

**RESPON SAMBUNGAN GROUTING PADA KUDA-KUDA BETON
KOMPOSIT TULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN
VERTIKAL SIMETRIS DAN TIDAK SIMETRIS**

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ALANGNABIL

NIM. 135060101111068

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

RESPON SAMBUNGAN GROUTING PADA KUDA-KUDA BETON KOMPOSIT TULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN VERTIKAL SIMETRIS DAN TIDAK SIMETRIS

*Response Of Grouting Connections On Composite Concrete Roof-Truss With Bamboo Reinforcement
To Symmetrical And Asymmetrical Vertical Loads*

Muhammad Alangnabil, Sri Murni Dewi, Eva Arifi

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

ABSTRAK

Kuda-kuda ialah salah satu elemen struktural yang diketahui digunakan sebagai penopang penutup atas suatu bangunan. Salah satu bahan untuk membuat kuda-kuda ialah beton bertulang. Pada penerapannya di lapangan, pengerjaan dan pemasangan kuda-kuda beton bertulang pracetak utuh cukup sulit karena dibutuhkan alat berat untuk mengangkat kuda-kuda ke tempat pemasangan. Selain itu juga kuda-kuda utuh ini juga memiliki resiko yang besar mengalami retak pada elemen-elemennya saat diangkat. Dikarenakan beberapa hal itu, akan lebih efisien jika kuda-kuda dibagi menjadi 2 segmen. Kedua segmen kuda-kuda ini baru akan disambung di lokasi pemasangan. Hal ini akan memudahkan proses pemasangan kuda-kuda dan akan mengurangi resiko retak saat pengangkatan. Pada penelitian ini, akan digunakan jenis sambungan grouting untuk menyambung kedua segmen kuda-kuda tersebut. Pada benda uji nantinya akan dilakukan 2 jenis pembebanan bertambah yaitu beban vertikal simetris (VS) dan vertikal tidak simetris (VTS). Beban ini akan bertambah dengan interval 50kg. 2 buah benda uji akan dibuat untuk setiap tipe pembebanan. Pada tipe VS, rata-rata beban yang mampu ditahan ialah 150kg. Sedangkan pada tipe VTS beban maksimum yang dapat ditahan ialah 275kg. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada tahun 2016 (oleh Tedy Wonlele, Sri Murni Dewi dan Siti Nurlina) yang menggunakan modifikasi material beton bertulang yang sama namun tidak menggunakan sambungan, beban yang mampu ditahan mencapai 6136kg dengan panjang bentang total 240cm. Pola retak yang terjadi pada penelitian ini pun terjadi pada sambungan grouting. Fakta dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan desain sambungan grouting sehingga pola keruntuhan ini dapat dihindari.

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

ABSTRACT

Roof-truss are one of the structural elements known to be used as the top support of a building. One of the materials that used to construct truss structure is reinforced concrete. On its application, the installation of pre-cast reinforced concrete roof-truss intactly is quite difficult because it requires heavy equipment to lift the truss to the installation site. Besides, this intact roof-truss also has a risk of cracking on one of its element when lifted. Due those things, it would be more efficient if the roof-truss are divided into 2 segments. These segments will be connected on the installation site. This method will simplify the process of roof-truss installation and will reduce the risk of being crack when lifted. In this study, grouting connector were used to connect the two segments of truss. 2 types of incremental load test will carried out on the test object which is vertical symmetric (VS) and asymmetric(VTS). This load increaseed with 50kg interval. For every type of load, there were two test object each. In the VS type, the average load that can be hold is 150kg. While on the VTS type the maximum load that can be withheld was 275kg. When compared to previous research in 2013 (by Tedy Wonlele, Sri Murni Dewi and Siti Nurlina) using the same modified concrete material but not using a connector, the retained load reached an average of 3000kg. Crack patterns that occurred in this study also occurred in the grouting connector. These facts of this study indicate that further research is needed related to grouting connection design so this collapse pattern should be avoided.

Keywords: roof-truss, reinforced concrete, bamboo reinforced, recycled brick, grouting connector

PENDAHULUAN

Kuda kuda ialah salah satu elemen struktural yang diketahui digunakan sebagai penopang penutup atas suatu bangunan. Kuda kuda berbentuk struktur rangka batang sehingga elemen setiap batang kuda kuda akan diasumsikan mengalami gaya tarik dan tekan. Salah satu material yang paling umum digunakan ialah beton bertulang sebagai elemen pada rangka batang. Beton bertulang sendiri dalam pemakaiannya secara umum telah memiliki banyak sekali perkembangan. Yang paling banyak mengalami perkembangan merupakan dari sektor bahan beton bertulang itu sendiri. Tentunya perkembangan bahan beton bertulang ini diharapkan dapat mengurangi berat sendiri beton bertulang tanpa mengurangi kekuatan beton bertulang secara umum.

Untuk campuran beton, secara umum terdiri dari semen, air dan agregat. Perlu diketahui penyumbang bobot terbesar pada suatu beton bertulang ialah bahan agregat pada campuran beton. Alternatif yang akan digunakan untuk mengganti kerikil pada penelitian kali ini ialah limbah batu bata. Penggunaan limbah batu bata sebagai agregat kasar ini terbukti dapat mereduksi berat sendiri campuran beton. Hal ini dikarenakan limbah batu bata relatif lebih ringan dibandingkan dengan kerikil dan batu pecah.

Selain melakukan modifikasi pada campuran beton, akan dirubah juga bagian tulangan yang biasanya menggunakan tulangan baja. Tulangan baja pada beton bertulang juga berpengaruh banyak pada bobot beton bertulang. Peran tulangan baja pada beton bertulang ialah sebagai penahan gaya tarik aksial. Material tulangan baja ini akan diganti menggunakan material yang lebih ringan, namun tetap memiliki tahanan tarik yang tinggi. Penelitian ini akan menggunakan bambu sebagai pengganti tulangan baja. Bambu ialah material alami yang memiliki daya tahan tarik yang tinggi namun berat yang jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan tulangan baja.

Penelitian kuda-kuda beton bertulang bambu dengan agregat dimodifikasi ini pernah dijadikan sebagai tugas akhir pada tahun 2016 (oleh Muhammad Hanif Insani). Dari modifikasi agregat pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuda-kuda dengan agregat limbah batu bata memiliki berat jenis yang lebih ringan yaitu $2004,25 \text{ kg/m}^3$ dibandingkan menggunakan agregat batu kerikil yaitu $2312,06 \text{ kg/m}^3$, meskipun kuda-kuda dengan agregat limbah batu bata hanya dapat menahan beban maksimum $3016,67 \text{ kg}$ sedangkan bila menggunakan batu kerikil dapat menahan beban mencapai 3700 kg .

Beton bertulang dengan agregat kasar berupa limbah batu bata dan tulangan bambu ini diharapkan dapat mengurangi berat sendiri beton bertulang pada umumnya namun tetap mempertahankan mutu kuat

tarik dan tekannya. Pada penelitian kali ini modifikasi ini akan diaplikasikan pada sebuah kuda kuda utuh berbentuk segitiga sama kaki. Dalam pengaplikasiannya, pengerjaan kuda kuda beton bertulang pre-cast utuh cukup sulit karena dibutuhkan alat berat untuk mengangkat kuda kuda ke tempat pemasangan. Selain itu juga kuda kuda utuh ini juga memiliki resiko yang besar mengalami retak pada elemen elemennya saat diangkat. Dikarenakan beberapa hal itu, akan lebih efisien jika kuda kuda dibagi menjadi 2 segmen. Kedua segmen kuda kuda ini baru akan disambung di lokasi pemasangan. Hal ini akan memudahkan proses pemasangan kuda kuda dan akan mengurangi resiko retak saat pengangkatan.

Oleh karena itu, penting pula untuk mengetahui jenis sambungan yang tepat untuk menyambung 2 segmen kuda kuda di lokasi pemasangan (in situ). Pada penelitian ini, akan digunakan jenis sambungan grouting untuk menyambung kedua segmen kuda kuda tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Bertulang

Menurut Edward (1998), beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara, dan kadang kadang campuran tambahan lainnya. Campuran yang masih plastis ini di cor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen-air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini memiliki kekuatan tekan yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah, atau kira kira kekuatan tariknya 0,1 kali kekuatan terhadap tekan.

Bahan Grout

Bahan grout halus harus dibuat dengan agregat halus sesuai dengan Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen SK SNI S-02-1994-03. Bahan grout kasar harus dibuat dengan agregat gabungan kasar dan halus sesuai dengan ASTM C-404.

Tulangan Bambu

Berat jenis bambu berbeda beda menurut jenis bambu yaitu $670-720 \text{ kg/m}^3$, dan pada bagian batang yaitu $570-760 \text{ kg/m}^3$, serta pada bagian dinding batang dalam $370-830 \text{ kg/m}^3$ atau bagian luar yaitu $700-850 \text{ kg/m}^3$. Berat jenis ini pun cepat turun sesuai proses pengeringan. Namun untuk konstruksi bangunan bambu (bahan bangunan yang kering dengan kadar air 12%) berat jenis bambu di Indonesia dianggap rata-rata 700 kg/m^3 (Heinz, 2004).

Kekuatan tarik bambu untuk menahan gaya gaya tarik berbeda-beda pada bagian dinding batang dalam atau bagian luar, garis-garis batang (batang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang lebih tinggi), serta pada bagian batang mana yang digunakan karena bagian kepala memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang kaki. Di

Indonesia tegangan tarik yang diizinkan sejajar arah serat adalah $29,4 \text{ N/mm}^2$. (Heinz,2004)

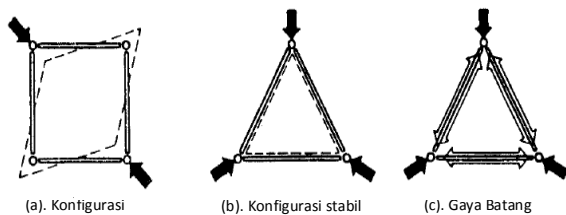
Batu Bata

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 (SNI 15-2094-1991, SII-0021-78).

Limbah batu bata digunakan sebagai pengganti agregat pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Faktor yang paling mempengaruhi ikatan agregat batu bata dengan pasta dari semen adalah porositas dan absorpsi. Porositas merupakan isi ruang kosong dalam suatu material, sementara absorpsi merupakan banyaknya air pada permukaan kering jenuh. Absorpsi air pada limbah batu bata diestimasi 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering (Kasegic, 2008)

Struktur Rangka Batang

Dalam perencanaan bangunan rangka batang beton komposit dengan menggunakan perhitungan berdasarkan keadaan elastis, besarnya tegangan yang diakibatkan oleh gaya-gaya batang dibatasi oleh besarnya tegangan ijin elemen betonnya (Schodek, 1995).



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

Pola Retak

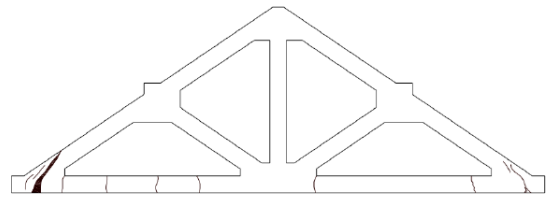
Model keruntuhan yang terjadi pada rangka batang dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Ada berbagai macam pola retak yang dapat terjadi apabila rangka batang yang terbuat dari beton komposit diberi beban vertikal. Pertama, keruntuhan akibat tarik pada batang yang membentuk pola retak berupa retakan-retakan 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 2.21 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

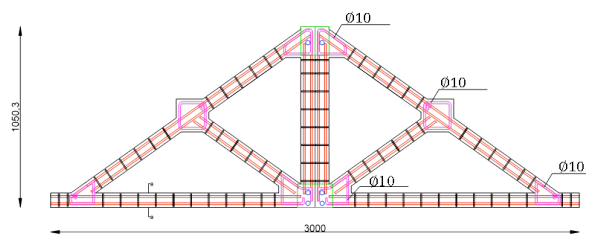
Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

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 cor grouting 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. Pengujian dilakukan untuk mencari beban maksimum dan penurunan yang terjadi, lalu pola retak yang terjadi pada rangka kuda-kuda dan sambungan cor grouting akan dilihat dan dicatat perpindahannya hingga runtuh.

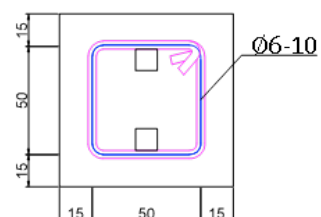
Pemodelan Benda Uji

Dalam penelitian ini, desain penulangan serta dimensi dapat dilihat pada Gambar 4 berikut



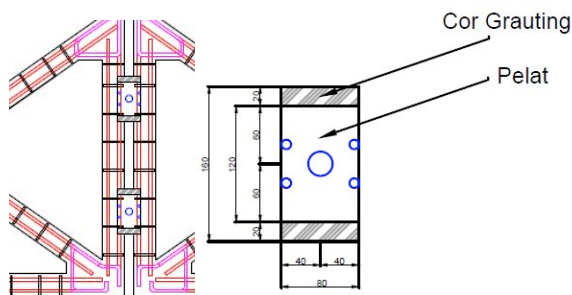
Gambar 4 Desain Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

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



Gambar 5 Potongan melintang rangka kuda-kuda

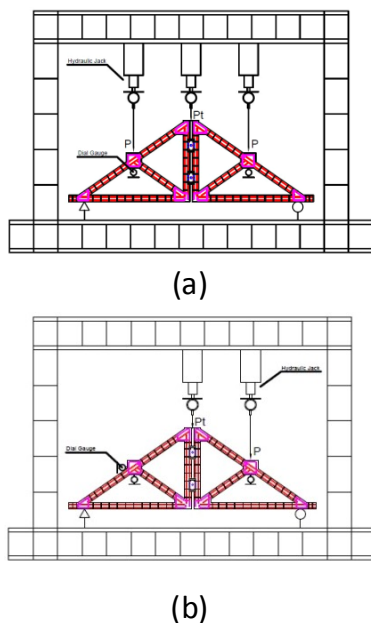
Untuk sambungan grouting, akan dipasang pada batang tengah seperti yang dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini



Gambar 6 Posisi dan dimensi sambungan grouting

Pemodelan Pembebanan

Pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dilakukan 28 hari setelah dilakukan pengecoran. Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan dan diberi beban tetap di titik simpul atas (P_T), kemudian dilakukan pembebanan yang terus bertambah dengan alat uji tekan vertikal (P). Setelah alat dan benda uji siap, pengujian dilakukan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum saat benda uji mulai menampakkan retak pada kuda-kuda. Skema pembebanan untuk kuda-kuda dapat dilihat pada gambar 7 berikut



Gambar 7 Skema Pembebanan (a) vertikal simetris; (b) vertikal tidak simetris

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Silinder Beton

Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah ini akan di uji pada saat beton berumur 7 hari. Dikarenakan umur beton yang akan digunakan pada pengujian ini ialah beton dengan umur 28 hari, maka hasil uji silinder 7 hari perlu dikalikan dengan

koefisien umur beton. Untuk hasil uji silinder dapat dilihat pada tabel 1

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	N/mm ²	N/mm ²
1	10,45	1972		144	8,15	12,54	
2	10,5	1981	1969	103	5,83	8,97	10,80
3	10,35	1953		125	7,07	10,88	

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder pada tabel 1 dapat dilihat terdapat selisih yang besar antara kuat tekan uji silinder aktual dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Hal ini terjadi dikarenakan karakteristik agregat kasar yaitu batu bata yang digunakan memiliki daya penyerapan air (absorpsi) yang besar sehingga sangat berpengaruh pada susut silinder beton dan pada kuat tekannya.

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 variasi sambungan Cor Grouting ditunjukkan dalam tabel 2. Selanjutnya dengan volume benda uji rangka kuda-kuda sebesar 0,06164m³ maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume atau berat jenis dari benda uji.

Berat rata-rata untuk benda uji kuda kuda beton bertulangan bambu dengan sambungan grouting ini adalah sebesar 130,15 kg.

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	133,1			
2	Vertikal Simetris	130			
3	Vertikal Tidak Simetris	126,55	130,15	0,0616	2111,45
4	Vertikal Tidak Simetris	130,95			

Dari hasil pengujian bahan uji silinder beton di dapatkan berat isi beton untuk benda uji rangka kuda-kuda beton bertulang bambu. 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

Berat Per Volume		KR
Teoritis	Rata-Rata Aktual	%
(kg/m^3)	(kg/m^3)	
1969,018	2111,454	7,234

Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Hasil pengujian pembebanan vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 4

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

Benda Uji	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
1	150	150
2	150	

Hasil pengujian pembebanan vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5 Hasil Pengujian Beban Vertikal Tidak Simetris Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton

Benda Uji	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
1	250	275
2	300	

Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Pada penelitian kali ini, akan dibandingkan antara hasil secara aktual dan secara teoritis. Hasil perbandingan ini akan disajikan pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Pembebanan	Beban Maksimum		KR
	Teoritis (kg)	Rata-Rata Aktual (kg)	%
Vertikal Simetris	955,5	150	84,3
Vertikal Tidak Simetris	1274,34	275	78,42

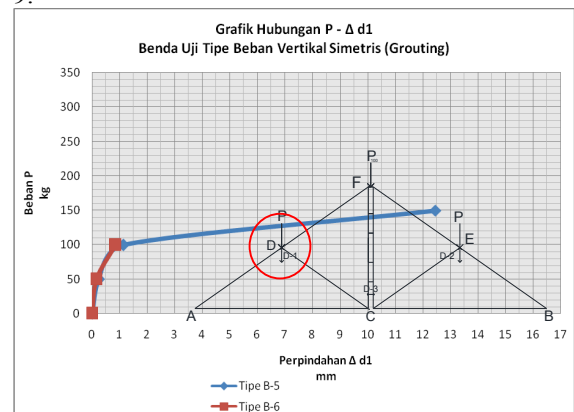
Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih yang besar antara beban maksimum teoritis dan aktual. Selisih yang besar ini ditemukan dapat dilihat melalui hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 84,3 %. Keruntuhan terjadi pada bagian batang tengah yang terdapat sambungan grouting.

Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau

Seperti yang disebutkan pada sub-bab sebelumnya, titik tinjau ialah pada titik D dan E menggunakan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) dan pada titik C menggunakan dial gauge. Hubungan antara beban (P) dan deformasi (Δ) akan disajikan dengan bentuk grafik pada setiap benda uji.

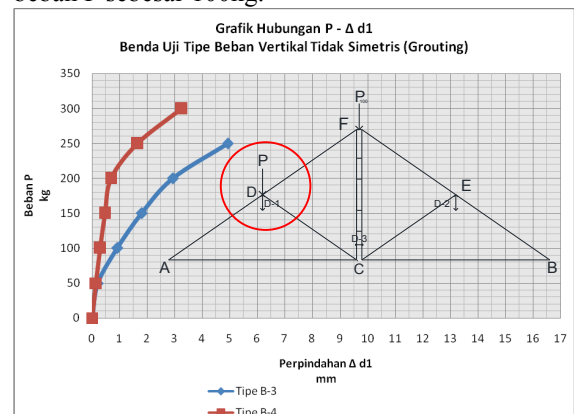
Grafik Hubungan P - Δ di Titik D Vertikal (d1)

Pembebanan vertikal yang dilakukan pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik D vertikal (d1) untuk setiap tipe pembebanan (vertikal simetris dan vertikal tidak simetris) pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



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

Melalui hubungan P - Δ d1 pada pengujian beban vertikal simetris ini dapat dilihat kondisi batas beban maksimum. Selain itu juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji. Batas kondisi elastis benda uji B-5 dan B-6 sangat rendah yaitu pada beban P sebesar 100kg.

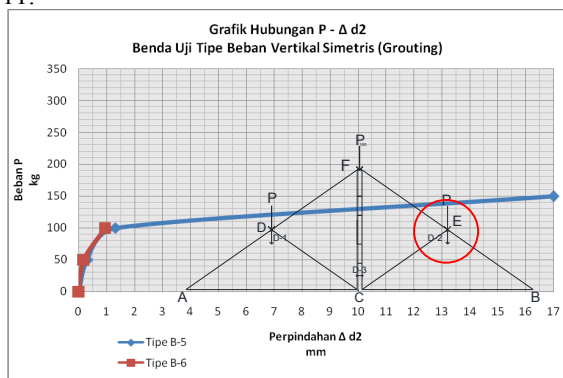


Gambar 9 Grafik Hubungan P - Δ d1 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk pembebanan vertikal tidak simetris ini memperlihatkan hasil ketahanan yang lebih besar terhadap beban P. Pada pembebanan vertikal simetris keruntuhan terjadi pada beban P sebesar 150kg, sedangkan pada pembebanan vertikal tidak simetris keruntuhan terjadi pada beban P sebesar 300kg

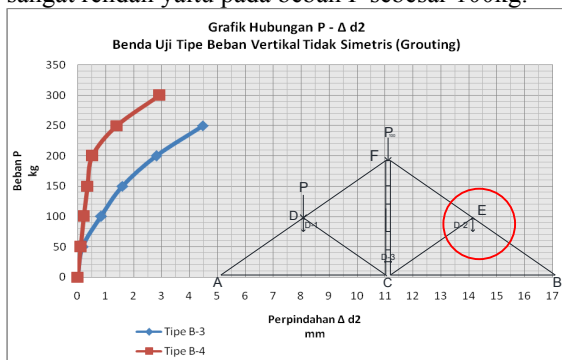
Grafik Hubungan P - Δ di Titik E Vertikal (d2)

Seperti pada pembebanan vertikal yang dilakukan pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan joint ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban P dan perpindahan Δ di titik D vertikal (d2) untuk setiap tipe pembebanan (vertikal simetris dan vertikal tidak simetris) pada pengujian ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Grafik Hubungan P - Δd2 Benda Uji Tipe B-5 dan B-6

Tidak terjadi perubahan yang signifikan dibanding Δd1 pada benda uji Tipe B-5 dan B-6 yang disajikan pada gambar 8, hubungan P - Δd2 pada pengujian beban vertikal simetris ini dapat dilihat kondisi batas beban maksimum sebesar 150kg. Selain itu juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji B-5 dan B-6 yang sangat rendah yaitu pada beban P sebesar 100kg.



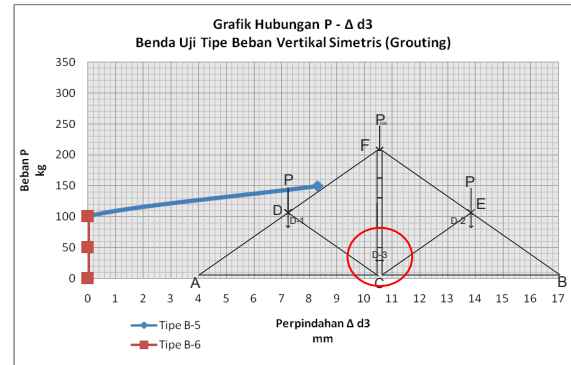
Gambar 11 Grafik Hubungan P - Δd2 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Secara keseluruhan grafik hasil pengujian untuk pembebanan vertikal tidak simetris ini memperlihatkan hasil yang sama dibanding Δd1 yang dapat dilihat pada gambar 9. hanya saja memang deformasi yang terjadi pada setiap pembebanan lebih kecil dibanding dengan Δd1, hal ini dikarenakan Δd1 ialah tempat menerima beban langsung pada joint D.

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

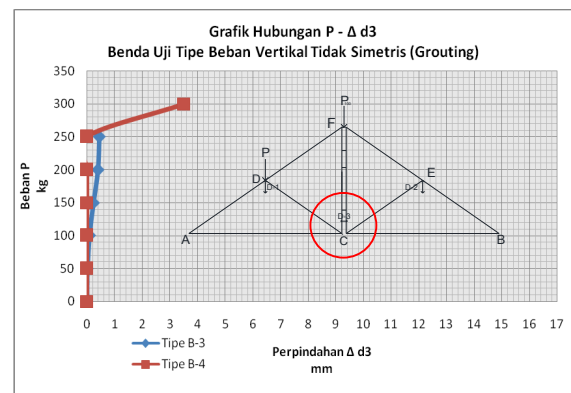
Selain dipasang LVDT secara vertikal pada titik tinjau D (d1) dan E(d2), dipasang juga dial gauge pada

titik C batang tengah dari kuda kuda komposit tulangan bambu untuk mengetahui perpindahan secara horizontal. Akan disajikan grafik pengaruh beban terhadap deformasi pada titik C ini pada gambar 12 (pembebanan vertikal simetris) dan pada gambar 13 (pembebanan vertikal tidak simetris).



Gambar 12 Grafik Hubungan P - Δd3 Benda Uji Tipe B-5 dan B-6

Pada grafik yang ditunjukkan gambar 12, tidak terlihat deformasi yang terjadi secara horizontal di titik C pada benda uji tipe B-5 dan B-6 sebelum terjadinya keruntuhan pada beban 150kg. Ini memperlihatkan benda uji ini getas pada arah horizontal ketika diberi beban vertikal simetris di titik D dan titik E.



Gambar 13 Grafik Hubungan P - Δd3 Benda Uji Tipe B-3 dan B-4

Pada pembebanan vertikal tidak simetris, terlihat perbedaan hasil dari pembacaan dial gauge pada benda uji B-3 dan B-4. Meskipun kondisi dan perlakuan pada benda uji B-3 dan B-4 sama, namun hasil variatif ini tidak dapat dihindari sepenuhnya. Grafik ini menunjukkan bahwa benda uji B-4 lebih getas terhadap deformasi arah horizontal.

Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis

Nilai deformasi teoritis dihitung dengan cara metode unit load. Nilai teoritis ini akan dibandingkan dengan nilai deformasi aktual. Perbandingan akan dilakukan saat beban elastis bekerja. Faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan deformasi teoritis dengan metode unit load ini diantaranya adalah kuat tekan beton, berat isi beton, elastisitas beton, luas penampang benda

uji, dan beban P elastis. Faktor-faktor tersebut telah diperoleh melalui hasil pengujian-pengujian dan analisis sebelumnya. Hasil perbandingan deformasi aktual dan teoritis disajikan dalam Tabel 7 sampai Tabel 9.

Tabel 7 Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d1$ Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d1$ Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	50	0,12145	0,21
Vertikal Tidak Simetris	50	0,11035	0,18

Tabel 8 Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d2$ Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d2$ Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	50	0,12145	0,24
Vertikal Tidak Simetris	50	0,10729	0,14

Tabel 9 Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d3$ Elastis Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d3$ Elastis	
		Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	50	0,03882	0
Vertikal Tidak Simetris	50	0,03543	0,005

Perbedaan nilai deformasi ini tidak dapat sepenuhnya dihindari dikarenakan faktor-faktor yang tidak diperhitungkan pada metode unit load. Faktor-faktor tersebut antara lain, perubahan bentuk kuda-kuda saat pengujian dan lebar retakan pada setiap tahap pengujian yang mengakibatkan beton dalam kondisi lemah, sedangkan tulangan lebih kuat. Selain faktor tersebut, pada perhitungan teoritis metode unit load, rumus empiris modulus elastisitas yang digunakan adalah persamaan untuk beton normal, sedangkan pada penelitian kali ini benda uji menggunakan beton

beragregat asar batu bata yang pada dasarnya ialah beton ringan.

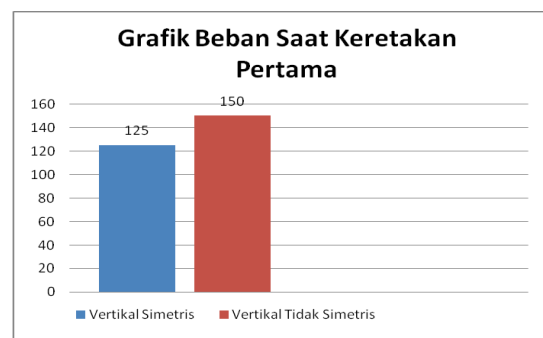
Pembahasan

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 grouting. 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 14.

Tabel 10 Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji	Beban Keretakan Pertama (Kg)	Beban Keretakan Pertama Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6 5	125
Vertikal Tidak Simetris	4 3	150

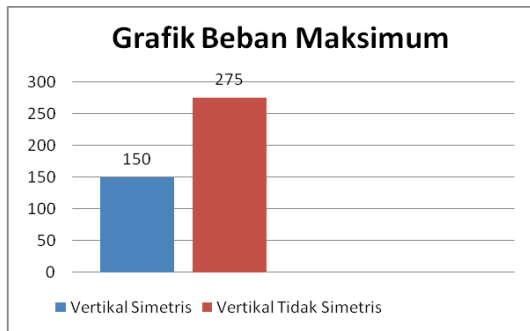


Gambar 14 Beban Saat Keretakan Pertama Pada Kedua Tipe Pembebanan

Beban maksimum yang mampu dicapai oleh benda uji kuda-kuda tulangan bambu beton komposit masing-masing tipepun dapat dilihat pada tabel 11 dan gambar 15 berikut.

Tabel 11 Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Pada Kedua Tipe Pembebanan

Benda Uji	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
Vertikal Simetris	6 5	150
Vertikal Tidak Simetris	4 3	275



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 300 kg, sedangkan untuk tipe pembebanan vertikal simetris hanya 150 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 Grouting

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 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 sambungan grouting. Keretakan pada bagian ini lah yang membuat struktur mengalami keruntuhan. Kami menemukan beberapa dugaan permasalahan yang terjadi saat pengujian di lapangan diantaranya ialah pengikat yang digunakan untuk sambungan grouting berupa kawat bendrat yang terlepas ketika diberi beban, dan juga daya lekat campuran grouting pada permukaan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang kurang kuat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

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

1. Untuk pembebanan vertikal simetris, keruntuhan terjadi pada beban bertambah rata-rata sebesar 150kg di dua titik, sehingga beban total ialah 300kg. Sedangkan untuk pembebanan vertikal tidak simetris, beban bertambah rata-rata yang dapat ditahan sebelum terjadi keruntuhan ialah 275kg. Tapi angka ini masih terbilang kecil dibandingkan dengan kuda-kuda tanpa sambungan dengan

bentang 240cm pada penelitian sebelumnya pada tahun 2013 (oleh Tedy Wonlele, Sri Murni Dewi dan Siti Nurlina) yang mampu menahan hingga total beban 6136 kg.

2. Pada variasi pembebanan vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, keretakan terjadi relatif pada titik yang sama. Titik keretakan yang mengakibatkan keruntuhan pun terletak pada titik yang sama yaitu pada titik sambungan grouting. Pola keretakan ini berbeda dengan keretakan yang terjadi pada penelitian sebelumnya pada tahun 2013 (oleh Tedy Wonlele, Sri Murni Dewi dan Siti Nurlina) yang keruntuhan terjadi pada batang tarik dibagian bawah kuda-kuda. Salah satu masalah yang terjadi ialah terputusnya kawat bendrat pengikat plat pengaku pada sambungan grouting. Akibatnya ialah saat pembebanan di laboratorium, keruntuhan terjadi pada sambungan grouting.

Dikarenakan fokus pada penelitian ini ialah pada respon sambungan grouting terhadap beban vertikal simetris dan vertikal tidak simetris, melihat pola keretakan yang terjadi saat keruntuhan dilapangan yaitu tidak sama dengan saat tanpa menggunakan sambungan, maka diperlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan desain sambungan grouting sehingga pola keruntuhan yang terjadi pada penelitian ini dapat dihindari. Diperlukan perbaikan pada metode pemasangan plat yang dipasang dalam cor grouting.

Saran

Berikut ini merupakan saran terkait penelitian respon sambungan grouting 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. Tingkat absorpsi pada agregat batu bata sangat tinggi, sehingga untuk mengurangi dominansi penyerapan air kedalam batu bata pada saat pengadukan beton, ada 2 cara yang dapat dijadikan jalan keluar saat pengadukan. Pertama ialah menggunakan batu bata dengan keadaan *ssd (saturated surface dry)*, atau yang kedua ialah memasukan agregat batu bata ke media pengaduk pada urutan terakhir. kedua hal ini dilakukan agar air bercampur dengan semen dengan baik.

4. Saat pemasangan sambungan grouting, untuk menyambung pelat yang akan digunakan sebagai pengaku ke rangka kuda-kuda, sebaiknya tidak menggunakan kawat bendrat. Gunakan pengikat yang lebih kuat karena kawat bendrat akan putus terlebih dahulu sebelum sambungan grouting mencapai batas maksimumnya.
5. Saat pemasangan sambungan grouting pada permukaan beton, sebaiknya perhatikan permukaan kuda-kuda yang akan bersentuhan dengan cor grouting. Semakin kasar permukaan, maka daya lekat grouting akan semakin baik.
6. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk selanjutnya dengan membuat kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan penggunaan sambungan grouting antar segmen dengan dimensi dan teknik pemasangan sambungan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Affandi M. (2004) . *Perbedaan sistem konvensional dengan sistem pracetak*
- 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.
- Dewi, S. M. et.all (2017). *Bambu Konstruksi Untuk Rakyat*. Malang: UB Press
- Hibbeler, R. C. (2002). *Analisis Struktur*. Diterjemahkan Oleh: Yaziz Hasan dan Masdin. Jakarta: PT. Prenhallino.
- Honing, J. (1977). *Konstruksi Beton*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Indarwanto, Muji. *Pusat Pengembangan bahan ajar-UMB*
- Insani, M.H. (2016). *Pengaruh Variasi Agregat Terhadap Kekuatan dan Berat Kuda-kuda Beton Komposit Tulang Bambu*. *Jurnal*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Jansen, J. J. A. (1991) *Mechanical Properties of Bamboo*. Kluwer Academic Publisher
- Kasegic, I., Netinger, I., & Bjegovic, D. 2008. Recycled Clay Brick As an Aggregate For Concrete. *Technical Gazette* 15(2008)3, 35-40.
- Morisco(1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*.
- Indonesia, P. B. (1971). *PeraturanBeton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- 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-03-6891-2002 (2002). *Spesifikasi Bahan Graut Untuk Pekerjaan Pasangan*. 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.
- Ummiati, S. (2009). *Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahann Gempa Sistem Ganda Untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa Pada Wilayah Gempa Tertinggi di Indonesia*. Tesis tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Winter, G., dan Nilson, A. (1993). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wonlele, Tedy, Sri Murni Dewi, dan Siti Nurlina, 2011 *Roof Frame From Bamboo Concrete Composite*. *Jurnal of Material Science and Engineering*/Volume 1-no.1
- 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

