

**PENGARUH VARIASI AGREGAT TERHADAP KEKUATAN DAN  
BERAT KUDA-KUDA BETON KOMPOSIT TULANGAN BAMBU  
DENGAN SERAT BAMBU**

**Ahmad Yuri Anugrah, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya**

**ABSTRAK**

Yang sering digunakan pada konstruksi rumah adalah kuda-kuda beton bertulang. Alasan menggunakan kuda-kuda beton bertulang karena mudah diaplikasikan di dalam konstruksi. Oleh karena itu perlu adanya alternatif agar kuda – kuda beton menjadi konstruksi yang ringan dengan menggunakan tulangan bambu. Penggunaan tulangan bambu adalah suatu opsi yang baik karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan memiliki berat sendiri yang lebih ringan daripada tulangan baja. Untuk lebih menerapkan konsep ringan pada kuda – kuda, maka dalam penelitian ini menggunakan variasi agregat kasar yang lebih ringan daripada agregat kasar konvensional (batu kerikil), serta serat bambu dapat mengatasi kelemahan beton terhadap kekuatan tarik. Penelitian ini membahas tentang pengaruh agregat kasar terhadap kekuatan dan berat kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan serat bambu. Variasi agregat kasar yang digunakan adalah batu *pumice* dan limbah batu bata. Kuda-kuda yang memiliki sudut sebesar 35° dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap variasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuda-kuda beragregat kasar limbah batu bata dengan serat bambu memiliki berat sendiri rata-rata yang lebih ringan sebesar 84,15 kg dan mampu menahan beban lebih baik sebesar 3766,67 kg daripada yang beragregat kasar batu kerikil. Namun kuda – kuda agregat batu kerikil memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan kuda-kuda beragregat kasar batu *pumice* dan limbah batu bata.

**Kata kunci:** kuda – kuda, variasi agregat kasar, berat, kekuatan, perpindahan

**ABSTRACT**

*Today, truss structure made of steel much used in large construction because steel having the power of high but rarely used on small construction because steel has a high economic value. Which are often used in house construction is reinforced concrete truss structure. The reasons for using reinforced concrete truss structure because it is easily applied in in construction . Hence there should have been an alternative to concrete truss structure into a construction lightly with bamboo reinforced . The use of bamboo reinforced is a good option because it has a high enough strength and has own weight lighter than steel reinforced. To further implement the concept of light on a truss structure, so in this study used variations of coarse aggregate that are lighter than conventional coarse aggregate (gravel), as well as bamboo fiber can overcome the weakness of the concrete tensile strength. This study discusses the effect of aggregate variations to the strength and weight of bamboo reinforced concrete composite truss structure with bamboo fiber. Variation of coarse aggregate used is pumice stone and brick waste. Truss structure that have an angle of 35° made of 3 units for each variation. The results showed that truss structure with waste rough bricks aggregate with bamboo fiber has a weight itself average of 84.15 kg lighter and better able to withstand the load of 3766.67 kg than gravel aggregate. But the truss structure with gravel aggregate has greater rigidity than the truss structure with pumice stone and brick waste aggregate.*

**Keywords:** truss structure, coarse aggregate variations, weight , tensile, displacement

## PENDAHULUAN

Pada penelitian sebelumnya, tulangan bambu dapat digunakan sebagai tulangan kuda-kuda pengganti baja. Karena pada hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik bambu sejajar serat dapat mencapai 200-300 MPa, sedangkan kuat lentur dan tekan berkisar 80-100 MPa. Kuat geser tegak lurus serat hanya berkisar 5-10 MPa. Modulus elastisitas sejajar serat dapat mencapai 10-20 GPa (Dewi,2008). Hal ini mengindikasikan bambu bisa digunakan sebagai tulangan beton.

Tetapi pada pengaplikasian pada kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu masih mempunyai masalah yaitu kuda-kuda memiliki beban yang berat. Hal ini dikarenakan beton sendiri mempunyai berat sendiri yang besar. Material agregat kasar pada campuran beton lebih mendominasi daripada material yang lain. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, kuda-kuda dibuat dengan konsep beton ringan dengan menggunakan material agregat kasar yang lebih ringan dari sebelumnya. Penggunaan batu apung (*pumice*) dan limbah batu bata sebagai pengganti material agregat kasar dapat dijadikan alternatif tersebut. Batu apung memiliki berat yang lebih ringan dari agregat kasar lainnya karena batu apung memiliki porous (pori-pori) sekitar 20% dari penampangnya sehingga lebih ringan dari batu lainnya. Beton ringan sendiri memiliki berat isi sekitar 1900 kg/m<sup>3</sup> (SNI 03-2847-2002). Sedangkan limbah batu bata didapat pada sisa – sisa konstruksi. Sering ditemui limbah batu bata yang sudah tercampur dengan semen sehingga membentuk material seperti batu. Namun sebelum digunakan sebagai pengganti agregat kasar, batu apung dan limbah batu bata masih perlu diteliti bagaimana kekuatan yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan tulangan bambu dan variasi agregat kasar yaitu limbah batu bata dan batu apung, serta menambahkan serat bambu pada struktur kuda – kuda beton komposit ini.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Bahan Komposit

Bahan komposit (*Composite Material*) merupakan bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggabungan dua atau lebih material yang berbeda baik secara kimia maupun fisika menjadi satu kesatuan bahan yang utuh. Sifat-sifat komponen bahan dievaluasi secara terpisah dan digabung menjadi kesatuan sesuai dengan hukum campuran dimana sifat kompositnya tergantung

pada jumlah dan distribusi geometrik masing-masing komponennya. (Suseno, 2010)

### Beton Bertulang

Menurut Wang (1993), beton bertulang adalah gabungan logis dari dua jenis bahan: beton polos, yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah, dan tulangan baja yang ditanamkan ke dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

### Persyaratan Bambu Sebagai Bahan Konstruksi

Menurut SNI 8020-2014, bambu yang bisa digunakan sebagai bahan konstruksi secara umum yaitu:

- Buluh (batang bambu) harus halus,
- Kadar air kering udara,
- Bebas cacat, kecuali kulit mengelupas dan kulit tergores.

Sedangkan syarat khusus bambu yang bisa digunakan sebagai bahan konstruksi yaitu seperti pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1 Syarat Khusus Bambu Sebagai Bahan Konstruksi

Karakteristik	Satuan	Konstruksi		
		Berat	Sedang	Ringan
Tingkat Kedewasaan ( <i>maturity</i> )		Dewasa	Muda	
Kerapatan	g/cm <sup>3</sup>	> 0,65	0,56 - 0,65	< 0,56
Diameter	mm	> 100	< 100	-

#### Keterangan:

a) - adalah tidak dipersyaratkan

b) Untuk meningkatkan umur pakai, semua jenis bambu sebaiknya diawetkan

c) Jenis bambu yang direkomendasikan: Betung, Andong/Gombong, Tali, Ater, Hitam

Sumber: SNI 8020-2014

### Gaya Batang

Gaya batang adalah gaya yang disebabkan oleh efek beban eksternal yang menyebabkan keadaan tarik murni atau tekan murni pada setiap batang. Untuk rangka batang yang hanya menahan beban vertikal, pada batang bagian atas biasanya timbul gaya tekan, dan pada batang bagian bawah biasanya timbul gaya tarik.

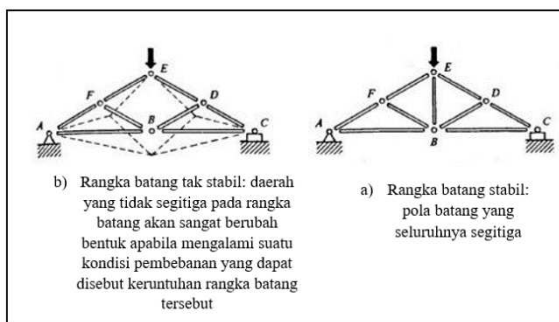
Perilaku gaya-gaya di setiap batang pada rangka batang dapat digunakan persamaan dasar keseimbangan. Akan tetapi untuk konfigurasi rangka batang sederhana, sifat gaya tersebut (tarik atau tekan) dapat ditentukan dengan menerapkan sedikit teknik dalam memberikan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban.

Salah satu kaidah menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk berdeformasi yang mungkin dari struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya dibayangkan tidak ada. Dengan seperti itu sifat gaya (tarik atau tekan) batang itu dapat diketahui berdasarkan analisis mengenai pencegahan deformasi tersebut. (Schodek, 1995)

### Stabilisasi Rangka Batang

Pertama kali yang dilakukan pada analisis rangka batang adalah selalu memastikan apakah rangka batang itu mempunyai konfigurasi stabil atau tidak. Secara umum, setiap rangka batang yang merupakan konfigurasi bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil.

Pola susunan batang yang tidak segitiga secara umum merupakan pola yang harus dipandang dengan lebih hati-hati. Rangka batang yang terlihat pada Gambar 1 (b) tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani seperti tergambar. Jelas bahwa rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang cukup untuk menjaga hubungan geometri kaku antara titik-titik hubungannya. Apabila batang-batang lainnya dirancang cukup untuk beban tersebut, maka penambahan batang BC seperti terlihat pada Gambar 1 (a) akan menjadikan konfigurasi stabil.



Gambar 1 Konfigurasi batang stabil dan tidak stabil

Sumber: Schodek (1995)

Model yang tidak biasa sering kali menyulitkan penyelidikan kestabilannya. Sebagai pembantu dalam menentukan kestabilan rangka batang bidang dipakai persamaan aljabar yang meyambungkan banyak titik hubung pada rangka batang dengan banyak batang yang diperlukan kestabilan. Misalkan  $n$  adalah banyak batang yang diperlukan, dan  $j$  adalah banyak titik hubung, maka

$$n = 2j - 3$$

Kebanyakan dapat dikatakan bahwa bila jumlah batang lebih kecil daripada yang diperlukan, maka strukturnya tidak stabil; sedangkan apabila jumlahnya lebih besar dari yang diperlukan, maka strukturnya berisi redundan. Akan tetapi, persamaan di atas belum cukup, dan tidak boleh begitu saja digunakan sebagai ganti penyelidikan visual untuk mengetahui kestabilan struktur. Persamaan itu hanya merupakan parameter apakah suatu gaya batang pada struktur dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan saja atau tidak, dan sebenarnya tidak ditujukan untuk meninjau kestabilan. Sekalipun begitu, persamaan tersebut memang dapat digunakan sebagai bukti awal kestabilan karena kita tidak dapat menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika. (Schodek, 1995).

### Lendutan Pada Struktur Batang

Kekuatan pada kuda-kuda sebagai struktur rangka batang merupakan beban maksimum yang bisa ditahan oleh setiap batang selaku komponen struktur tersebut. Beban-beban yang bekerja pada kuda-kuda beton bertulang bambu, seperti beban gravitasi (arah vertikal) dan beban angin (arah horizontal), dapat berdampak adanya lendutan dan deformasi pada elemen struktur kuda-kuda tersebut.

Lendutan pada struktur rangka batang adalah deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang pengaruh gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta = \frac{PL}{AE}$$

Dimana  $P$  merupakan gaya normal atau aksial pada batang yang diakibatkan oleh beban eksternal. Oleh karena itu persamaan gaya semu untuk rangka batang adalah

$$1. \Delta = \sum \frac{nPL}{AE}$$

dengan:

1 = beban satuan semu yang bekerja pada titik hubung rangka batang dalam arah  $\Delta$

$n$  = gaya normal semu internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh satuan beban semu eksternal

$P$  = gaya normal internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh beban sesungguhnya

$L$  = panjang batang yang ditinjau

$A$  = luas penampang batang yang dilihat  
 $E$  = modulus elastis batang yang dilihat



Gambar 2 Lentutan pada rangka batang  
 Sumber: Hibbeler (2002)

Beban satuan semu eksternal menghasilkan gaya semu internal  $n$  pada setiap batang dari rangka batang. Beban aktual kemudian mengakibatkan perpindahan titik buhul sejauh  $\Delta$  dalam arah yang sama dengan beban satuan semu dan setiap anggota bagian dipindahkan sejauh  $PL/AE$  dalam arah yang sama dengan gaya  $n$  yang diberikan. Dampaknya kerja semu eksternal  $1 \cdot \Delta$  sama dengan kerja semu internal atau energi tegangan (semu) internal yang disimpan dalam semua batang rangka batang  $\sum nPL/AE$ . (Hibbeler, 2002)

### Agregat Kasar

#### Batu Apung

Batu apung (*pumice*) merupakan jenis batuan yang berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung ber dinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat.

Batuan ini terbentuk dari magma asam oleh aksi letusan gunung api yang mengeluarkan materialnya ke udara, kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik. Batu apung mempunyai sifat vesicular yang tinggi, mengandung jumlah sel yang banyak (berstruktur selular) akibat ekspansi buih gas alam yang terkandung didalamnya, dan pada umumnya terdapat di dalamnya, dan pada umumnya terdapat sebagai bahan lepas atau fragmen-fragmen dalam breksi gunung api. Sedangkan mineral-mineral yang terdapat dalam batu apung adalah feldspar, kuarsa, obsidian, kristobalit, dan tridimit.

Sifat kimia dan fisika batu apung antara lain: mengandung oksida  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $SO_3$ , dan  $Cl$ , hilang pijar (*Loss of Ignition*) 6%, Ph 5, bobot isi ruah 480-960  $kg/cm^3$ , peresapan air (*Water Absorption*) 16,67%, berat jenis 0,8  $gr/cm^3$ , hantaran suara (*Sound Transmission*) rendah, rasio kuat tekan terhadap beban tinggi, konduktifitas panas (*thermal conductivity*) rendah, dan ketahanan terhadap api sampai dengan 6 jam.

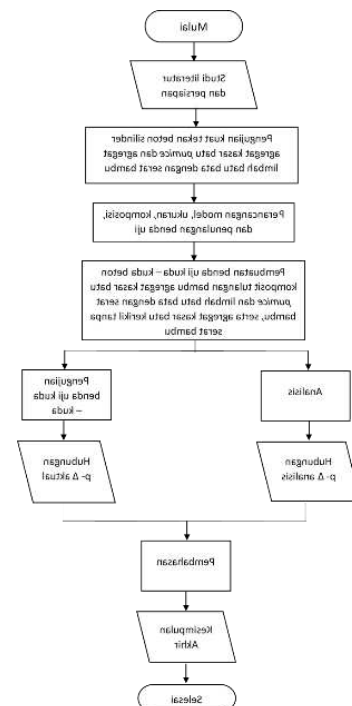
Keterdapatn batu apung selalu berkaitan dengan rangkaian gunung api berumur Kuartar sampai Tersier. Penyebaran meliputi daerah Serang, Sukabumi, Pulau Lombok, dan Pulau Ternate. (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, 2005)

### Limbah Batu Bata

Dalam penelitian ini batu bata yang digunakan adalah sisa dari kegiatan konstruksi yang sudah tidak terpakai.

Dengan memakai limbah batu bata sebagai pengganti agregat pada campuran beton, membolehkan untuk merancang campuran beton dengan cara yang sama dengan batu pecah pada umumnya. Absorpsi air limbah batu bata diestimasi 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering. Dengan perendaman selama 24 jam hanya menaikkan absorpsi air sebanyak 2%. Dari daftar psustaka tentang absorpsi air agregat limbah batu bata, limbah batu bata mendekati jenuh hanya dengan 30 menit perendaman dalam air (*Kasegic, 2008*).

### METODE PENELITIAN



Gambar 3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

### Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

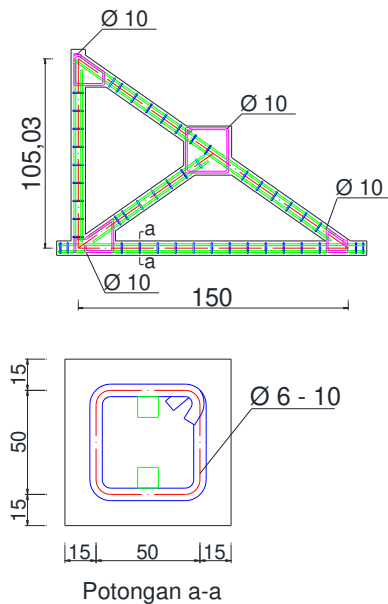
Terdapat tiga benda uji kuda-kuda dengan variasi agregat batu apung (*pumice*) dan agregat limbah batu bata berukuran 150 x 105 cm, dengan dimensi penampang 8 x 8 cm untuk semua batang.

Tidak ada perbedaan ukuran dari ketiga macam variasi agregat kasar. Pengujian dilakukan

setelah umur 28 hari. Pengujian dilakukan untuk menemukan beban maksimum dan lendutan yang terjadi. Kuda-kuda diletakkan pada tumpuan sendi-rol.

**Pemodelan Tulangan Bambu**

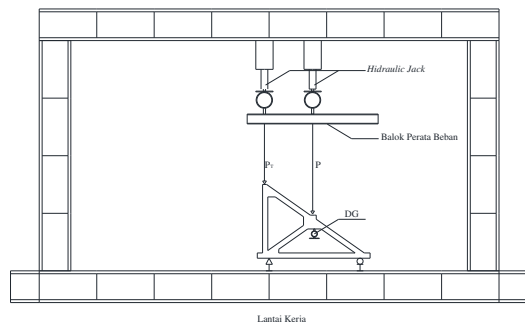
Dalam penelitian ini, desain penulangan serta dimensi dari kuda-kuda agregat batu *pumice* dan limbah batu bata adalah sama, seperti yang tergambar pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Pemodelan Tulangan bambu pada kuda-kuda

**Pemodelan Pembebanan**

Pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu diuji 28 hari setelah proses pengecoran. Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan kemudian dilakukan pembebanan dengan alat uji tekan vertikal. Pengujian dilakukan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum. Adapun skema pembebanan untuk kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Skema pembebanan  
Keterangan : P<sub>T</sub> (Beban tetap vertikal sebesar 50 kg)

**Rancangan Penelitian**

Sebagai pendahuluan dilakukan pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan batu apung dan batu bata sebagai agregat kasar serta serat bambu sebagai campuran beton. Setelah itu dilakukan pengujian untuk pengambilan data beban dan lendutan pada benda uji kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang berumur 28 hari.

**Rancangan Benda Uji Tekan Silinder**

Benda uji tekan sebanyak 3 buah untuk setiap variasi agregat. Jadi total benda uji tekan adalah 6 buah silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

**Pengujian Rangka Kuda-kuda Beton**

Adapun rancangan penelitian untuk salah satu variasi agregat kasar adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Pengambilan data beban dan perpindahan (deformasi) untuk agregat kasar batu apung dengan serat bambu sebagai campuran beton

P	Lendutan		
(kg)	d1	d2	d3

**PEMBAHASAN**

**Perencanaan *Mix Design***

Mutu beton (*f'c*) yang digunakan pada penelitian memiliki mutu yang berbeda. Untuk mutu beton normal dan beton dengan agregat batu *pumice* sebagai campuran beton ditetapkan mutu betonnya sebesar 20 MPa. Sedangkan untuk mutu beton dengan agregat limbah batu bata sebagai campuran beton ditetapkan mutu betonnya sebesar 22,5 MPa. Perbedaan nilai kuat tekan rencana kedua jenis agregat kasar karena pada hasil uji awal diketahui dengan menaikkan sebesar 2,5 MPa pada agregat limbah batu bata akan menyeimbangkan hasil kuat tekan. Batu bata memiliki tingkat daya serap air yang tinggi membuat beton mengalami perlemahan.

Pada hasil perencanaan *mix design* beton normal didapatkan untuk membuat satu buah kuda – kuda beton normal dengan volume 0,042292 m<sup>3</sup> dibutuhkan campuran 14,95 kg semen, 12,22 air, 30,65 kg agregat halus (pasir), dan 40,64 kg agregat kasar (batu kerikil).

Selanjutnya pada perencanaan *mix design* agregat limbah batu bata didapatkan untuk

membuat satu kuda-kuda dengan volume 0,042292 m<sup>3</sup> dibutuhkan 12,39 kg semen, 11,85 kg air, 41,74 kg agregat halus (pasir), dan 24,95 kg agregat kasar (limbah batu bata).

Hasil *mix design* batu apung dalam membuat satu buah kuda-kuda dengan volume 0,042292 m<sup>3</sup> dibutuhkan 12,35 kg agregat kasar, 34,6 kg agregat halus, 16,41 kg semen, 8,54 kg air.

### Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian ini untuk mendapatkan nilai kuat tekan silinder beton yang diuji pada umur 7 hari setelah melalui proses *curing* (perawatan). Benda uji silinder ini dibuat sebanyak 3 buah per agregat kasar untuk mendapatkan spesifik campuran beton dari masing masing silinder. Silinder yang diuji sebanyak 6 buah yang dibagi menjadi 3 buah untuk agregat kasar batu *pumice* dengan serat bambu yang memiliki mutu beton rencana 20 MPa dan 3 buah untuk agregat kasar limbah batu bata dengan serat bambu yang memiliki mutu beton rencana sebesar 22,5 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton dapat dilihat tabel 3 untuk agregat kasar limbah batu bata dengan serat bambu dan tabel 4 untuk agregat kasar batu *pumice* dengan serat bambu.

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Agregat Kasar Limbah Batu Bata Dengan Serat Bambu

Benda Uji	No.	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	p max	Kuat Tekan		Rata-Rata
						7 Hari (fci)	28 Hari (fci)	
		kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
BATA SERAT	1	11,3	2121,212		199	11,257	17,318	
	2	11,4	2149,495	2140,067	214	12,105	18,623	18,25
	3	11,4	2149,495		216	12,218	18,797	

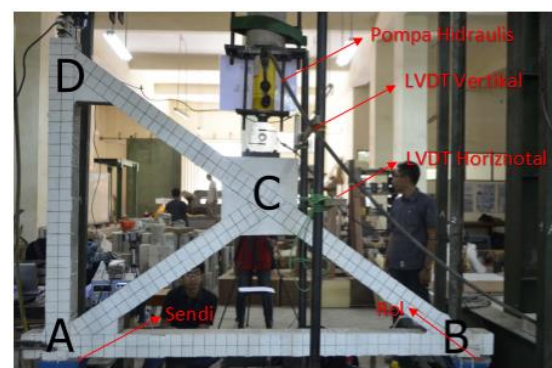
Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Agregat Kasar Batu *Pumice* Dengan Serat Bambu

Benda Uji	No.	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	p max	Kuat Tekan		Rata-Rata
						7 Hari (fci)	28 Hari (fci)	
		kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
PUMICE SERAT	1	10,9	2045,791		214	12,105	18,623	
	2	10,7	2017,508	2036,364	231	13,067	20,103	20,19
	3	10,9	2045,791		251	14,198	21,843	

### Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan kuda-kuda ini adalah pengujian utama pada penelitian ini. Pengujian ini dilaksanakan setelah umur kuda – kuda beton komposit mencapai umur 28 hari melalui proses perawatan (*curing*). Proses *curing* dilakukan dengan cara membasahi karung goni dan diletakkan di atas benda uji kuda – kuda selama 2 minggu setelah bekisting terlepas. Hal ini dilakukan untuk memperlambat proses hidrasi beton sehingga mampu mencegah terjadinya retakan pada benda uji. Sebelum melakukan pengujian, kuda – kuda beton komposit ditimbang

dahulu pada timbangan digital dengan kapasitas 500 kg. Kemudian kuda-kuda beton komposit yang sudah berumur 28 hari diletakkan ke *frame* pengujian yang ada di laboratorium. Kuda-kuda beton komposit dikondisikan memiliki tumpuan sendi – rol. Untuk mengetahui perpindahan yang terjadi pada kuda-kuda, kami memasang LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di titik C pada posisi vertikal dan horizontal dan di titik D pada posisi vertikal. Lalu kuda – kuda dibebani menggunakan pompa hidraulik pada titik C dan titik D. Untuk beban yang ditetapkan pada titik D adalah sebesar 50 kg. Hal ini untuk mencegah kuda – kuda terjadi guling selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 6 Proses Pengujian Kuat Tekan Kuda-Kuda Beton Komposit (Beton Normal)

### Berat Sendiri Kuda-Kuda Beton Komposit

Untuk berat sendiri dari kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan agregat kasar batu *pumice* dan limbah batu bata menggunakan serat bambu sebagai campuran beton, serta dengan kuda-kuda beton komposit normal tanpa serat dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5 Hasil Berat Sendiri Aktual Kuda – Kuda Beton Komposit

Agregat Kasar	No. Benda Uji	Berat Benda Uji	
		(kg)	Rata – Rata
BATU PUMICE (SERAT)	1	70,65	
	2	68,3	69,27
	3	68,85	
LIMBAH BATU BATA (SERAT)	1	86,2	
	2	82,9	84,15
	3	83,35	
BATU KERIKIL (BETON NORMAL)		97,8	

Dari hasil berat sendiri aktual kuda-kuda dapat dilihat benda uji menggunakan agregat kasar batu *pumice* dan limbah batu bata dengan serat bambu sebagai campuran beton memiliki berat sendiri aktual yang lebih ringan daripada benda uji yang menggunakan agregat kasar batu kerikil (beton normal). Hal ini dikarenakan agregat kasar batu *pumice* dan limbah batu bata memiliki berat



yang lebih ringan daripada agregat batu kerikil. Dan juga penambahan serat tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap berat sendiri aktual dari kuda-kuda. Hal ini dikarenakan penambahan serat hanya memiliki berat sebesar 1,5 % dari berat semen pada setiap benda uji dengan agregat kasar *batu pumice* dan limbah batu bata.

### Beban Maksimum Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Selanjutnya, hasil pengujian beban maksimum yang dapat diterima oleh kuda-kuda ditampilkan pada tabel 6

Tabel 6 Hasil Pengujian Beban Maksimum Yang Dapat Diterima Kuda-Kuda Beton Komposit

Agregat Kasar	No. Benda Uji	P Maks (kg)
BATU <i>PUMICE</i> (SERAT)	1	1450
	2	1450
	3	1850
LIMBAH BATU BATA (SERAT)	1	3600
	2	4000
	3	3700
BATU KERIKIL (BETON NORMAL)		3700

Dilihat dari tabel 6, beban maksimum yang paling besar yang dapat ditahan oleh kuda – kuda yaitu pada kuda-kuda agregat kasar limbah batu bata dengan serat bambu sebesar 4000 kg. Dan beban maksimum yang paling rendah yang dapat ditahan oleh kuda-kuda yaitu pada kuda – kuda agregat kasar batu *pumice* dengan serat bambu sebesar 1450 kg. Hasil pengujian beban maksimum memiliki hasil yang berbeda-beda yang disebabkan oleh banyak faktor diantara pekerjaan pemasangan tulangan bambu dan sengkang, serat bambu yang tercampur di beton apakah sudah menyatu dengan benda uji atau belum, pada saat proses pengecoran benda uji meskipun pada saat pengecoran semua benda uji sudah diberi perlakuan yang sama, dan proses pengujian benda uji.

### Perpindahan Maksimum Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Setelah itu hasil pengujian perpindahan maksimum yang terjadi di kuda-kuda dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7 Perpindahan Maksimum Kuda-Kuda Beton Komposit

Agregat Kasar	No. Benda Uji	$\Delta$ Maks			Rata-rata $\Delta$ Maks		
		d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
BATU <i>PUMICE</i> (SERAT)	1	2,09	2,11	1,78	12,6	9,7	1,8
	2	3,66	1,95	2,77			
	3	31,96	25,1	0,992			
LIMBAH BATU BATA (SERAT)	1	15,73	7,49	5,21	19,6	14,0	4,6
	2	20,28	11,96	4,24			
	3	22,78	22,55	4,43			
BATU KERIKIL (BETON NORMAL)		12,99	7,43	3,58	13,0	7,4	3,6

Keterangan:

- d1 adalah posisi LVDT yang diletakkan vertikal pada titik *joint C* Kuda-kuda
- d2 adalah posisi LVDT yang diletakkan horizontal pada titik *joint C* Kuda-kuda
- d3 adalah posisi LVDT yang diletakkan vertikal pada titik *joint D* Kuda-kuda

Dari tabel 7 dapat dilihat dari rata-rata perpindahan (deformasi) maksimum yang mengalami perpindahan paling besar terdapat pada benda uji yang menggunakan agregat kasar limbah batu bata dengan nilai d1 sebesar 19,6 mm; d2 sebesar 14 mm; dan d3 sebesar 4,6 mm.

### Grafik Hubungan P- $\Delta$ di Titik C Vertikal

Untuk mengetahui pengaruh hubungan antara beban yang dapat diterima dengan perpindahan yang terjadi pada kuda-kuda, dapat dilihat pada satu gambar grafik hasil pengujian di titik d1 seperti berikut.



Gambar 7 Grafik Hubungan Antara Beban (P) Dan Perpindahan ( $\Delta d1$ ) di d1 (Pumice Serat, Bata Serat, dan Beton Normal)

Dari gambar 7 terlihat bahwa pergerakan grafik meningkat secara stabil untuk kuda –kuda dengan agregat kasar limbah batu bata dengan serat dan batu kerikil (beton normal). Sedangkan untuk agregat batu *pumice* dengan serat cenderung memiliki pergerakan grafik yang melandai sangat signifikan. Untuk nilai lendutan maksimum rata – rata pada kuda – kuda agregat kasar batu *pumice* adalah 31,96 mm, lalu agregat kasar limbah batu

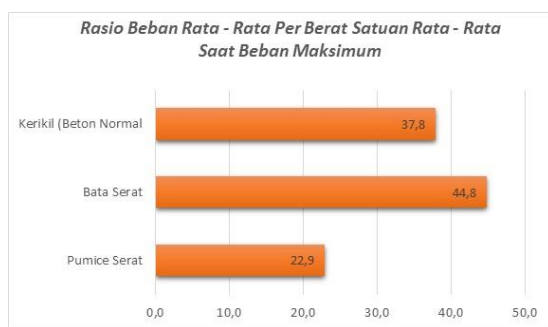
bata 20,28 mm, dan agregat kasar batu kerikil (beton normal) 12,99 mm. Benda uji beton normal merupakan benda uji kontrol pada penelitian ini.

### Rasio Beban Per Satuan Berat Kuda – Kuda Beton Komposit Dengan Variasi Agregat Kasar Menggunakan Serat Bambu

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh variasi agregat terhadap kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan serat bambu, maka peneliti menggunakan rasio beban per berat satuan pada saat kuda-kuda beton komposit mengalami beban maksimum. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8 Rasio Beban Rata - Rata Per Berat Satuan Rata - Rata Saat Beban Maksimum

Benda Uji	Beban Rata - Rata (kg)	Berat Sendiri Rata - Rata (kg)	Rasio
Pumice Serat	1583,33	69,27	22,9
Bata Serat	3766,67	84,15	44,8
Kerikil (Beton Normal)	3700	97,8	37,8



Gambar 8 Grafik Rasio Beban Rata - Rata Per Berat Satuan Rata - Rata Saat Beban Maksimum

Dilihat dari gambar 8, benda uji kuda-kuda beton komposit agregat kasar limbah batu bata dengan serat bambu memiliki rasio yang terbesar diantara kuda – kuda beton komposit agregat batu kerikil (beton normal) dan kuda-kuda beton komposit agregat batu *pumice* dengan serat bambu. Dengan menggunakan rasio tersebut, maka kuda-kuda beton komposit beragregat limbah batu bata dengan serat bambu memiliki rasio kekuatan terbaik dibanding dengan kuda-kuda beton komposit agregat batu *pumice* dengan serat bambu dan agregat batu kerikil.

### Kekakuan Struktur Rangka Kuda – Kuda Beton Komposit

Kekakuan adalah gaya (*force*) yang dipengaruhi oleh beban vertikal yang terjadi di kuda-kuda untuk menghasilkan perpindahan (*unit displacement*) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{kekakuan (satuan)} = \frac{\text{gaya (kg)}}{\text{perpindahan (mm)}}$$

untuk hasil kekakuan struktur kuda – kuda pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9 Hasil Nilai Kekakuan Struktur Rangka Kuda – Kuda Beton Komposit Saat Beban

Agregat Kasar	P Maks Aktual Rata -Rata (kg)	Rata -rata Δ Maks d1 (mm)	Kekakuan (kg/mm)
BATU PUMICE (SERAT)	1583,33	12,6	126,0
LIMBAH BATU BATA (SERAT)	3766,67	19,6	192,2
BATU KERIKIL (BETON NORMAL)	3700	13,0	284,8

### Maksimum

Pemilihan perpindahan vertikal di titik C (d1) sebagai penentu tingkat kekakuan disebabkan karena perpindahan vertikal di titik C merupakan posisi peletakan beban vertikal pada kuda – kuda yang dibebani secara bertahap. Sedangkan untuk perpindahan horizontal di titik C (d2) kurang bisa digunakan sebagai rujukan untuk mengetahui tingkat kekakuan disebabkan perpindahannya yang terjadi dipengaruhi oleh tumpuan rol pada titik A yang mudah bergeser saat proses pengujian berlangsung maupun saat diluar proses pengujian. Dan juga untuk perpindahan vertikal di titik D (d3) kurang bisa digunakan sebagai acuan karena saat proses pembebanan berlangsung, pembacaan LVDT di d3 mengalami pengecilan nilai lendutan diikuti dengan perubahan bentuk kuda – kuda.

Dari hasil kekakuan kuda – kuda di d1 (posisi beban vertikal pada saat pengujian) pada tabel 9 diatas terlihat kuda – kuda yang menggunakan agregat kasar batu kerikil memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan kuda – kuda yang beragregat kasar limbah batu bata dan agregat batu *pumice* dengan serat bambu.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan pembahasan analisis data pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil bahwa ada pengaruh variasi agregat kasar terhadap berat dan kekuatan kuda – kuda beton komposit tulangan bambu dengan serat bambu sebagai campuran beton. Diantaranya adalah:

1. Dilihat dari berat sendiri aktual, kuda – kuda agregat kasar batu apung (*pumice*) mempunyai



- berat sendiri sebesar 69,27 kg dan yang beragregat limbah batu bata mempunyai berat sendiri sebesar 84,15 kg lebih ringan daripada kuda – kuda beton komposit tulangan bambu beragregat kasar batu kerikil (beton normal) yang mempunyai berat sendiri hingga 97,8 kg.
2. Sedangkan untuk kekuatan sendiri, kuda – kuda beragregat kasar limbah batu bata mampu menahan beban maksimum rata – rata hingga 3766,67 kg lebih besar dari kuda – kuda yang beragregat kasar batu kerikil yang mampu menahan beban maksimum sebesar 3700 kg dan yang beragregat batu *pumice* yang hanya mampu menahan beban maksimum rata – rata sebesar 1583,33 kg.
  3. Apabila dilihat dari kekuatan kuda – kuda beton komposit saat beban elastis, kuda – kuda beton komposit agregat kasar batu kerikil dan agregat kasar limbah batu bata mampu menahan beban rata – rata sebesar 500 kg lebih besar daripada kuda – kuda beton komposit agregat kasar batu *pumice* yang hanya mampu menahan beban rata – rata sebesar 300 kg.

Maka dapat disimpulkan bila kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat kasar batu bata memiliki berat sendiri yang lebih ringan dan kekuatan menahan beban lebih baik daripada kuda-kuda yang beragregat kasar batu kerikil. Limbah batu bata juga dapat menggantikan agregat kasar konvensional (batu kerikil) dalam hal membuat campuran beton pada kuda-kuda meskipun limbah batu bata memiliki daya serap air yang lebih besar daripada agregat kasar lainnya. Namun untuk kekakuannya sendiri kuda-kuda beton komposit tulangan dengan agregat kasar batu kerikil memiliki kekakuan yang lebih baik daripada kuda-kuda yang menggunakan agregat kasar limbah batu bata dan batu *pumice*.

### Saran

Untuk saran – saran yang berkaitan dengan penelitian pengaruh variasi agregat terhadap berat dan kekuatan kuda – kuda beton komposit tulangan bambu dengan serat bambu diantaranya adalah:

1. Untuk mengukur nilai elastisitas aktual, dapat digunakan alat ekstensometer untuk mendapatkan tegangan dan regangan.
2. Agregat kasar batu *pumice* harus diuji lebih lanjut lagi agar batu *pumice* dapat menyatu dengan bahan - bahan campuran beton.
3. Agar serat bambu bekerja lebih maksimal dalam membantu menahan kekuatan kuda – kuda dan memperkecil lebar retakan serta menjaga keawetan bambu, perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai serat bambu.
4. Perlu ada kajian lebih lanjut mengenai pemasangan sengkang di daerah sambungan kuda - kuda. Hal ini disebabkan kuda – kuda beton mempunyai kelemahan terutama pada sambungan batang tarik.
5. Sampel benda uji kuda – kuda untuk setiap agregat kasar perlu ditambah lebih banyak agar hasil penelitiannya lebih akurat.
6. Agregat kasar limbah batu bata bisa digunakan sebagai bahan campuran beton karena dapat mengurangi limbah batu bata itu sendiri dan hemat dalam segi nilai ekonomis.
7. Perlu adanya pengujian lebih lanjut mengenai pemasangan setengah kuda – kuda menjadi satu kuda – kuda untuk mengetahui kekuatan dari kuda – kuda tersebut agar kuda – kuda nantinya dapat digunakan dalam konstruksi bangunan.
8. Penelitian ini bisa dijadikan referensi untuk selanjutnya dengan membuat kuda – kuda beton komposit tulangan bambu dengan agregat kasar batu *pumice* di bagian batang tekan dan agregat kasar limbah batu bata di bagian batang tarik menggunakan serat bambu sebagai campuran betonnya. Sehingga didapat pengaruh agregat kasar terhadap berat dan kekuatan pada kuda – kuda yang lebih spesifik

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2461-2002 Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Struktur Beton Ringan Struktural*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional.
- Frick, H. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Semarang: Kanisius & Soegijapranata University Press.
- Hibbeler, R. (1997). *Structural Analysis Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Istimawan. (1999). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- Nawy, E. G. (1985). *Reinforced Concrete - A Fundamental Approach*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Nurlina, S. (2011). *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media.
- Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung:

Direktorat Penyelidikan Masalah  
Bangunan Direktorat Jenderal Cipta  
Karya Departemen Pekerjaan Umum dan  
Tenaga Listrik.

Pramono, D., & HS, S. (1998). *Bahan Konstruksi Teknik*. Depok: Penerbit Gunadarma.

PT. Wijaya Karya. *Pedoman Pekerjaan Beton Wika Beton*. Indonesia: Biro Enjiniring PT. Wijaya Karya.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. (2016, April 8). *Batu Apung (Pumice)*. Diambil kembali dari Informasi Mineral & Budaya: [http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Batuapung/ulasan.asp?xdir=Batuapung&commId=3&comm=Batu%20apung%20\(pumice\)](http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Batuapung/ulasan.asp?xdir=Batuapung&commId=3&comm=Batu%20apung%20(pumice))

Sagel, R. (1997). *Pedoman Pekerjaan Beton Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Jakarta: Erlangga.

Schodek, D. L. (1991). *Struktur*. Indonesia: PT. Eresco.

Suseno, H. (2010). *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.

Wang, C.-K., Salmon, C. G., & Hariandja, B. (1993). *Disain Beton Bertulang Edisi Keempat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

