

PENGARUH SUSUNAN BAMBU TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN DAN KEKAKUAN ELEMEN STRUKTUR BANGUNAN

Noverma, Yusrianti, dan Oktavi Elok Hapsari

Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Jl. Ahmad Yani no 117 Surabaya
e-mail: noverma18@gmail.com / noverma@uinsby.ac.id

Abstract: Bamboo is one of the building materials that come from nature, has a very light density. Besides that also has high tensile strength and flexural strength. Bamboo in construction activities can also reduce environmental impacts. Base on its characteristics, bamboo can support the concept of green buildings and earthquake-resistant buildings. As a building material, bamboo can be used as structural and non-structural elements in building construction. Properties of bamboo, with high flexural strength, are interesting to be studied. Because besides being a strength, it is also a weakness related to the convenience of construction. In practice in the field, the use of bamboo as beam elements when the load is applied, bamboo suffers from a high deflection that exceeds the permit deflection and causes discomfort to the structure's function. One of the solutions is to combine bamboo culms. This research is to compare the strength and stiffness of bamboo culms combined with two bamboo culms and three bamboo culms and then modeled as beam elements, and then apply the bending load till the ultimate limit. The results reveal that load and stiffness increased with the number of bamboo culms is combined. The percentage increase in load and stiffness reached 44% and 5.35% with the stacking of two bamboo culms and 169% and 9.62% with three bamboo culms.

Keywords: bamboo, structure element, strength, stiffness

Abstrak: Bambu merupakan salah satu material bangunan yang berasal dari alam dan mempunyai berat jenis yang ringan, serta kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi. Disamping itu pemanfaatan bambu dalam kegiatan konstruksi juga dapat mengurangi dampak lingkungan. Berdasarkan ciri tersebut, bambu dapat menjadi alternatif dalam mendukung konsep *green building* dan bangunan tahan gempa dalam desain konstruksi. Sebagai bahan bangunan, bambu dapat dimanfaatkan sebagai elemen struktur maupun elemen non struktur. Salah satu sifat bambu yang menarik untuk diteliti adalah permasalahan kuat lentur bambu yang tinggi. Sifat ini selain menjadi keunggulan juga dapat menjadi kelemahan, hal ini terkait kenyamanan fungsi struktur yang harus dipenuhi pada suatu konstruksi. Salah satu solusi untuk mengatasi kelemahan ini, dapat dilakukan dengan menyusun batang-batang bambu dalam penggunaannya sebagai elemen struktur. Penelitian dilakukan dengan mengkomparasi kekuatan dan kekakuan satu batang bambu terhadap batang bambu yang disusun dua dan batang bambu yang disusun tiga yang dimodelkan sebagai elemen balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan beban dan kekakuan seiring banyaknya jumlah susunan batang bambu. Porsentase peningkatan beban terhadap bambu tunggal mencapai 44% untuk bambu susun 2 dan 169% untuk bambu susun 3. Sedangkan porsentase kekakuan terhadap bambu tunggal naik 5,35% untuk bambu susun 2 dan 9,62% untuk bambu susun 3.

Kata kunci: : bambu, elemen struktur, kekuatan, kekakuan

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan masyarakat berdampak terjadinya permasalahan lingkungan seperti peningkatan suhu permukaan bumi atau yang disebut *global warming*. Salah satu penyebab munculnya permasalahan ini disinyalir adalah akibat penggunaan beberapa jenis material bangunan yang tidak ramah lingkungan.(Umair Shahzad 2015). Jika hal ini dibiarkan terus terjadi maka akan mengancam kerusakan lingkun-

gan yang berkelanjutan. Berdasarkan hal tersebut, maka isu ini menjadi sangat kritis untuk segera ditemukan solusi yang tepat sehingga dapat mengurangi resiko yang mungkin terjadi seperti bencana alam; banjir, kekeringan, lon-soran atau bahkan kemungkinan munculnya beberapa jenis penyakit. Adapun solusi yang ditawarkan adalah desain bangunan dengan material bangunan ramah lingkungan.(Fithian and Sheets 2009). Ciri utama dari material ini adalah berasal dari alam dan tidak merusak lingkungan ketika digunakan maupun dibuang.

Saat ini material bambu sebagai alternative material bangunan pengganti kayu merupakan isu yang terus dikembangkan seiring dengan desain konstruksi bambu yang dibuat sangat menarik menyerupai bangunan modern ditambah dengan nilai estetika yang sangat tinggi. (Noverma 2017). Hal ini dimaksudkan untuk mengembalikan ketertarikan masyarakat dan menghilangkan persepsi masyarakat tentang bambu yang identik dengan kemiskinan. Bambu merupakan material alam yang mudah dan cepat tumbuh, tidak merusak lingkungan dalam proses penggunaan, sehingga dapat diklasifikasikan dalam jenis material bangunan ramah lingkungan. Disamping itu kuat lentur bambu yang tinggi menjadikan bambu lebih daktail ketika menerima beban, serta merupakan material yang sangat ringan sehingga bambu juga cocok sebagai material bangunan untuk wilayah rawan gempa. (Noverma, asri sawiji, Oktavi elok hapsari 2018). Dalam desain konstruksi bangunan, bambu dapat digunakan sebagai elemen struktur maupun non struktur, diantaranya adalah sebagai kuda-kuda yang menopang atap, balok, kolom, pondasi, dan dinding. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam desain konstruksi diantaranya adalah kekuatan dan kenyamanan fungsi struktur. Praktek di lapangan, penggunaan bambu sebagai elemen struktur, ketika dikenai beban, bambu mengalami lendutan yang melampaui lendutan izin sehingga membuat ketidaknyamanan fungsi struktur. Salah satu solusi adalah dengan memodelkan bambu menjadi bambu susun. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bambu yang disusun dan dimodelkan sebagai elemen balok terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan dengan menerapkan beban sampai pada batas ultimit. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu mengenai balok bambu susun diantaranya oleh (Noverma, Djoko sulisty 2013) yang meneliti mengenai metode pemasangan penghubung geser baut yang optimal dalam mendukung beban. (Ebelhart O Pandoyu 2013), meneliti penggunaan penghubung geser bambu pada balok bambu susun yang diisi dengan mortar. (Bagus aditya wardhana 2010) meneliti perilaku balok bambu susun dengan isian mortar pada penghubung geser yang meneliti balok bambu susun isian mortar dengan penghubung geser. (Kasyanto 2008), meneliti perilaku mekanika balok bambu susun dengan isian mortar dengan penghubung geser. Berdasarkan

beberapa penelitian terdahulu, belum dilakukan analisis peningkatan kekuatan dan kekakuan balok bambu susun tanpa isian dan dengan mengabaikan jumlah penghubung geser yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji. Penghubung geser hanya digunakan sebagai alat untuk menggabungkan batang-batang bambu.

KAJIAN PUSTAKA

Bambu dan konstruksi bangunan

Bambu merupakan bahan alam yang digolongkan dalam jenis kayu yang kuat, ringan dan mudah tumbuh. Selain itu bambu juga material alam yang murah dan mudah dipeoleh. Sejak beberapa abad yang lalu, masyarakat daerah tropis telah memanfaatkan bambu sebagai bahan struktur bangunan serta prabot rumah tangga. Pemanfaatan bambu pada konstruksi bangunan dapat digunakan sebagai elemen struktural maupun non struktural. Elemen bangunan yang dapat dibuat dari material bambu antara lain adalah fondasi, lantai, balok, kolom, dinding, atap, rangka atap, pintu dan jendela. (Morisco 2006)

Elemen balok pada struktur bangunan

Balok merupakan salah satu elemen struktur bangunan yang sangat, sehingga harus dirancang sedemikian. Fungsi elemen balok adalah menahan beban yang bekerja di atasnya yang kemudian diteruskan pada kolom. Berdasarkan fungsinya, maka dalam perancangan elemen balok harus memperhatikan kekuatan dan kekakuan elemen tersebut. Disamping itu adalah terkait kenyamanan fungsi struktur yang tidak boleh melebihi batas yang diizinkan. (SNI 2013)

Kekuatan dan kekakuan balok

Kekuatan dan kekakuan balok salah satunya dipengaruhi oleh momen inersia. Besarnya momen kelembaban adalah merupakan fungsi geometri penampang. Bambu mempunyai bentuk penampang seperti lingkaran dan berlubang. Momen kelembaban bambu dapat ditentukan dengan persamaan seperti pada Tabel 1. (Morisco 2006).

Secara teoritis kekakuan lentur balok, menurut (Gere and SP Timoshenko 2000) dapat dihitung menggunakan persamaan 1, dimana

kekakuan merupakan perbandingan gaya dan lendutan. Nilai kekakuan lentur merupakan kemiringan garis dari hubungan beban dan lendutan pada batas proporsionalnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

$$k = \frac{P}{\delta} \tag{1}$$

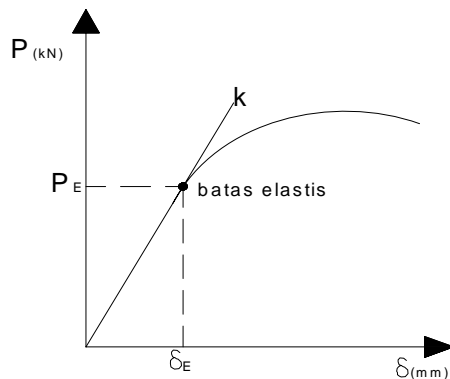
Dengan k merupakan kekakuan lentur balok (N/mm), P merupakan beban pada batas elastis (N) dan δ adalah lendutan elastis (mm).

Tabel.1 Momen Kelembaban bambu sebagai elemen balok bambu susun

Balok bambu	Luas penampang	Momen Kelembaban
Susun 1	$A_1 = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4}$	$I_1 = \frac{\pi(D_1^4 - D_2^4)}{64}$
Susun 2	$A_2 = 2A_1$	$I_2 = 2I_1 + \frac{A_1 D_1^2}{64}$
Susun 3	$A_3 = 3A_1$	$I_3 = 8I_1 + 2A_1 D_1^2$

Keterangan

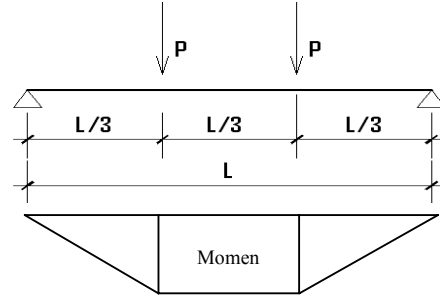
- A : Luas Penampang (mm²)
- D1: Diameter luar (mm)
- D2: Dimeter dalam (mm)
- I : Momen Inersia (mm⁴)



Gambar 1. Pendekatan kekakuan (Gere and SP Timoshenko, 2000)

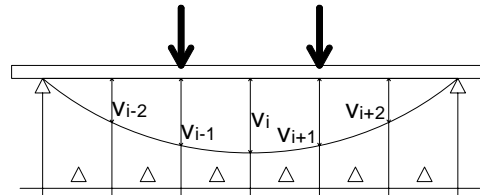
Lendutan pada elemen balok

Eksperimen pengujian balok dilakukan dengan menerapkan beban seperti ditunjukkan pada Gambar 2. (Popov and Astamar 1989)



Gambar 2. Penerapan beban pada elemen struktur balok

Bambu susun akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi, salah satu bentuk deformasi pada balok adalah lendutan/defleksi, yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Lendutan yang terjadi pada balok yang dibebani

Variabel lendutan yang berpengaruh terhadap kekakuan dapat dihitung menggunakan persamaan 2. Agar memberikan kenyamanan fungsi struktur, maka besar lendutan tidak boleh melebihi lendutan yang diizinkan seperti yang diatur dalam (SNI 2013).

$$\delta = \frac{M}{EI} \tag{2}$$

dimana M merupakan momen kapasitas balok (N/mm), E adalah modulus elastisitas (N/mm²), dan I adalah momen kelembaban (mm⁴).

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian

Penelitian dilakukan dengan memodelkan benda uji sebagai elemen balok dengan penerapan beban sampai batas ultimit, dimana balok bambu mengalami kerusakan. Bambu yang digunakan adalah jenis bambu Wulung (*Gigantochloa atroviolacea Widjaja*) tanpa diawetkan terlebih dahulu dengan diameter 6 s.d. 9 cm dan dibuat benda uji, kurang lebih 2 minggu setelah dite-

bang. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

Benda uji

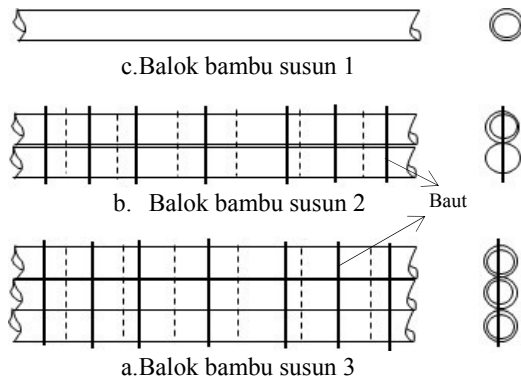
Pembuatan benda uji menjadi balok bambu susun dibuat sepanjang 3 m dengan variasi susun 1, susun 2 dan susun 3, dan dibuat masing-masing sebanyak 3 buah benda uji. Penggabungan batang-batang bambu menggunakan penghubung geser baut diameter 6 mm sejumlah 7 buah baut. Pemasangan 7 buah baut dilakukan dengan mempertimbangkan penempatan baut pada balok bambu yang tidak memungkinkan untuk dipasang dengan jumlah baut dari hasil hitungan teoritis. Hasil teoritis agar balok dapat memikul beban maksimal dengan penggunaan baut diameter 6 mm membutuhkan 11 baut, sehingga fungsi baut dalam penelitian ini, hanya sebagai penyatu untuk mereduksi terjadinya slip antar bambu. Tahapan pembuatan benda uji ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 7.



Gambar 5. Pesiapan material bambu



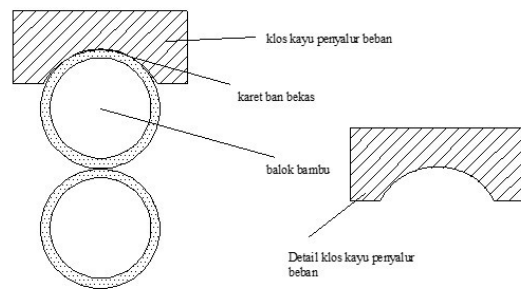
Gambar 6. Proses pembuatan benda uji



Gambar 7. Benda uji balok bambu

Pengujian benda uji

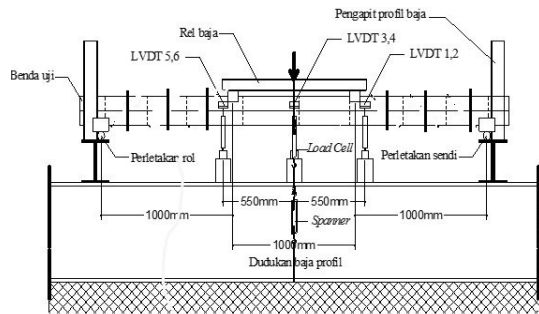
Pengujian balok bambu dilakukan dengan memberikan 2 beban terpusat pada 1/3 bentang dan tumpuan sendi rol. Penyaluran beban pada balok bambu menggunakan klos kayu yang dibuat lengkung dan antara klos kayu dan balok bambu diberi landasan karet ban bekas agar tidak terjadi kerusakan balok bambu akibat klos kayu yang digunakan. Bentuk klos kayu penyalur beban ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Klos kayu penyalur Beban

Pengujian balok bambu dalam penelitian ini menggunakan 6 LVDT yang ditempatkan dekat titik pembebanan dan pada tengah bentang masing-masing 2 buah, 1 buah load cell untuk mentransfer beban dan juga alat ban-

tu berupa *spanner*. Pembebanan dilakukan sampai batas beban maksimum balok bambu mengalami lendutan yang besar atau terjadi kerusakan pada balok bambu. Pembebanan dilakukan secara bertahap dan manual dengan memutar *spanner* yang dihubungkan dengan *load cell*, LVDT dan *data logger*. Pengamatan dilakukan terhadap besarnya beban dan lendutan maksimum yang terjadi pada balok bambu. Gambar *set up* pengujian dan pengujian balok bambu ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. (ISO 22156-1 2004; ISO 22157-1 2004; ISO 22157-2 n.d.)



Gambar 9. Set up pengujian



Gambar 10. Pengujian balok bambu

HASIL DAN PEMBAHASAN

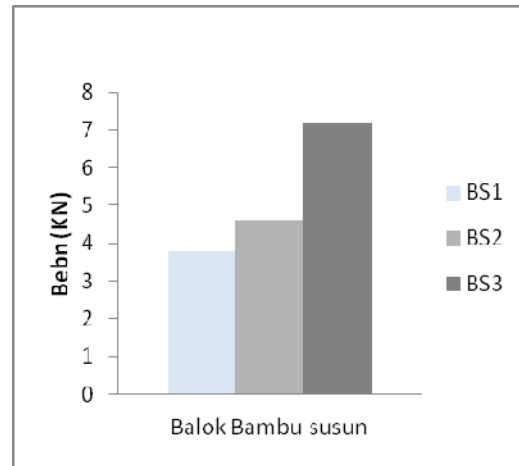
Adapun hasil pengujian beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok bambu ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 11.

Berdasarkan hasil penerapan beban pada balok bambu susun dapat diketahui lendutan yang terjadi untuk masing-masing benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah susunan bambu berpengaruh terhadap lendutan yang terjadi. Lendutan terbesar terjadi pada balok bambu tunggal, dan terus berkurang dengan penambahan jumlah susunan batang bambu

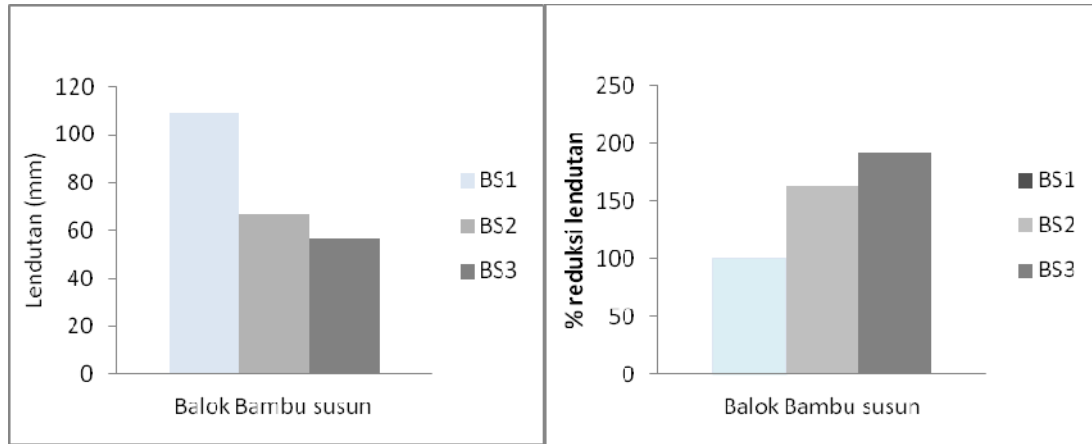
menjadi elemen balok. Besarnya lendutan dipengaruhi oleh momen yang terjadi, elastisitas serta inersia benda uji. Semakin tinggi elastisitas dan inersia, maka lendutan yang terjadi akan semakin kecil. (Popov and Astamar 1989). Penurunan lendutan dan persentase reduksi lendutan secara eksperimen dan teoritis ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Tabel 2. Hasil pengujian eksperimen balok bambu susun

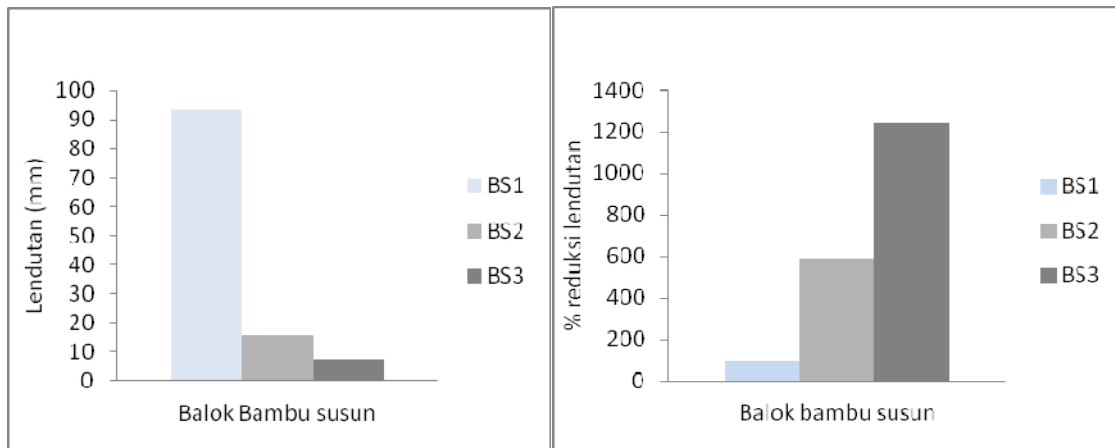
Balok uji	Beban mak (kN)	Lendutan mak (mm)	
		v2	
Tunggal (BS1)	BU1	4,20	102,40
	BU2	3,85	116,78
	BU3	3,33	108,90
	Rerata	3,80	109,36
Susun dua (BS2)	BU1	4,88	67,72
	BU2	4,58	66,35
	BU3	4,36	66,65
	Rerata	4,61	66,90
Susun tiga (BS3)	BU1	6,63	52,84
	BU2	7,89	60,31
	BU3	7,10	57,79
	Rerata	7,21	56,98



Gambar 11. Kemampuan Balok Bambu Susun dalam Menahan Beban



Gambar 12. Lendutan dan persentase reduksi lendutan secara eksperimen



Gambar 13. Lendutan dan persentase reduksi lendutan secara teoritis

Tabel 3. Hasil pengujian lendutan teoritis balok Bambu Susun

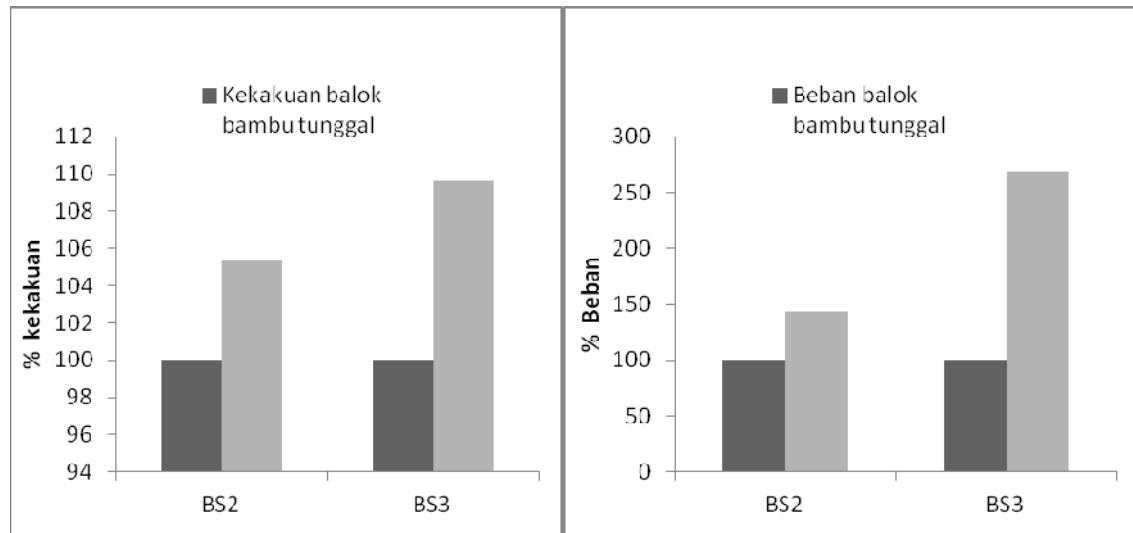
Balok uji		Beban mak (kN)	Lendutan Teoritis mm
Tunggal	BU1	4,20	103,22
	BU2	3,85	94,62
	BU3	3,33	81,84
	Rerata	3,80	93,39
Susun dua	BU1	4,88	16,77
	BU2	4,58	15,74
	BU3	4,36	14,99
	Rerata	4,61	15,84
Susun tiga	BU1	6,63	6,90
	BU2	7,89	8,22
	BU3	7,10	7,39
	Rerata	7,21	7,51

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis secara eksperimen dan teoritis tampak terjadi pola yang sama, yaitu balok bambu dengan jumlah batang-batang bambu yang lebih banyak dapat memikul beban lebih tinggi dan dapat mereduksi lendutan yang terjadi. Perbedaan nilai lendutan teoritik dan eksperimen yang signifikan pada balok bambu susun dapat disebabkan asumsi yang digunakan dalam teoritis. Secara teoritis gabungan batang-batang bambu sebagai elemen balok diasumsi terikat sempurna tanpa adanya rongga dan slip antar bambu. Sementara aktual di lapangan sulit untuk mendapatkan susunan batang-batang bambu yang terikat sempurna tanpa rongga dan slip. Hal ini dikarenakan bentuk bambu yang tidak prismatic dan ketebalan batang-batang bambu yang tidak sama.

Adapun besarnya persentase peningkatan beban dan kekakuan pada kondisi elastik ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 14.

Tabel 4 Porsentase peningkatan bebab dan kekakuan

Balok Uji		Kondisi beban 50%			Porsentase peningkatan beban dan kekakuan	
		Beban (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Beban %	Kekakuan %
Balok tunggal	BT1	2,07	39,13	0,05		
	BT2	1,93	42,36	0,05		
	BT3	1,66	42,08	0,04		
	Rerata	1,89		0,0460		
Susun dua	BU1	2,50	26,33	0,0965		
	BU2	2,31	30,75	0,0953		
	BU3	2,17	33,92	0,1068		
	Rerata	2,33		0,0995	44	5,35
Susun tiga	BU1	3,24	26,22	0,1235		
	BU2	4,02	27,66	0,1453		
	BU3	4,81	30,43	0,1581		
	Rerata	4,02		0,1422	169	9,62



Gambar 14. porsentase peningkatan beban dan kekakuan balok bambu susun

Berdasarkan pada Tabel 4 dan Gambar 14, dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan beban dan peningkatan kekakuan balok bambu seiring dengan banyaknya jumlah susunan batang-batang bambu yang dimodelkan sebagai elemen balok.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kekuatan balok bambu meningkat sering dengan bertambahnya jumlah susunan batang-batang bambu yang dimodelkan sebagai elemen balok

2. Lendutan yang terjadi pada balok bambu dapat direduksi dengan menggabungkan batang-batang bambu menjadi satu elemen balok.
3. Kekakuan dan peningkatan beban pada kondisi elastis meningkat signifikan
4. dengan bertambahnya jumlah batang bambu yang disusun menjadi elemen balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagus aditya wardhana. 2010. "Perilaku Mekanika Balok Bambu Tersusun Dengan Isian Mortar Pada Penghubung Geser Baut." Universitas Gadjah Mada,

- Yogyakarta.
- Ebelhart O Pandoyu. 2013. "Perilaku Mekanika Balok Bambu Tersusun Isian Mortar Dengan Penghubung Geser Bambu." *Jurnal Maroso* 01(01):35-46.
- Fithian, Cody and Andrea Sheets. 2009. "Green Building Materials Determining the True Definition of Green Green Building Materials." *UTSoA - Seminar in Sustainable Architecture Apply* 1-13.
- Gere, JM and SP Timoshenko. 2000. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- ISO 22156-1. 2004. *Bamboo- Structural Design*.
- ISO 22157-1. 2004. *Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties, Part 1, Requirements*.
- ISO 22157-2. n.d. "Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties, Part 2, Laboratory Manual." 2004.
- Kasyanto, Heri. 2008. "Perilaku Mekanika Balok Bambu Tersusun Isian Mortar Dengan Penghubung Geser Baut." Universitas Gadjah mada.
- Morisco. 2006. *Teknologi Bambu*. Yogyakarta: UGM.
- Noverma, asri sawiji, Oktavi elok hapsari, Yusrianti. 2018. "Pengurangan Resiko Bencana Melalui Pemanfaatan Bambu." Pp. 131-42 in *Pertemuan Ilmiah tahunan ke-5 Riset kebencanaan 2018 Ikatan Ahli kebencanaan Indonesia*. Sumatra Barat: Universitas Andalas.
- Noverma, Djoko sulisty, Ashar Saputra. 2013. "Perilaku Mekanika Balok Bambu Susun Menggunakan Penghubung Geser Baut Dengan Variasi Kemiringan Baut." *Jurnal Momentum* 15(02):115-24.
- Noverma, N. 2017. "Peranan Bambu Dalam Mendukung Pembangunan Wilayah Yang Berkelanjutan." Pp. KL15-K120 in *KoNTekS XI meningkatkan daya saing industri konstruksi dalam persaingan di tingkat global menuju pembangunan infrastruktur berkelanjutan*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- Popov, EP and Z. Astamar. 1989. *Mekanika Teknik Edisi Kedua Versi SI*. Jakarta: Erlangga.
- SNI, 2847:2013. 2013. "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung." *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia* 1-265.
- Umair Shahzad, Riphah. 2015. "Global Warming: Causes, Effects and Solutions." *DurreesaminJournal* 01(04).