

**RESPON SAMBUNGAN PELAT BAUT PADA KUDA-KUDA BETON
KOMPOSIT BERTULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN
VERTIKAL SIMETRIS DAN TIDAK SIMETRIS**

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADAM AKBAR MORRIDA

NIM. 135060107111021

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

RESPON SAMBUNGAN PELAT BAUT PADA KUDA-KUDA BETON KOMPOSIT BERTULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN VERTIKAL SIMETRIS DAN TIDAK SIMETRIS

RESPONSE BOLT PLATE CONNECTION ON BAMBOO REINFORCE CONCRETE COMPOSITE TRUSS AGAINST VARIATION OF VERTICAL LOAD SYMMETRIC AND NON-SYMMETRICAL

Adam Akbar Morrida, Sri Murni Dewi, Eva Arifi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang, 65145, Jawa Timur – Indonesia
Email: adammorrida@gmail.com

ABSTRAK

Kuda-kuda adalah suatu susunan rangka batang yang berfungsi untuk mendukung beban atap termasuk juga berat sendiri dan sekaligus memberikan bentuk pada atap. Pada dasarnya konstruksi kuda-kuda terdiri dari rangkaian batang yang membentuk segitiga. Setiap susunan rangka batang haruslah merupakan satu kesatuan bentuk yang kokoh yang nantinya mampu memikul beban yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan. Penggunaan bahan berupa beton bertulang sudah banyak diteliti dan dikembangkan sebagai alternatif pembuatan rangka kuda-kuda, sebagai pengganti bahan dasar kayu yang memiliki banyak kelemahan. Penggantian bahan dasar beton bertulang diantaranya ialah limbah batu bata sebagai agregat kasar dan tulangan bambu sebagai tulangan besi. Tujuan dari penggantian bahan dasar ini untuk mengurangi berat kuda-kuda dengan kekuatan yang hampir sama. Rangka kuda-kuda memiliki beberapa segmen, kemudian untuk mempermudah pemasangan di lapangan maka dibutuhkan sambungan berupa sambungan pelat baut sebagai penghubung antar segmen, dan untuk mempermudah pembuatan dan mempersingkat waktu pekerjaan sebaiknya rangka kuda-kuda dibuat tidak di area proyek akan tetapi rangka kuda-kuda dibuat di pabrik dan sudah berbentuk pre-cast.

Pada benda uji nantinya akan dilakukan 2 jenis pembebanan bertambah yaitu beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Beban ini akan bertambah dengan interval 50 kg. 2 buah benda uji akan dibuat untuk setiap tipe pembebanan. Pada tipe vertikal simetris, rata-rata beban yang mampu ditahan ialah 600 kg. Sedangkan pada tipe vertikal tidak simetris beban maksimum yang dapat ditahan ialah 950 kg. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada tahun 2016 yang menggunakan modifikasi material beton bertulang yang sama namun tidak menggunakan sambungan, beban yang mampu ditahan mencapai rata-rata 3000 kg. Sedangkan beban maksimum pada kuda-kuda tanpa sambungan dengan bentang total 240 cm dan tinggi 100 cm dapat menahan beban vertikal maksimum sebesar 6136 kg. Pola retak yang terjadi pada penelitian ini pun terjadi pada daerah batang dan sekitar joint pada rangka.

Kata kunci: kuda-kuda, beton bertulang, tulangan bambu, limbah batu bata, sambungan pelat baut

ABSTRACT

The truss are a rod frame arrangement that serves to support the roof load as well as its own weight and simultaneously provide a shape on the roof. Basically the construction of the truss consists of a series of rods that form a triangle. Each arrangement of trusses must be a unified form of solid that can bear the burden of working on it without undergoing change. The use of materials in the form of reinforced concrete has been widely researched and developed as an alternative to making the framework of truss, as a substitute for wood base materials that have many weaknesses. The replacement of reinforced concrete base material is brick waste as coarse aggregate and bamboo reinforcement as iron reinforcement. The purpose of replacing this base material is to reduce the weight of the truss with almost equal strength. The framework of the truss has several segments, then to facilitate the installation in the field it is necessary to use connector in the form of a bolt plate connection as a liaison between the segments, and to facilitate the manufacture and shorten the work time should be truss framework is not made in the project area but the frame of truss made in factory and already pre-cast.

In the test specimens were given two types of incremental load which are symmetrical and vertical non-symmetrical. These load increased every 50 kg. 2 pieces of specimens were made for each type of load. In symmetrical vertical type, the average load that the specimens could hold is 600 kg. While in the non-symmetrical vertical type the maximum load that could be held is 950 kg. When compared to previous research

in 2016 using the same modified reinforced concrete material but no connection, the retained load reached an average of 3,000 kg. While the maximum load on truss without connection with a total span of 240 cm and a height of 100 cm can withstand a maximum vertical load of 6136 kg. Crack patterns that occurred in the specimen also occurred in the tension truss and around the joint of the frame.

Keywords: *roof-truss, reinforced concrete, bamboo reinforced, recycled brick, connection of bolt plate*

PENDAHULUAN

Campuran beton secara umum adalah agregat kasar (batu kerikil), air, dan agregat halus (pasir), dan semen sebagai pengikat. Untuk mencapai kriteria beton yang ringan namun tetap kuat, dapat dilakukan modifikasi pada penggunaan agregat yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar, dimana penggunaannya sangat menentukan berat dari beton itu sendiri. Batu pecah atau kerikil adalah bahan umum yang digunakan sebagai agregat kasar untuk memenuhi perannya sebagai pengisi beton dan menjadi sumber kekuatan utama beton. Peran kerikil sebagai pengisi ruang-ruang kosong pada beton ini sebetulnya dapat digantikan dengan jenis batuan lain seperti batu limbah. Limbah batu bata yang sudah pernah digunakan dapat dijadikan alternatif sebagai bahan pengisi beton karena limbah tersebut telah mengeras dan agregat ini relatif lebih ringan dibandingkan bahan batu pecah, sehingga membuat berat beton menjadi ringan.

Beton dapat menahan gaya tekan dengan sangat baik tetapi tidak dapat menahan gaya tarik sehingga peran penggunaan tulangan ialah untuk menahan gaya tarik menggantikan kemampuan beton dalam rangka menahan gaya tarik yang lemah. Tulangan baja yang selama ini digunakan sebagai tulangan utama dalam pembuatan beton bertulang kini sudah dapat digantikan dengan penggunaan bambu. Bambu memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi hingga mencapai 116 Mpa (Morisco, 1990).

Selain pada campuran beton, modifikasi dapat juga dilakukan pada tulangan dari beton bertulang. Peran tulangan baja sebagai penahan tarik pada beton bertulang sangat mempengaruhi berat dari beton bertulang itu sendiri. Oleh karena itu, banyak penelitian mengenai pengganti baja tulangan pada beton bertulang berupa penggunaan bambu sebagai tulangan. Bambu yang memiliki sifat mekanis kuat terhadap tarik tentu dapat menggantikan peran baja pada beton bertulang, salah satunya merupakan bambu jenis petung yang cukup kuat terhadap tarik dan ringan.

Beton dengan campuran agregat kasar berupa limbah batu bata dan tulangan bambu diharapkan dapat menjadikan beton bertulang semakin ringan namun tetap memenuhi kriteria kekuatan yang diinginkan seperti dalam penggunaan beton bertulang pada konstruksi kuda-kuda. Dengan material yang dapat dicari dengan mudah dan dapat diperbaharui, beton komposit tulangan bambu dan limbah batu bata ini lebih ekonomis dan tentu akan bersaing dengan jenis bahan lain yang sudah ada, khususnya untuk bentuk kuda-kuda yang relatif pendek bentangnya.

Beberapa inovasi dalam pembuatan beton yang relatif lebih efisien telah dilakukan, salah satunya ialah

dengan mengganti campuran bahan pembuatan beton serta memodifikasi penggunaan tulangan. Penelitian menggunakan inovasi tersebut telah dilakukan oleh Muhammad Hanif Insani pada tahun 2016. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa beton bertulang bambu dengan menggunakan variasi agregat limbah batu bata memiliki berat jenis yang lebih ringan yaitu $2004,25 \text{ kg/m}^3$, serta mampu menahan beban maksimum sebesar 3016,67 kg. Dibandingkan dengan beton bertulang bambu dengan agregat batu kerikil yang mampu menahan beban hingga 3700 kg tetapi memiliki berat jenis mencapai $2312,06 \text{ kg/m}^3$.

Beton memiliki waktu *curing* yang cukup lama (28 hari) sehingga menyulitkan apabila kuda-kuda dicor di tempat. Sehingga, dalam memudahkan pemasangan kuda-kuda beton bertulang pada bangunan maka dapat digunakan metode *precast* dimana kuda-kuda beton bertulang di cor diluar bangunan, hal ini akan memudahkan proses pembuatan karena beton dibuat tidak di tempat tinggi atau di atas gedung. Dalam proses pemasangannya pun kuda-kuda dapat dibuat menjadi beberapa segmen yang kemudian disambung menjadi satu. Dalam menyambung segmen-segmen tersebut dapat digunakan sambungan. Sambungan yang dapat digunakan untuk menyambungkan segmen kuda-kuda tersebut salah satunya ialah dengan sambungan pelat baut.

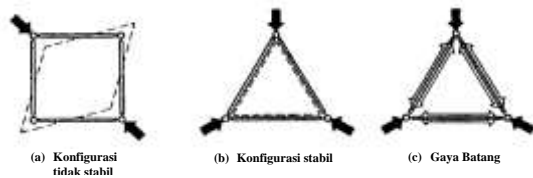
Kekuatan sambungan dapat menentukan kekuatan struktur rangka yang disambungkannya, sehingga diperlukan detail sambungan yang baik. Hal ini mendasari diadakannya penelitian mengenai sambungan yang paling baik dalam menyambung kuda-kuda beton sehingga layak dan aman untuk digunakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut secara khas dianggap tergabung pada titik hubung sendi. Batang-batang disusun sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubungan tersebut.

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil.



Gambar 1 Susunan batang yang stabil dan tidak stabil (Schodek, 1995)

Batu Bata

Berdasarkan SNI 15-2094-1991, SII-0021-78, batu bata merupakan suatu unsur bangunan yang di peruntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Bahan utama pembentuk batu bata adalah tanah lempung. Lempung adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggalan lapisan tanah pembentuk kerak bumi yang bersifat lepas tidak tersementasi, kohesif (saling berikatan), plastis (mudah dibentuk tanpa perubahan bentuk, tanpa kembali ke bentuk semula dan tanpa terjadi retak-retak) serta merupakan hasil pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung mineral feldspar dan mika. (Suseno, 2010)

Beton Bertulang

Berdasarkan SNI-2847-2002, beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton kuat terhadap tekan, tapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. (Nawy, 1990)

Tulangan Bambu

Bambu adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penebangan rumpun-rumpun bambu di hutan rimba alami atau hasil dari budidaya. Ukuran panjang dan diameter batang tergantung dari jenis bambu yang dapat tumbuh hampir di seluruh daerah Indonesia. Bambu ini merupakan bahan yang dapat dipakai sebagai pengganti kayu terutama untuk bangunan ringan di pedesaan dan sebagai struktur pembantu atau sementara. (Suseno, 2010).

Bambu dengan bentuk batang beruas-ruas merupakan bahan heterogen namun untuk keperluan desain diidealisasikan homogen, seperti kayu juga merupakan bahan getas, orthotropis, dan dianggap elastis linier. Sifat mekanika bambu sangat dipengaruhi oleh jenis, umur penebangan, kadar air kesetimbangan batang dan bagian batang seperti pangkal, tengah, ujung, ruas beban tekan, dan lentur. Kuat lentur bambu berkisar (12,83-66,3) MPa, modulus elastisitas berkisar (2,38-10,10) GPa, kuat tekan sejajar serat berkisar (19,33-58,43) MPa, kuat tarik sejajar arah serat berkisar (115,3-309,3) MPa, kuat geser berkisar (3,95-6,14) MPa, dan kuat belah berkisar (4,14-5,82) MPa. (Suseno, 2010)

Sistem Beton Pracetak

Beton pracetak (*precast*) dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast-in place*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan ditempatkan. (Ervianto, 2006)

Sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan. (S.A. Nurjannah, 2011)

Sambungan Pracetak

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las). Menurut SNI 03-1729-2002, kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Gaya-dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
- Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
- Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

Pola Retak

Model keruntuhan yang terjadi pada rangka batang dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Ada berbagai macam pola retak yang dapat terjadi apabila rangka batang yang terbuat dari beton komposit diberi beban vertikal. Pertama, keruntuhan akibat tarik pada batang yang membentuk pola retak berupa retakan-retakan tegak lurus batang diujung-ujung batang tarik.

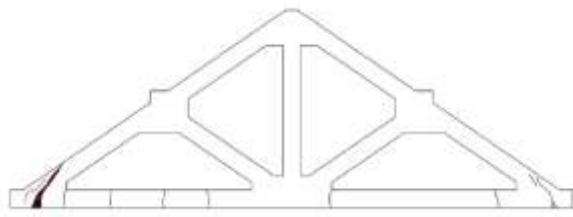
Pola retak akibat gaya tarik dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2 Pola retak akibat gaya tarik aksial
Sumber : Tedy Wonlele; Sri Murni Dewi; Siti Nurlina, 2013 (Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1-2013)

Pola retak yang berikutnya adalah pola retak akibat gaya geser dan tekan pada tumpuan. Bentuk pola retak akibat gaya ini berupa retakan-retakan miring terhadap balok tarik horisontal disekitar tumpuan. Hal ini menyebabkan keruntuhan total struktur.

Pola retak akibat gaya geser dan tekan dapat dilihat seperti gambar berikut ini:



Gambar 3 Pola Retak akibat gaya geser dan tekan pada tumpuan

Sumber : Tedy Wonlele; Sri Murni Dewi; Siti Nurlina, 2013 (Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1-2013)

Ilustrasi pola keretakan yang disajikan pada gambar 3 diatas ialah pola keretakan pada kuda-kuda tanpa sambungan dengan bentang total 240cm dan tinggi 100cm. Kuda-kuda tersebut dapat menahan beban vertikal maksimum sebesar 6136kg.

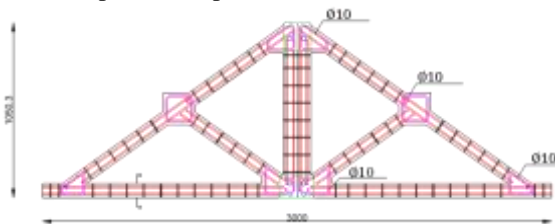
METODE PENELITIAN

Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

Benda Uji dalam penelitian ini terdapat 4 (empat) benda uji kuda-kuda beton komposit. Kuda-kuda ini merupakan setengah kuda-kuda beton tulangan bambu dengan limbah batu bata sebagai agregat kasar sebanyak 8 buah yang kemudian disambung menggunakan sambungan pelat baut membentuk 4 buah kuda-kuda. Semua benda uji memiliki ukuran penampang (8 x 8) cm untuk setiap batang dengan panjang bentang struktur rangka kuda-kuda adalah 2 kali 150 cm dan tinggi 105 cm. Pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dalam penelitian ini akan dilakukan setelah sudah berumur 28 hari.

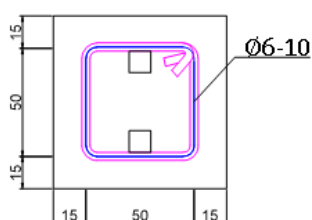
Pemodelan Benda Uji

Dalam penelitian ini, desain penulangan serta dimensi dari kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dapat dilihat pada Gambar 4 berikut



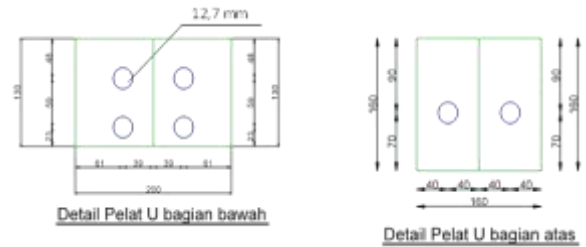
Gambar 4 Desain Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Potongan melintang dari batang rangka kuda-kuda komposit tulangan bambu dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini



Gambar 5 Potongan melintang rangka kuda-kuda

Detail sambungan pelat baut yang digunakan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dapat di lihat pada gambar 6 dibawah ini



Gambar 6 Detail sambungan pelat baut kuda-kuda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Silinder Beton

Uji kuat tekan silinder beton dilakukan setelah beton berumur 7 hari. Karena silinder diuji saat umur beton 7 hari maka perlu dikoreksi sesuai umur kuat tekan rencana yaitu pada umur 28 hari. Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah silinder.

Tabel 1 Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton

Benda Uji	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	P max	Kuat Tekan 7 hari	Kuat Tekan 28 hari	Kuat Tekan Rata-Rata
	kg	kg/m ³		kg/m ³	kN	N/mm ²	
1	10,45	0,00197	0,001967	144	8,145	12,532	10,791
2	10,50	0,00198		103	5,826	8,963	
3	10,35	0,00195		125	7,071	10,878	

Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Bertulang Bambu

Hasil dari pengujian ini diantaranya ialah berat jenis dari benda uji itu sendiri, beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji, dan terakhir ialah hubungan antara beban dan deformasi yang terjadi. Hasil-hasil pengujian di lapangan secara aktual ini akan dibandingkan dengan perhitungan secara analisis.

Berat Benda Uji Kuda-Kuda

Berat sendiri dari benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu agregat batu bata dengan sambungan pelat baut ditunjukkan dalam table 2. Selanjutnya dengan volume benda uji rangka kuda-kuda sebesar 0,06164 m³ maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume.

Tabel 2 Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda – Kuda Beton Komposit

No.	Jenis Pembebanan	Berat Benda Uji (kg)	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m ³)	Berat/Volume (kg/m ³)
1	Vertikal Simetris	133,50	134,963	0,06164	2189,528
2	Vertikal Simetris	134,45			
3	Vertikal Tidak Simetris	135,95			
4	Vertikal Tidak Simetris	135,90			

Perbandingan Berat Benda Uji Aktual dan Teoritis

Sesuai dengan SNI 03-2835-2000, volume benda uji dibuat dalam bentuk silinder beton berdimensi $0,005 \text{ m}^3$, dari hasil tersebut dapat dihitung berat per volume dari masing-masing benda uji secara teoritis, sehingga diperoleh hasil perbandingan berat sendiri per volume benda uji secara aktual dan teoritis yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Berat Jenis benda Uji Aktual dan Teoritis

Benda Uji	Berat Per Volume		KR
	Teoritis (kg/m^3)	Rata-Rata Aktual (kg/m^3)	
Tipe P-B	2312,5	2189,528	5.318

Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Pada pengujian beban vertikal pada penelitian ini terdapat tiga beban yang bekerja, namun hanya satu yang berfungsi sebagai beban tetap sebesar 100 kg, sedangkan dua lainnya sebagai beban bertambah hingga tercapai beban maksimum yang mampu ditahan benda uji. Penambahan beban terus dilakukan per interval beban 50 kg sampai benda uji telah runtuh (collapse).

Tabel 4 Hasil Pengujian Beban Vertikal Simetris Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton

Tipe Benda Uji	No.	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
A-5	1	Vertikal Simetris	550	600
A-6	2	Vertikal Simetris	650	
A-4	3	Vertikal Tidal Simetris	1250	950
A-3	4	Vertikal Tidak Simetris	650	

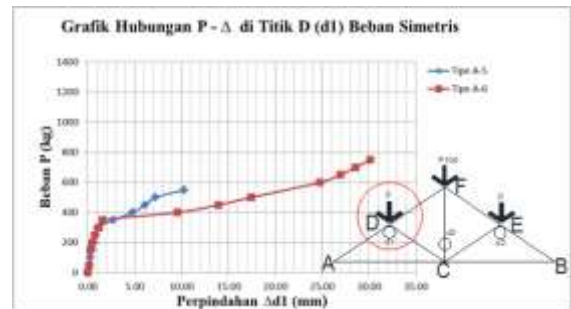
Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Tabel 5 Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

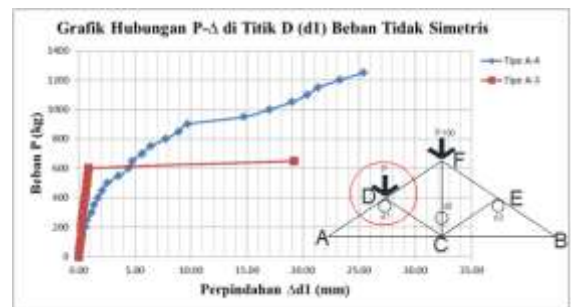
No.	Tipe Benda Uji	Jenis Pembebanan	Beban Maksimum (kg)		KR (%)
			Teoritis	Rata" Aktual	
1	A-5	Vertikal Simetris	1970.25	600	69.547
2	A-6				
3	A-4	Vertikal Tidak Simetris	2627.61	950	63.845
4	A-3				

Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih yang besar antara beban maksimum teoritis dan actual. Selisih yang besar ini dapat dilihat melalui hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 69,547 %. Keruntuhan terjadi pada bagian batang dan bukan pada sambungan pelat baut.

Grafik Hubungan P - Δ di Titik D Vertikal (d1)



Gambar 8 Grafik Hubungan P - Δ d1 Benda Uji Tipe A-5 dan A-6

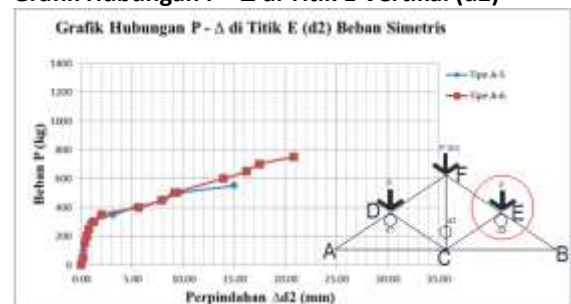


Gambar 9 Grafik Hubungan P - Δ d1 Benda Uji Tipe A-3 dan A-4

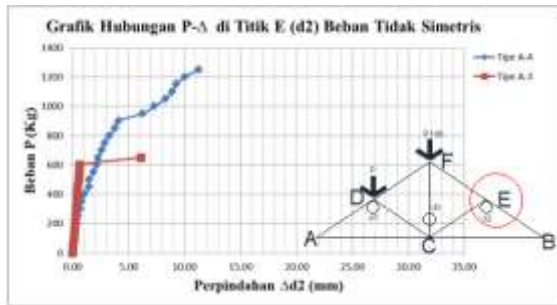
Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk titik D kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku, karena bisa dilihat melalui titik hancur beton cukup tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil dibandingkan benda uji tipe A-5.

Benda uji tipe A-5 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu hanya 10,28 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 550 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

Grafik Hubungan P - Δ di Titik E Vertikal (d2)



Gambar 10 Grafik Hubungan P - Δ d2 Benda Uji Tipe A-5 dan A-6

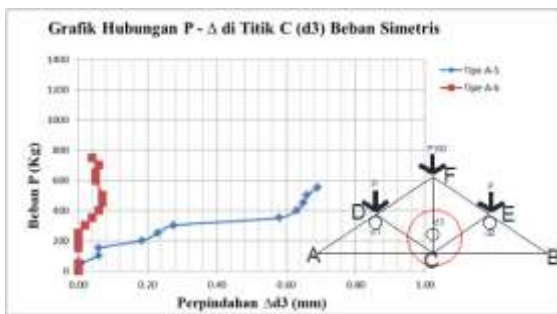


Gambar 11 Grafik Hubungan P - Δ d2 Benda Uji Tipe A-3 dan A-4

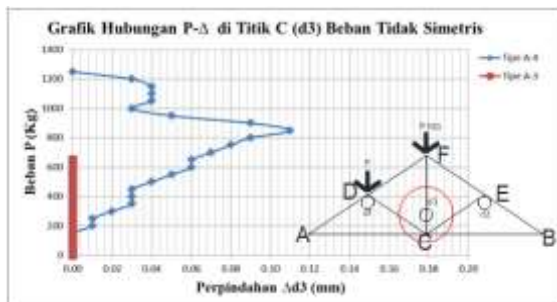
Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk titik E kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku, karena bisa dilihat melalui titik hancur beton cukup tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil dibandingkan benda uji tipe A-3.

Benda uji tipe A-3 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu hanya 6,11 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 650 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

Grafik Hubungan P - Δ di Titik C Vertikal (d3)



Gambar 12 Grafik Hubungan P - Δ d3 Benda Uji Tipe A-5 dan A-6



Gambar 13 Grafik Hubungan P - Δ d3 Benda Uji Tipe A-3 dan A-4

Dari grafik hasil pengujian untuk titik C kondisi vertikal simetris dan vertikal tidak simetris menunjukkan bahwa, benda uji tipe A-4 merupakan yang paling kaku yang dapat dilihat melalui titik hancur beton tinggi sedangkan deformasi yang relatif kecil ialah benda uji tipe A-3.

Benda uji tipe A-3 mengalami deformasi maksimum terkecil dibanding benda uji tipe lain, yaitu

hanya 0 mm, dan beban maksimum yang dicapai hanya sebesar 650 kg terkecil dibanding tipe lainnya.

Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis

Tabel 6 Hasil Perbandingan Deformasi Δ d1 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δ d1 Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	300	0,18110	1,3
Vertikal Tidak Simetris	350	0,16766	0,915

Tabel 7 Hasil Perbandingan Deformasi Δ d2 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δ d2 Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	300	0,18268	1,465
Vertikal Tidak Simetris	350	0,15204	0,585

Tabel 8 Hasil Perbandingan Deformasi Δ d3 Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi Δ d3 Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	350	0,02113	0,1575
Vertikal Tidak Simetris	300	0,05246	0,015

Pada perbandingan deformasi teoritis dan aktual saat beban mencapai P elastis memperlihatkan perbedaan yang cukup jauh untuk setiap pembebanan dan setiap titik tinjau. Perbedaan nilai deformasi ini tidak dapat sepenuhnya dihindari dikarenakan faktor-faktor yang tidak diperhitungkan pada metode unit load. Sehingga hasil dari teoritis dan aktual dapat terjadi perbedaan seperti pada tabel diatas.

Pembahasan

Pengaruh Penggunaan Sambungan Grouting Terhadap Beban Maksimum

Dalam penelitian ini ada 2 jenis pembebanan yang telah dilakukan pada total 4 buah benda uji kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan sambungan pelat baut. Jenis pembebanannya yaitu vertikal simetris dan vertikal tidak simetris. Masing-masing pembebanan dilakukan pada 2 buah benda uji berbentuk kuda-kuda. Saat pembebanan dilakukan, benda uji akan mengalami keretakan sampai akhirnya terjadi keruntuhan (*collapse*). Beban saat keretakan pertama terjadi dapat dilihat pada tabel 10 dan gambar 15.

Tabel 9 Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji		Beban Keretakan Pertama (Kg)	Beban Keretakan Pertama Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6	350	350
	5	350	
Vertikal Tidak Simetris	4	350	475
	3	600	



Gambar 14 Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Beban maksimum yang mampu dicapai oleh benda uji kuda-kuda tulangan bambu beton komposit masing-masing tipe pun dapat dilihat pada tabel 11 dan gambar 16 berikut.

Tabel 10 Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji		Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6	650	600
	5	550	
Vertikal Tidak Simetris	4	1250	950
	3	650	



Gambar 15 Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Pada Kedua Tipe Pembebanan

Dalam Tabel tersebut dapat dilihat perbedaan yang cukup jauh antara beban maksimum yang mampu ditahan oleh kedua jenis pembebanan. Benda uji dengan tipe pembebanan vertikal tidak simetris dapat menahan beban maksimum hingga 1250 kg, sedangkan untuk tipe pembebanan vertikal simetris hanya 650 kg. Hal ini disebabkan pada saat pembebanan vertikal simetris, beban bertambah yang diterima benda uji terletak pada dua titik sekaligus, yaitu titik D dan titik E. Sedangkan pada pembebanan vertikal tidak simetris

beban bertambah hanya ditempatkan pada satu titik yaitu titik D.

Pola Retak yang Terjadi pada Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu dengan Sambungan Pelat Baut

Model keruntuhan suatu struktur dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Semua benda uji yang telah diuji dengan masing-masing tipe pembebanan memiliki pola retak yang hampir sama, yaitu retakan yang berbentuk tegak lurus terhadap sumbu batang. Posisi keretakan pun terjadi pada daerah sekitar joint kuda-kuda. Hal ini disebabkan oleh beton yang tidak mampu menahan elastisitas tulangan bambu, dan menyebabkan beton mengalami retakan. Kemudian disusul oleh keruntuhan struktur secara menyeluruh.

Keretakan mayoritas terjadi pada bagian batang pada struktur kuda-kuda dan sekitar daerah joint kuda-kuda. Keretakan pada bagian ini lah yang membuat struktur mengalami keruntuhan. Kami menemukan beberapa dugaan permasalahan yang terjadi saat pengujian di lapangan antara lain ialah sambungan pelat baut tidak mengalami keretakan ataupun pembengkokkan, dan juga kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang kurang kuat disebabkan karena pengaruh *Mix Design*.

Keretakan awal terjadi di daerah batang kuda-kuda disebabkan oleh pembebanan awal, hingga batas pembebanan maksimum, barulah terjadi keretakan di daerah *joint* dan daerah sekitar sambungan. Maka dari itu pola retak yang di hasilkan tidak sama dengan hipotesis yang diduga. Karena beban maksimum yang dihasilkan oleh kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan sambungan pelat baut hanya 1250 kg, sedangkan hasil beban maksimum kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa sambungan sebesar 3000 kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian variasi pembebanan pada kuda-kuda beton komposit beragregat batu bata tulangan bambu dengan sambungan pelat baut, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk pembebanan vertikal simetris, keruntuhan terjadi ketika beban bertambah setiap 50 kg sampai didapat beban maksimum dan beban maksimum rata-rata sebesar 600 kg di dua titik, yaitu titik D untuk d1 dan titik E untuk d2. Sedangkan untuk pembebanan vertikal tidak simetris, beban bertambah rata-rata pada satu titik yaitu titik D untuk d1 yang dapat ditahan sebelum terjadi keruntuhan ialah 950 kg bisa dilihat pada tabel 4.9. Beban maksimum yang dapat ditahan oleh kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa sambungan pada penelitian milik Hanif Insani tahun 2016 mencapai rata-rata 3000 kg. Sedangkan beban maksimum

pada kuda-kuda tanpa sambungan (oleh Tedy Wonlele, 2013) dengan bentang total 240 cm dan tinggi 100 cm dapat menahan beban vertikal maksimum sebesar 6136 kg. Perbedaan beban maksimum pada penelitian ini sangat besar. Ini dikarenakan beberapa hal teknis seperti panjang bentang dan mutu beton itu sendiri. Dari hasil ini maka perlu penelitian lebih lanjut terkait mutu beton yang menggunakan agregat kasar limbah batu bata.

2. Pada variasi pembebanan vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, keretakan terjadi relatif pada titik yang hampir sama. Titik keretakan yang mengakibatkan keruntuhan terletak pada titik yang sama yaitu pada batang dan daerah *joint* sambungan pelat baut. Salah satu masalah yang terjadi ialah kuda-kuda beton hancur lebih dahulu, sedangkan tulangan bambu dan sambungan tidak hancur. Dikarenakan fokus pada penelitian ini ialah pada respon sambungan pelat baut terhadap beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, dan melihat pola keretakan yang terjadi saat keruntuhan dilapangan yaitu hampir sama dengan saat tanpa menggunakan sambungan, maka ini membuktikan bahwa sambungan pelat baut belum efektif untuk digunakan sebagai sambungan kuda-kuda tersebut. Karena perencanaan sambungan yang kekuatannya melebihi kekuatan beton, sehingga sambungan tidak hancur lebih dulu dibandingkan beton ataupun tulangan.

Saran

Berikut ini merupakan saran terkait penelitian respon sambungan pelat baut pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu terhadap variasi beban vertikal simetris dan tidak simetris:

1. Untuk mengetahui nilai elastisitas beton secara aktual perlu dilakukan pengujian pada silinder beton dengan menggunakan alat ekstensometer atau *strain gauge*. Dari alat ini akan didapatkan nilai regangan sehingga modulus elastisitas dapat dihitung karena dari hasil penelitian didapat bahwa rumus empiris modulus elastisitas beton normal tidak bisa digunakan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton ringan.
2. Benda uji beton dengan agregat kasar limbah batu bata memerlukan waktu lebih lama untuk mengeluarkan kadar air dalam benda uji sebelum dilakukan pengujian karena tingkat absorpsi air batu bata yang tinggi.
3. Perencanaan *Mix Design* dapat dilakukan analisis untuk teoritis yang lebih rinci sesuai dengan keadaan aktualnya sehingga akan didapatkan hasil yang semakin mendekati hasil aktual.
4. Berdasarkan hasil penelitian, limbah batu bata dapat digunakan untuk menggantikan batu kerikil dalam campuran beton, tetapi perlu diperhatikan bahwa tingkat absorpsi batu bata

sangat tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap daya serap batu bata terhadap air agar mendapatkan nilai penyerapan yang tepat.

5. Saat pemasangan pipa berulir, untuk memasukkan baut agar lebih mudah pemasangannya dilakukan bersamaan dengan pembuatan bekisting. Tujuannya adalah supaya posisi peletakan baut lurus dan rapih sesuai perencanaan.
6. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk selanjutnya dengan membuat kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan penggunaan sambungan antar segmen dengan dimensi dan teknik pemasangan sambungan yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih efektif.
7. Penelitian ini bisa dijadikan referensi, untuk selanjutnya lebih diperhatikan bagian kekuatan beton, dikarenakan sambungan yang telah terpasang lebih kuat dibandingkan dengan struktur kuda-kuda beton tulangan bambu.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standards. (2004). *ASTM C 150 150 – 04 Standards Specification For Portland Cement*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Dewi, S. M. (2008). *Mekanika Struktur Komposit*. Malang: Bergie Media.
- Insani, M.H. (2016). Pengaruh Variasi Agregat Terhadap Kekuatan dan Berat Kuda-kuda Beton Komposit Tulang Bambu. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Morisco(1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*.
- Schodek, D.L. (1995). *Struktur*. Diterjemahkan Oleh: Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT. Eresco.
- SNI-03-1729-2002 (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2461-2002 (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- SNI-03-2834-2000 (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2847-2002 (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-15-2094-2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suseno, H. (2010). *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bergie Media.
- Wonlele, Tedy, Sri Murni Dewi, dan Siti Nurlina, 2013 *Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Rangka Batang Beton Bertulang*. Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1.
- Dewi, S. M., As'ad Munawir, Wisnumurti, Devi Nurlinah, (2017). *Bambu Konstruksi Untuk Rakyat*, Malang: UB Press.

