posisi Bambu		Posisi Bambu		Posisi Bambu	
	Tengah	Pangkal	Tengah	Pangkal	Tengah	Pangkal	Tengah	Pangkal
Budi, 2001/ Srikayangan, Yogyakarta	21,61	22,36	34,36	35,82	232,43	124,83	7,94	7,13
	23,10	22,95	39,33	42,45	121,97	95,54	6,35	6,47
	23,33	23,88	42,44	42,79	164,01	147,01	8,33	7,67
Purnomo, 2001/ Duwetan, Klaten	26,48	28,62	22,87	21,67	225,18	216,83	5,62	7,1
	27,68	32,87	33,99	22,64	235,65	242,86	6,05	6,55
	20,09	21,57	25,56	26,32	261,14	236,83	3,98	5,81
Sugiarta, 2002/ Trimurti, Bantul, Yogyakarta	16,50	18,25	47,64	46,22	177,13	110,29	7,82	4,9
	16,07	20,53	42,39	33,32	227,24	73,04	9,97	8,78
	15,23	20,00	34,8	26,98	180,22	104,63	7,89	5,6

2.2. Balok Bambu Susun

Penelitian yang telah dilakukan oleh Kasyanto (2008), tentang balok bambu susun isian mortar dengan penghubung geser baut. Pada penelitian ini mortar diisi pada seluruh ruas bambu dan menggunakan 4 buah baut. Variasi

dibuat terhadap jumlah susun dan ada tidaknya PVC pada penghubung geser baut. Balok dibuat dari bambu Wulung dengan panjang bentang 3 meter dan pengujian menggunakan sistim pembebanan empat titik. Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel berikut.

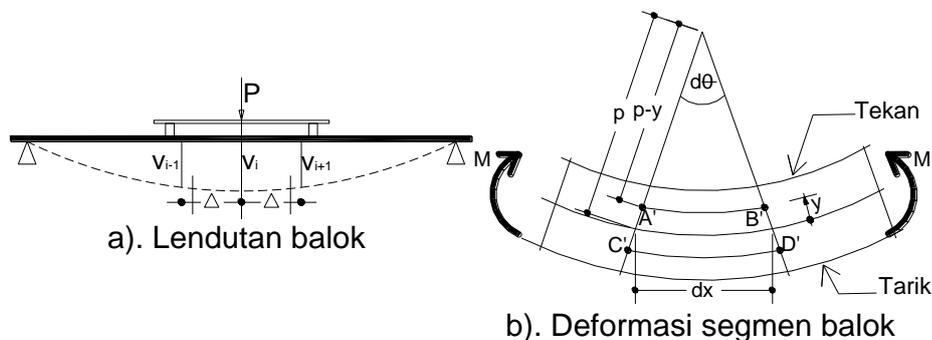
TABEL 2. Beban dan kekakuan balok hasil penelitian Kasyanto (2008)

Balok uji	Tanpa PVC				Dengan PVC			
	Beban (kN)		Kekakuan (kN/mm)		Beban (kN)		Kekakuan (kN/mm)	
Tunggal	3,660	192%	0,043	184%	3,660	156%	0,043	158%
Susun dua	7,030		0,079		5,700		0,068	
Tunggal	3,660	258%	0,043	267%	3,660	213%	0,043	279%
Susun tiga	9,430		0,115		7,800		0,120	

2.3. Hubungan Momen Kelengkungan

Balok yang dibebani dengan beban statis terpusat akan mengalami perubahan bentuk

atau deformasi, salah satu bentuk deformasi pada balok adalah lendutan/defleksi. Deformasi yang terjadi pada balok dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



GAMBAR 1. Deformasi balok akibat beban statis

Kelengkungan merupakan diferensial kedua dari nilai lendutan. Hubungan numerik antara kelengkungan dan lendutan dinyatakan dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 2008).

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2v}{dx^2} = \frac{v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}}{\Delta^2} \quad (1)$$

Dengan $\frac{d^2v}{dx^2}$: Kelengkungan balok, v_i : lendutan balok pada titik i , Δ : jarak antara lendutan. Dari persamaan diatas dapat dijabarkan hubungan antara momen dan kelengkungan sebagai berikut.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{\varepsilon}{y} = -\frac{\sigma}{Ey} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3)$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (4)$$

2.4. Kekakuan Lentur Balok

Kekakuan menurut Gere dan Timoshenko (2000), didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan. Kekakuan lentur balok pada kondisi elastis dihitung dengan Persamaan 5.

$$k = \frac{P_E}{\delta_E} \quad (5)$$

Dengan k : Kekakuan lentur, P_E : beban pada batas elastis, δ_E : lendutan elastis.

2.5. Momen Inersia Balok Bambu Susun

Momen inersia balok bambu susun dapat ditentukan secara teoritis seperti persamaan berikut (Morisco, 2006).

$$\text{Balok tunggal} = I_{x1} = \frac{\pi(D_l^4 - D_d^4)}{64} \quad (6)$$

$$\text{Balok susun dua} = I_{x2} = 2I_1 + 0,5.A_1.D_l^2$$

$$\text{Balok susun tiga} = I_{x3} = 3I_1 + 2A_1.D_l^2 \quad (8)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1. Benda Uji Pendahuluan

Pengujian pendahuluan meliputi sifat fisik dan sifat mekanik dari bambu berdasarkan ISO

$$\text{Balok susun empat} = I_{x4} = 4I_1 + 5.A_1.D_l^2 \quad (9)$$

Luas penampang balok tunggal

$$A_1 = 0,25.\pi(D_l^2 - D_d^2) \quad (10)$$

Dengan I : momen inersia, D_l : diameter luar bambu, D_d : diameter dalam bambu.

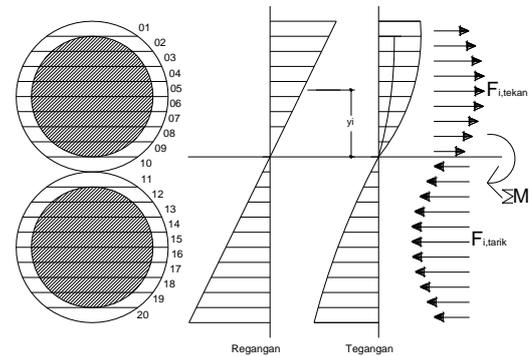
Sebagai pembanding dapat dihitung nilai momen inersia dari hasil eksperimental dengan menggunakan Persaman 11.

$$I_x = \frac{M}{\left(\frac{d^2v}{dx^2}\right)E} \quad (11)$$

Dengan I_x : momen inersia, M : momen lentur, E : modulus elastis.

2.5. Analisis Penampang Metode Diskrit

Menurut Park dan Paulay (1975) analisis menggunakan metode diskrit elemen/metode pias dapat digunakan untuk menentukan kapasitas penampang balok berdasarkan diagram tegangan-regangan balok dari bahan-bahan penyusunnya.



GAMBAR 2. Contoh diskritisasi penampang balok susun dua

$$F_i = \sigma_i . A_i \quad (12)$$

$$M_i = F_i . y_i \quad (13)$$

Dimana F_i : gaya pada pias ke- i , σ_i : tegangan pada pias ke- i , A_i : luas pias ke- i , y_i : jarak lengan pias ke- i dari garis netral.

22157-2004. Jumlah dan jenis pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4. Jenis pengujian dan jumlah benda uji karakteristik bambu

Jenis Pengujian	Benda uji	Posisi dan bagian bambu
Pengujian kadar air	3 buah	Pangkal, tengah dan ujung
Pengujian kuat tarik	3 buah	Pangkal, tengah, nodia dan internodia
Pengujian kuat tekan	5 buah	Pangkal, tengah, internodia
Pengujian kuat geser	3 buah	Pangkal, tengah, nodia dan internodia
Pengujian kuat lentur	3 buah	Pangkal dan tengah

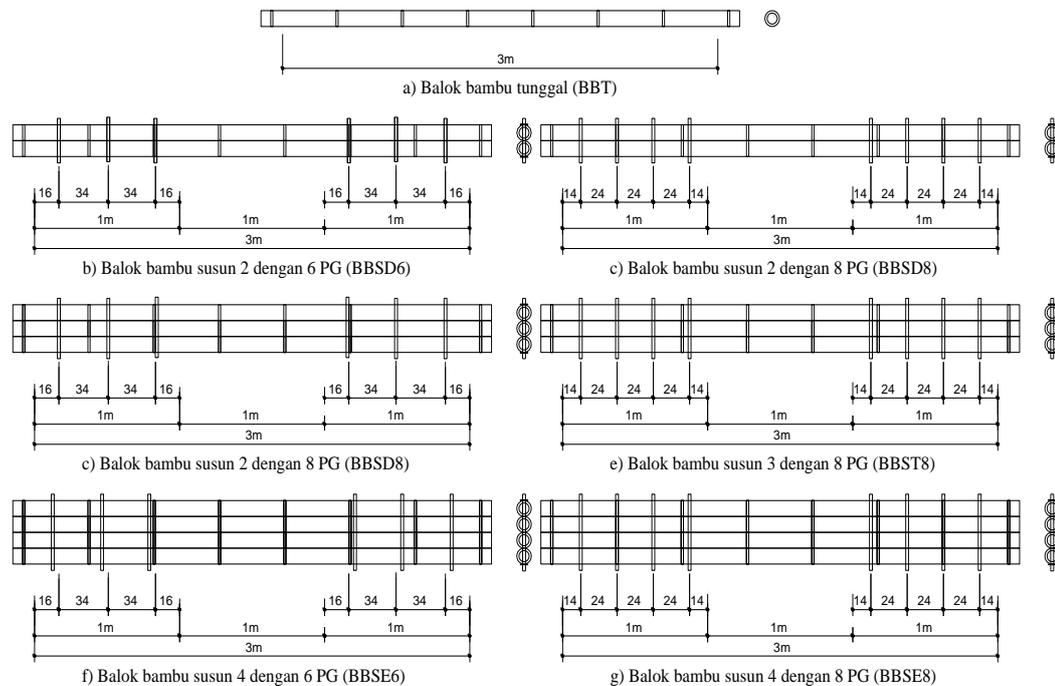
Selain pengujian bambu dilaksanakan pula pengujian kuat tekan mortar dan kuat geser penghubung geser bambu Cendani. Jumlah benda uji kuat tekan mortar sebanyak 5 buah. Untuk pengujian penghubung geser jumlah benda uji sebanyak 3 buah.

3.2. Benda Uji Balok Bambu

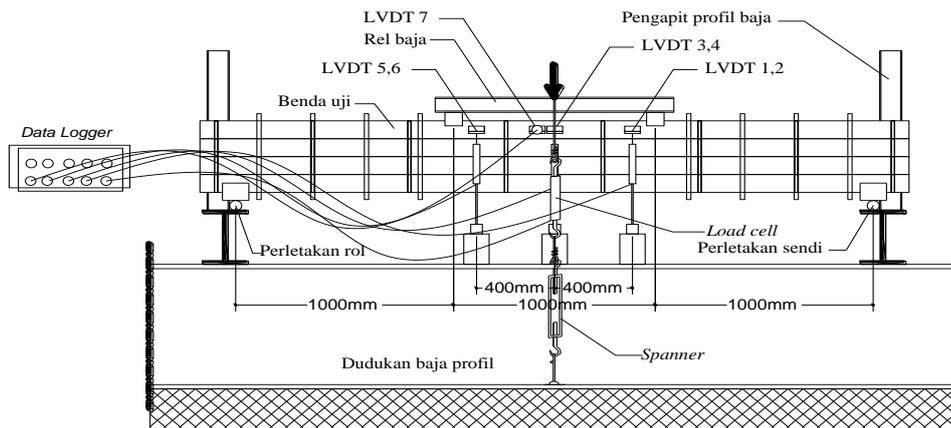
Benda uji balok bambu yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 7 model dan tiap model balok bambu terdiri dari 3 benda uji. Model balok bambu dapat dilihat pada Tabel 5 dan sketsa model balok dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan *set-up* pengujian Pada Gambar 4.

TABEL 5. Model dan jumlah benda uji balok

No	Model	Jumlah	Kode
1	Balok bambu tunggal	3	BBT
2	Balok bambu susun 2 dengan jumlah PG 6 bh	3	BBSD6
3	Balok bambu susun 2 dengan jumlah PG 8 bh	3	BBSD8
4	Balok bambu susun 3 dengan jumlah PG 6 bh	3	BBST6
5	Balok bambu susun 3 dengan jumlah PG 8 bh	3	BBST8
6	Balok bambu susun 4 dengan jumlah PG 6 bh	3 </td <td>BBSE6</td>	BBSE6
7	Balok bambu susun 4 dengan jumlah PG 8 bh	3	BBSE8



GAMBAR 3. Model balok bambu susun



GAMBAR 4. Set-up pengujian balok bambu

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Pendahuluan

Hasil pengujian pendahuluan meliputi hasil pengujian karakteristik bambu, pengujian kuat

tekan mortar dan pengujian penghubung geser bambu Cendani. Hasil pengujian pendahuluan dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 6. Hasil pengujian karakteristik bambu

Macam pengujian	Hasil pengujian			
	Posisi bambu			Rerata
	Pangkal	Tengah	Ujung	
Kadar air (%)	64,74	61,39	58,84	61,657
Kuat tarik (MPa)	211,825	163,789	-	187,807
Kuat geser (MPa)	5,033	6,076	-	5,555
Kuat tekan (MPa)	28,653	36,526	-	32,589
Kuat lentur (MPa)	45,106	65,757	-	55,432
Modulus elastis tarik (MPa)	3033,333	3912,698	-	3473,016
Modulus elastis tekan (MPa)	2289,315	2122,894	-	2206,104
Modulus elastis lentur (MPa)	14016,225	14718,757	-	14367,491

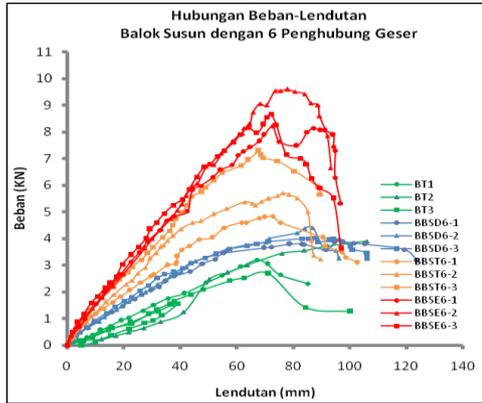
Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan karakteristik bambu pada posisi tengah lebih besar dari posisi pangkal. Morisco (2006) menjelaskan bahwa bagian terkuat bambu adalah bagian kulit. Kulit bambu memiliki ketebalan yang relatif sama pada seluruh batang, sedangkan tebal bambu yang bervariasi merupakan tebal bagian dalam dari bambu. Oleh karena itu bambu yang tipis memiliki porsi kulit yang lebih besar dari pada bambu yang lebih tebal, sehingga kekuatan bambu pada posisi tengah akan lebih besar dari posisi pangkal. Pada pengujian tarik bambu tidak sesuai dengan pernyataan Morisco (2006). Hal ini disebabkan pengambilan sampel secara random yang dimaksudkan

sebagai simulasi penggunaan batang bambu dilapangan dengan cara random. Karena batang bambu memiliki sifat yang berbeda-beda pada setiap batangnya, maka untuk pengambilan sampel yang ideal adalah dengan membandingkan kekuatan satu batang bambu yang sama.

Pengujian kuat tekan mortar dari 5 buah benda uji selama 46 hari menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 20,86 MPa. Pengujian penghubung geser dari 3 buah benda uji menghasilkan rata-rata kuat geser bambu Cendani sebesar 5666,67 N. Besarnya beban yang mampu ditahan sangat dipengaruhi oleh diameter dan tebal bambu Cendani. Dalam

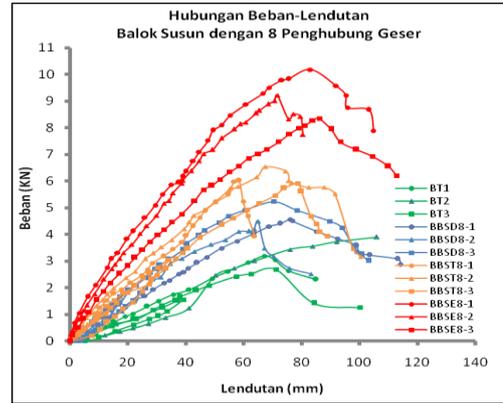
pemeriksaan ini, kisaran diameter yang digunakan 1,5 sampai 2 cm. Kerusakan terjadi pada penghubung geser bambu Cendani, dimana kerusakan diawali dengan pecahnya bambu Cendani pada bidang geser antara bambu Wulung.

4.2. Hasil Pengujian Balok Bambu Susun



GAMBAR 5. Grafik hubungan beban-lendutan Balok susun dengan 6 PG

Balok bambu yang telah dilakukan pengujian akan memperoleh beberapa data yaitu beban, lendutan, letak kerusakan dan bentuk kerusakan. Grafik hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Adapun hasil pengujian dan letak kerusakan dapat dilihat pada Tabel 7.



GAMBAR 6. Grafik hubungan beban-lendutan Balok susun dengan 8 PG

4.3. Beban dan Kekakuan Balok Bambu Susun

Berdasarkan hasil pengujian terhadap balok bambu susun diperoleh kekakuan lentur balok bambu berdasarkan variasi jumlah susun dan jumlah penghubung geser. Kekakuan lentur balok dihitung pada kondisi elastis, dimana

nilai beban dan lendutan diambil pada kondisi beban 50% dari beban ultimitnya. Persentase peningkatan beban dan kekakuan lentur dari jumlah susunan bambu dapat dilihat pada Tabel 8 dan dari jumlah penghubung geser pada Tabel 9.

TABEL 8. Persentase peningkatan beban maksimum dan kekakuan lentur balok bambu susun terhadap balok tunggal

Balok uji	6 Penghubung geser		8 Penghubung geser	
	Beban	Kekakuan	Beban	Kekakuan
Tunggal	3,14	0,039	3,143	0,039
Susun dua	4,12	0,075	4,763	0,080
	131%	190%	152%	202%
Tunggal	3,14	0,039	3,143	0,039
Susun tiga	5,94	0,105	6,160	0,107
	189%	268%	196%	272%
Tunggal	3,14	0,039	3,143	0,039
Susun empat	8,82	0,133	9,247	0,153
	280%	337%	294%	389%

TABEL 9. Persentase peningkatan beban maksimum dan kekakuan lentur terhadap variasi jumlah penghubung geser

Benda uji		Beban maks(kN)	Kekakuan(kN/mm)
Susun dua	6 penghubung geser	4,12	0,075
	8 penghubung geser	4,76	0,080
Susun tiga	6 penghubung geser	5,94	0,105
	8 penghubung geser	6,16	0,107
Susun empat	6 penghubung geser	8,82	0,133
	8 penghubung geser	9,25	0,153

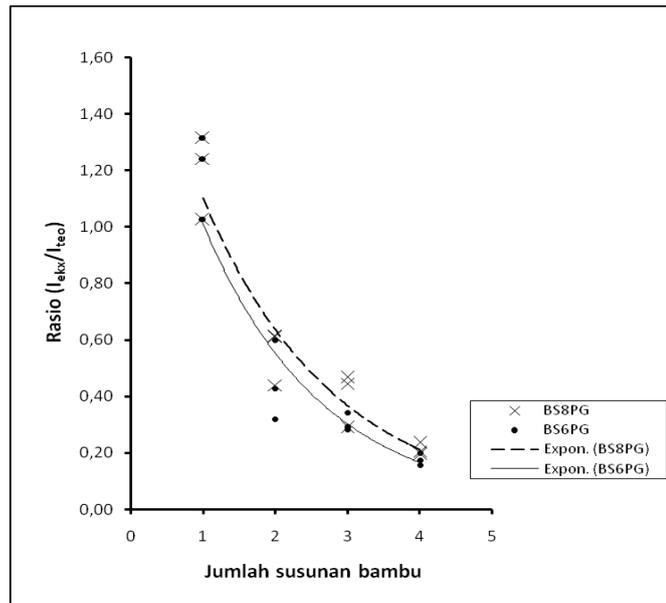
4.4. Momen Inersia Teoritis dan Eksperimental Balok Bambu

Sebagai pembandingan hasil eksperimen dilakukan analisis teoritis terhadap momen inersia penampang balok bambu susun pada kondisi ideal untuk mengevaluasi kapasitas balok bambu setelah diuji. Kondisi ideal adalah kondisi dimana penampang balok susun dianggap monolit, dengan tidak memperhitungkan celah antara susunan batang bambu yang mengakibatkan kekakuan balok berkurang. Analisis momen inersia teoritis

menggunakan penampang bambu susun tanpa isian mortar (kosong) dan analisis momen inersia eksperimental dihitung pada kondisi elastis. Kondisi elastis untuk balok bambu susun yaitu nilai beban dan lendutan diambil pada kondisi beban 50% dari beban ultimitnya. Hasil perhitungan masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 10. Untuk melihat korelasi antara rasio momen inersia eksperimen dan teoritis terhadap jumlah susunan bambu dibuat pendekatan dengan kurva regresi seperti pada Gambar 8.

TABEL 10. Momen inersia teoritis dan eksperimental balok tunggal dan balok susun

Balok Uji		Inersia Teoritis mm ⁴	Inersia Eksperimen mm ⁴	Rasio Inersia	Rerata Rasio
Balok Tunggal	BBT-1	1148389,78	1426377,72	1,242	1,194
	BBT-2	1067926,05	1404011,13	1,315	
	BBT-3	916285,32	940650,88	1,027	
Rerata		1044200,38	1257013,24	1,194	
Susun dua 6 PG	BBSD6-1	7426459,93	2367604,87	0,319	0,448
	BBSD6-2	8819014,06	3768019,54	0,427	
	BBSD6-3	6145308,03	3680683,87	0,599	
Rerata		7463594,01	3272102,76	0,448	
Susun dua 8 PG	BBSD8-1	5633338,68	2475363,81	0,439	0,554
	BBSD8-2	5493676,24	3352909,55	0,610	
	BBSD8-3	6616534,08	4057034,48	0,613	
Rerata		5914516,34	3295102,61	0,554	
Susun tiga 6 PG	BBST6-1	18354342,41	6283630,25	0,342	0,305
	BBST6-2	24957507,10	7235722,98	0,290	
	BBST6-3	23448613,40	6596682,67	0,281	
Rerata		22253487,64	6705345,30	0,305	
Susun tiga 8PG	BBST8-1	22205365,86	9903724,19	0,446	0,401
	BBST8-2	21163691,62	6143772,02	0,290	
	BBST8-3	14026624,86	6553101,41	0,467	
Rerata		19131894,11	7533532,54	0,401	



GAMBAR 8. Grafik hubungan rasio (I_{eks}/I_{teo}) dan jumlah susunan bambu

Dari Tabel 10 dan Gambar 8, dapat dilihat hasil perhitungan momen inersia eksperimen dan teoritis. Untuk balok tunggal momen inersia eksperimen meningkat terhadap momen inersia teoritis dengan rerata rasio sebesar 1,194. Pada balok susun momen inersia eksperimen mengalami penurunan terhadap momen inersia teoritis. Rerata rasio untuk balok susun 6 PG dari susun dua sampai susun empat berturut-turut sebesar 0,497, 0,305 dan 0,177. Sedangkan untuk balok susun dengan 8 PG, rerata rasio dari balok susun dua sampai balok susun empat berturut-turut sebesar 0,554, 0,401 dan 0,213.

Terjadinya penurunan rasio momen inersia untuk balok susun sangat dipengaruhi oleh bentuk bambu yang unik (*non-prismatis* tidak beraturan) dan kapasitas penghubung geser. Pada bagian nodia memiliki diameter lebih besar dari bagian internodia, sehingga permukaan bambu tidak rata tetapi cenderung melengkung. Bentuk batang bambu yang tidak rata membuat celah antara batang bambu yang disusun. Adanya celah antara batang-batang bambu yang disusun menyebabkan peningkatan lendutan awal yang terjadi besar, karena batang-batang bambu masih dalam tahap pemampatan. Bertambahnya jumlah susunan batang bambu, maka rerata rasio momen inersia eksperimen dan teoritis semakin kecil. Sedangkan bertambahnya jumlah penghubung geser, maka rerata rasio

momen inersia eksperimen dan teoritis mengalami peningkatan walaupun tidak signifikan.

4.5. Analisis Penampang Balok Bambu

Analisis penampang dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan lentur, gaya dalam dan momen nominal penampang balok bambu susun pada kondisi ultimit. Batasan analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Dimensi yang digunakan adalah dimensi bambu rata-rata dari tiap model.
- Analisis yang dilakukan pada balok bambu susun dalam kondisi ultimit.
- Setiap batang bambu pada balok bambu susun dibagi menjadi sepuluh pias.
- Hubungan tegangan regangan bambu adalah hasil pengujian sifat mekanika bambu pada bagian internodia.
- Batasan kesalahan relatif yang digunakan adalah batasan dari pembagian pias yaitu sepersepuluh atau 10%.

Hasil analisis penampang balok bambu susun pada kondisi ultimit dapat dilihat pada Tabel 11 dan persentase tegangan nominal terhadap karakteristik bahannya pada Tabel 12.

TABEL 11. Tegangan regangan maksimum dan momen ultimit

Balok Uji		Regangan maksimum (%)			Tegangan maks (MPa)			Momen ultimit (kNm)	Momen nominal (kNm)
		Tekan bambu	Tekan mortar	Tarik bambu	Tekan bambu	Tekan mortar	Tarik bambu		
Susun dua 6 PG	BBSD6-1	0,598	0,532	0,731	17,312	2,993	17,347	2,151	2,093
	BBSD6-2	0,495	0,433	0,743	15,800	4,787	15,352	2,370	2,308
	BBSD6-3	0,572	0,514	0,572	17,361	2,912	24,412	2,191	2,220
	Rerata	0,555	0,493	0,682	16,824	3,564	19,037	2,237	2,207
Susun dua 8 PG	BBSD8-1	0,494	0,439	0,603	15,765	9,106	25,190	2,432	2,400
	BBSD8-2	0,623	0,561	0,623	17,986	6,042	25,654	2,404	2,277
	BBSD8-3	0,722	0,650	0,722	19,805	3,597	27,760	2,770	2,533
	Rerata	0,613	0,550	0,650	17,852	6,249	26,201	2,535	2,403
Susun tiga 6 PG	BBST6-1	0,728	0,679	0,728	8,499	3,756	14,279	2,646	2,556
	BBST6-2	0,243	0,227	0,243	8,996	2,732	13,199	3,097	3,084
	BBST6-3	0,663	0,618	0,663	13,615	3,429	16,488	3,933	3,998
	Rerata	0,544	0,508	0,544	10,370	3,305	14,656	3,225	3,213
Susun tiga 8 PG	BBST8-1	0,606	0,562	0,692	12,411	3,144	14,652	3,258	3,420
	BBST8-2	0,540	0,502	0,617	11,001	2,851	13,106	3,496	3,287
	BBST8-3	0,690	0,633	1,035	19,348	3,504	18,888	3,215	3,396
	Rerata	0,612	0,566	0,782	14,254	3,166	15,549	3,323	3,368
Susun empat 6 PG	BBSE6-1	0,239	0,225	0,323	8,857	1,948	10,341	4,432	4,198
	BBSE6-2	0,545	0,517	0,603	8,704	2,922	12,850	5,149	5,073
	BBSE6-3	0,505	0,478	0,558	8,077	2,133	11,458	4,660	4,773
	Rerata	0,430	0,407	0,495	8,546	2,335	11,550	4,747	4,681
Susun empat 8 PG	BBSE8-1	0,774	0,731	0,946	9,014	4,051	12,851	5,394	5,036
	BBSE8-2	0,227	0,214	0,277	8,475	2,600	9,203	4,951	4,657
	BBSE8-3	0,656	0,620	0,802	7,702	3,436	11,079	4,481	4,520
	Rerata	0,552	0,522	0,675	8,397	3,362	11,044	4,942	4,737

TABEL 12. Persentase tegangan lentur balok terhadap karakteristik bahanya

Balok Uji	Tegangan maksimum balok bambu (MPa)		Rerata tegangan maksimum karakteristik bambu (MPa)		Persentase terhadap karakteristik bahan	
	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan bambu	Tarik bambu
Susun dua 6 PG	16,824	19,037	32,589	187,807	51,62%	10,14%
Susun dua 8 PG	17,852	26,201			54,78%	13,95%
Rerata	17,338	22,619			53,20%	12,04%
Susun tiga 6 PG	10,370	14,656			31,82%	7,80%
Susun tiga 8 PG	14,254	15,549			43,74%	8,28%
Rerata	12,312	15,102			37,78%	8,04%
Susun empat 6 PG	8,546	11,550			26,22%	6,15%
Susun Empat 8 PG	8,397	11,044			25,77%	5,88%
Rerata	8,472	11,297			25,99%	6,02%

Dari Tabel 11, dapat dilihat nilai momen nominal \approx momen ultimit untuk setiap benda

uji. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan dan asumsi yang digunakan dalam

analisis telah sesuai dengan karakteristik bahannya.

Dari Tabel 12, dapat dilihat bahwa persentase rerata tegangan tekan balok terhadap karakteristik bahannya yaitu, untuk balok susun dua sebesar 53,20% , balok susun tiga sebesar 37,78% dan balok susun empat sebesar 25,99%. Sedangkan persentase rerata tegangan tarik balok terhadap karakteristik bahannya yaitu, untuk balok susun dua sebesar 12,04% , balok susun tiga sebesar 8,04% dan balok susun empat sebesar 6,02%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi ultimit tegangan yang terjadi belum melampaui tegangan batasnya. Menurut Gere dan Timoshenko (2000), adanya lubang penghubung geser pada balok menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang besarnya

sampai tiga kali tegangan nominalnya. Jika demikian, maka tegangan maksimum yang terjadi telah mencapai tegangan batas bahannya yaitu tegangan tekan. Sehingga bentuk kerusakan balok bambu selalu terjadi pada penghubung geser dan selalu diawali dari lubang penghubung geser pada daerah tekan balok.

4.6. Kebutuhan Penghubung Geser

Dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan terhadap kapasitas penghubung geser dari bambu Cendani. Kekuatan rata-rata penghubung geser bambu Cendani yang diperoleh dari pengujian pendahuluan adalah 5666,67 N. Hasil perhitungan kebutuhan penghubung geser dapat dilihat pada Tabel 13.

TABEL 13. Kebutuhan penghubung geser bambu Cendani

Balok Uji		Kekuatan Penghubung geser (N)	Gaya geser(N)	Kebutuhan PG (buah)	Jumlah PG Terpasang (buah)
Susun dua 6 PG	BBSD6-2	5666,67	23074,94	10	6
Susun dua 8 PG	BBSD8-3	5666,67	26277,21	10	8
Susun tiga 6 PG	BBST6-3	5666,67	21027,36	8	6
Susun tiga 8 PG	BBST8-3	5666,67	25448,60	10	8
Susun empat 6 PG	BBSE6-2	5666,67	25316,89	10	6
Susun empat 8 PG	BBSE8-1	5666,67	25380,56	10	8

Dalam perhitungan diambil gaya geser terbesar yang mewakili setiap model. Dari Tabel 10, dapat dilihat bahwa jumlah kebutuhan penghubung geser adalah 10 buah kecuali untuk balok bambu susun tiga dengan 6 penghubung geser sebanyak 8 buah. Kapasitas penghubung geser terpasang dari dua variasi

yaitu 6 dan 8 buah ternyata tidak mencukupi dari kapasitas geser yang dibutuhkan. Hal ini juga ditunjukkan dari hasil identifikasi kerusakan balok bambu susun dimana rata-rata balok bambu susun mengalami gagal geser dengan pecahnya bambu Cendani sebagai penghubung geser.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari uraian dan pembahasan dapat disimpulkan:

1. Kekuatan bambu wulung pada bagian internodia lebih tinggi dari bagian nodia.
2. Kekuatan bambu wulung meningkat dari posisi pangkal ke posisi tengah.

3. Beban meningkat dari BT ke BBSD6 sebesar 131%, BT ke BBST6 sebesar 189% dan BT ke BBSE6 sebesar 280% .
4. Kekakuan lentur meningkat dari BT ke BBSD6 sebesar 190%, BT ke BBST6 sebesar 268% dan BT ke BBSE6 sebesar 337%.

5. Beban meningkat dari BT ke BBSD8 sebesar 152%, BT ke BBST8 sebesar 196% dan BT ke BBSE8 sebesar 294%.
6. Kekakuan lentur meningkat dari BT ke BBSD8 sebesar 202%, BT ke BBST8 sebesar 272% dan BT ke BBSE8 sebesar 389%.
7. Terjadi peningkatan beban dari balok bambu susun 6PG ke 8PG sebesar 108,07% dan peningkatan kekakuan dari balok bambu susun 6PG ke 8PG sebesar 107,73%.
8. Pada kondisi elastis, momen inersia balok susun eksperimen mengalami penurunan terhadap teoritis. Semakin banyak jumlah susun batang bambu rerata rasio semakin menurun. Rerata penurunan rasio untuk balok susun dengan 6 PG dari balok susun dua sampai balok susun empat berturut-turut sebesar 0,497, 0,305 dan 0,177. Sedangkan untuk balok susun dengan 8 PG rerata penurunan rasio dari balok susun dua sampai balok susun empat berturut-turut sebesar 0,554, 0,401 dan 0,213.
9. Terjadi peningkatan rasio momen inersia eksperimen dan teoritis dengan bertambahnya jumlah penghubung geser.
10. Pada kondisi ultimit, tegangan tekan yang terjadi yaitu BBSD sebesar 53,20%, BBST sebesar 37,78% dan BBSE sebesar 25,99% dari tegangan batas bahannya. Sedangkan tegangan tarik yang terjadi yaitu BBSD sebesar 12,4%, BBST sebesar 8,04% dan BBSE sebesar 6,02% dari tegangan batas bahannya.

5.2. Saran

1. Pengujian yang menggunakan *load cell* gantung dengan bantuan *spanner*, penyaluran beban dilakukan secara manual, sehingga kecepatan pembebanan tidak terukur maka perlu ketelitian dalam pengambilan tahap pembebanan.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan balok tanpa isian mortar dan variasi jumlah penghubung geser yang ditempatkan dengan jarak yang sama sepanjang bentang balok.
3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis bambu yang lain seperti bambu Petung, bambu Apus maupun bambu Ori.

DAFTAR PUSTAKA

1. Budi, G.S., 2001, *Pemanfaatan Komposit Bambu Beton Untuk Lantai Gedung*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)
2. Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 2000, *Mekanika Bahan*, Terjemahan, Edisi 4, Erlangga, Jakarta.
3. ISO 22156, 2004, *Bamboo-Structural Design*.
4. ISO 22157-1, 2004, *Bamboo-Determination of physical and mechanical properties, Part 1, Requirmens*.
5. ISO 22157-2, 2004, *Bamboo- Determination of physical and mechanical properties, Part 2, Laboratory manual*.
6. Kasyanto, 2008, *Perilaku Melanik Balok Bambu Tersusun Isian Mortar dengan Penghubung Geser Baut*. Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)
7. Morisco, 2006, *Teknologi Bambu, Bahan Kuliah*, Program Magister Teknologi Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
8. Park, R., Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrate Structure*, Jhn Wiley & Sons Inc, Canada.
9. Purnomo, M., 2001, *Perilaku Mekanik Struktur Portal Bambu Untuk Rumah Susun Sederhana*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)
10. Putra, J., 2010, *Tinjaun Analitis dan Eksperimental Square Truus Bambu Dengan Beban Statik Terpusat*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)
11. Sugiartha, I.W., 2002, *Kuat Tekan Bambu Wulung Bilah Tersusun Memakai Kopel dengan Epoksi*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)
12. Triatmodjo, B., 2002, *Metode Numerik*, Beta Offset, Yogyakarta.
13. Wardana, B.A., 2010, *Perilaku Mekanik Balok Bambu Tersusun Dengan Isian Mortar Pada Penghubung Geser Baut*, Tesis, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (Tidak diterbitkan)