

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

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HANIF INSANI

NIM. 125060107111005

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

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

(Effect of Aggregate Variations in Strength and Weight of Bamboo Reinforced Concrete Composite Truss)

Muhammad Hanif Insani, Sri Murni Dewi, Desy Setyowulan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 567886
Email: hanif.insani@gmail.com

ABSTRAK

Modifikasi beton bertulang pada konstruksi kuda-kuda agar lebih ringan dan praktis proses pemasangannya tetapi tetap memenuhi kriteria kekuatan yang diinginkan diperlukan untuk kembali menjadikan beton bertulang sebagai pilihan material dalam konstruksi kuda-kuda. Pada penelitian ini dilakukan percobaan pengganti agregat kasar dan tulangan pada kuda-kuda beton bertulang, yaitu variasi agregat kasar limbah batu bata dan batu apung *pumice* serta tulangan bambu yang bertujuan untuk meringankan berat kuda-kuda beton secara keseluruhan namun tidak mengurangi kekuatan secara signifikan. Benda uji dibuat dalam bentuk setengah kuda-kuda dengan ukuran bentang 150 cm dengan sudut 35° dengan tumpuan sendi-rol yang kemudian diberi beban bertambah vertikal (*incremental load*) per interval 50 kg di titik tengah sisi miring kuda-kuda dan beban tetap vertikal 50 kg di titik puncak kuda-kuda. Selama pengujian dilakukan, dicatat perpindahan yang terjadi per interval beban. Dari pengujian didapat hasil berupa berat benda uji, beban maksimum, beban elastis, dan perpindahan yang terjadi. Semua hasil pengujian kemudian dianalisa dan dibandingkan dengan hasil teoritis untuk mendapatkan variasi agregat yang paling ringan dan kuat. Hasil pengujian menunjukkan dengan hasil variasi agregat limbah batu bata mencapai beban maksimum pada 3016,67 kg dan beban elastis sebesar 900 kg yang lebih tinggi dibanding variasi agregat batu apung *pumice* sebesar 1983,33 kg untuk beban maksimum dan 383,33 kg beban elastis. Namun, benda uji variasi agregat batu apung *pumice* jauh lebih ringan dengan berat 67,87 kg dibanding benda uji variasi agregat limbah batu bata dengan berat 84,78 kg.

Kata kunci: kuda-kuda, beton, tulangan bambu, limbah batu bata, batu apung *pumice*

ABSTRACT

Reinforced concrete modification in truss construction in order to lighten and simplify construction process yet strong enough so that reinforced concrete could be an option when needed. In this study, there will be experiments of alternative substitution coarse aggregate and concrete reinforcement, such as aggregate variations of recycled bricks and pumice stones along with use of bamboo as the reinforcement instead of steel, so that the weight will be lighter but not weaken significantly. The sample is 150 cm long and 35° angled half truss frame on pinned-roller support which is given both incremental vertical load by 50 kg of interval right in the middle hypotenuse side part and constant load on the truss culmination point of 50 kg. Displacement of the sample is noted while testing the sample in every interval load reached. The results obtained from testing sample are weight, maximum load, elastic load, and joint displacement of each sample. And then, all results are analyzed and compared to each other and theoretically to get the strongest and lightest truss of aggregate variation. Results show that aggregate variation of recycled brick truss reach the higher maximum load of 3016,67 kg and elastic load of 900 kg compared to aggregate variation of pumice stone truss with only 1983,33 kg maximum load and 383,33 kg elastic load. However, the pumice stone aggregate variation sample test is far more lighter with 67,87 kg of weight than the recycled brick one with 84,78 kg of weight.

Keywords: truss structure, concrete, bamboo reinforced, recycled brick, pumice stone

PENDAHULUAN

Kuda-kuda merupakan elemen struktural yang terus berkembang penggunaannya. Sebagai struktur rangka batang, tiap batang kuda-kuda mengalami kombinasi gaya tarik dan tekan. Dalam penggunaan kuda-kuda sebagai struktur utama konstruksi atap, ada banyak jenis material yang dapat digunakan, salah satu yang umum digunakan adalah beton bertulang. Beton bertulang sebagai pilihan material dalam konstruksi kuda-kuda sangat menguntungkan karena bentuk dan ukuran dapat disesuaikan dengan kebutuhan, namun penggunaannya yang tidak praktis terkait berat sendiri beton bertulang menjadikannya kurang diminati akhir-akhir ini. Diperlukan modifikasi agar beton bertulang pada konstruksi kuda-kuda lebih ringan dan praktis proses pemasangannya tetapi tetap memenuhi kriteria kekuatan yang diinginkan.

Pada saat ini, perkembangan beton bertulang lebih mengarah ke efisiensi bahan sehingga mengurangi berat beton sendiri, namun tidak mengurangi kekuatan beton bertulang secara umum. Untuk mendapatkan kriteria yang diinginkan seperti disebutkan di atas, banyak dilakukan penelitian mengenai komposisi beton bertulang. Penelitian untuk memodifikasi beton bertulang ini tidak lepas dari penyusun utamanya yang terbagi menjadi campuran beton dan tulangan baja.

Campuran beton secara umum adalah agregat, air, 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 kasar dimana penggunaan agregat sangat menentukan berat dari beton 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. Campuran batu bata dan pasta yang sudah pernah digunakan atau limbah batu bata dan batu apung pumice dapat dijadikan alternatif sebagai bahan pengisi beton karena limbah tersebut telah mengeras dan kedua jenis agregat relatif lebih ringan dibanding bahan batu pecah

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 sendiri, oleh karena itu banyak penelitian mengenai pengganti baja tulangan pada beton bertulang seperti 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 atau batu apung pumice 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 dengan mudah dicari dan dapat diperbarui, beton komposit tulangan bambu dan limbah batu bata atau batu apung pumice ini lebih ekonomis dan tentu akan bersaing dengan jenis bahan lain yang sudah ada, khususnya untuk bentuk kuda-kuda yang relatif pendek bentangnya seperti selasar atau talang. Berdasarkan pertimbangan di atas perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh limbah batu bata dan tulangan bambu pada campuran beton bertulang terhadap kekuatan beton bertulang dalam bentuk kuda-kuda dengan bentang pendek.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847-2002). Semen adalah bahan bangunan bersifat hidrolis yaitu bersifat perekat. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan utama pembentuk beton. Air digunakan agar terjadi reaksi kimia pada pengerasan beton saat tercampur dengan semen serta perawatan setelah beton mengeras.

Beton merupakan bahan komposit, yaitu heterogen secara mikroskopis maupun makroskopis yang diperoleh dari bahan-bahan penyusunnya. Bila pembuatan beton dilakukan dengan baik maka setiap agregat akan terlapisi oleh pasta semen sehingga kualitas pasta sangat menentukan kualitas betonnya. Selain itu, agregat sebagai bahan pengisi akan menempati (60-70) % dari volume total sehingga seleksi bahan ini merupakan hal hal yang penting. Secara fisik, beton mempunyai dua bentuk, beton segar bersifat plastis, yaitu mampu dibentuk tanpa kehilangan kontinuitasnya maupun mampu mempertahankan bentuk tersebut yang ditunjukkan pada saat pencampurannya dan beton keras bersifat kuat yang ditunjukkan setelah siap dioperasikan (Suseno, 2010).

Beton Ringan

SNI 03-2461-2002 menunjukkan bahwa beton ringan struktural adalah beton yang menggunakan agregat ringan atau kombinasi tercampur agregat

kasar yang ringan dan pasir sebagai alternatif agregat halus ringan. Menurut definisi tersebut, agregat kasar berperan penting dalam pembentukan beton ringan. Agregat kasar yang ringan dan dapat diperoleh secara alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti batu apung, batu letusan gunung atau batuan lahar.

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 penggalian lapisan tanah pembentuk kerak bumi yang berbentuk 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).

Batu Apung *Pumice*

Batu apung (*pumice*) adalah jenis batuan yang berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung ber dinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Keterdapatannya selalu berkaitan dengan rangkaian gunung api berumur Kuartar sampai Tersier. Penyebarannya meliputi daerah Serang, Sukabumi, Pulau Lombok, dan Pulau Ternate

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.

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 hamper 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)

Beton bertulang bambu menggunakan bilah bambu sebagai tulangan yang akan menerima beban gaya tarik. Bambu akan menyusut 4 kali lipat dari beton sehingga pengikatan antara beton dan bambu akan menghilang. Penyusutan bambu diakibatkan oleh proses pengeringan. Karena beton pada waktu mengecor mengandung banyak air, tidak ada gunanya jika bambu dikeringkan terlebih dahulu. Permasalahan tersebut dapat ditanggulangi dengan mengeringkan bilah bambu yang akan digunakan sebagai tulangan beton, kemudian dicat dengan aspal cair (panas) yang ditaburi pasir. Sesudah aspal kering, dipasang paku 1" BWG 16 berjarak 75 mm. (Heinz Frick, 2004)

Lendutan Pada Struktur Batang

Deformasi total semua elemen batang di titik joint yang diakibatkan gaya-gaya aksial yang bekerja sering disebut juga lendutan, memiliki nilai perpindahan yang bisa diperoleh melalui persamaan:

$$\Delta = PL/AE$$

Dengan P adalah gaya aksial atau gaya normal pada tiap batang akibat gaya eksternal. Maka persamaan gaya semu pada suatu rangka batang bisa diperoleh melalui persamaan:

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

dengan:

1 = beban yang bekerja pada joint rangka batang dalam arah Δ berupa gaya satuan

n = gaya normal imajiner dalam batang yang disebabkan oleh beban luar semu

P = gaya normal aktual dalam pada suatu batang yang disebabkan oleh beban aktual

L = panjang batang

A = luas penampang batang

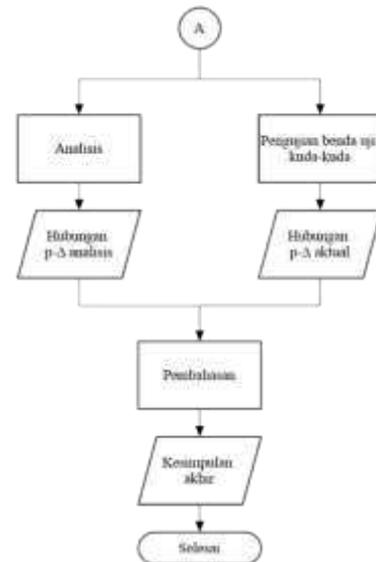
E = modulus elastis batang



Gambar 1 Deformasi Rangka Batang

Beban satuan dari luar akan memberi gaya dalam semu n pada tiap elemen batang pada rangka batang. Selanjutnya beban aktual akan menyebabkan perpindahan titik simpul sejauh Δ searah beban satuan semu dan semua elemen akan terpindahkan sejauh PL/AE searah gaya n aktual. Hal ini menyebabkan terjadinya kerja semu dari gaya luar sebesar $1 \cdot \Delta$ yang sama seperti kerja semu dari dalam atau tegangan (semu) dalam yang tersimpan pada seluruh rangka batang $\sum nPL/AE$ (Hibbeler, 2002).

METODE PENELITIAN



Gambar 2 Proses Alur Penelitian

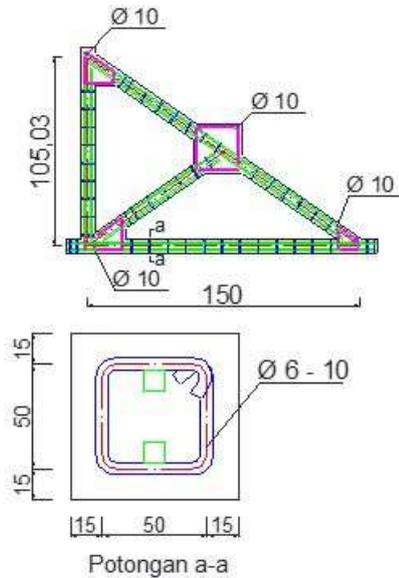
Perlakuan dan Jumlah Spesimen Uji

Pada percobaan ini ada 7 (tujuh) spesimen uji struktur kuda-kuda material beton komposit tipe portal berjumlah tiga tipe kuda-kuda beton tipe portal. Kuda-kuda tipe B merupakan kuda-kuda beton tulangan bambu dengan limbah batu bata sebagai agregat kasar sebanyak 3 buah, sedangkan kuda-kuda tipe P merupakan kuda-kuda beton tulangan bambu dengan batu apung pumice sebagai agregat kasar sebanyak 3 buah, dan sebuah benda uji kontrol, tipe C, berupa kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agregat normal (batu kerikil). Semua benda uji memiliki ukuran penampang (8 x 8) cm untuk setiap batang dengan panjang bentang struktur rangka kuda-kuda adalah 150 cm dan tinggi 105 cm.

Pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tipe B,P, dan C sebagai benda uji 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 akan dilihat dan dicatat perpindahannya hingga runtuh. Benda uji diberi beban tetap pada titik simpul atas sebagai pengganti beban penutup atap dan dipasang tumpuan di kedua sisi kuda-kuda berupa baja yang sangat kaku yang sudah ada di laboratorium. Adanya tumpuan ini diharapkan berperilaku seperti tumpuan sendi-rol.

Permodelan Detail Bambu Tulangan

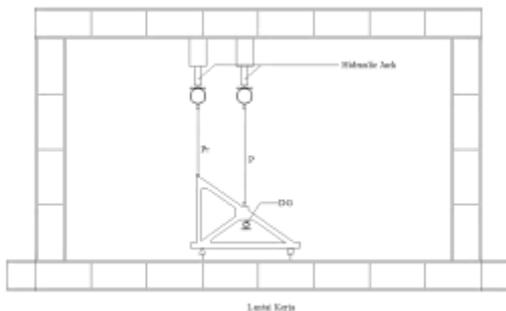
Pada pengelasan ini, desain detail tulangan bambu berikut dimensi kuda-kuda material beton bertulangan bambu dapat dilihat di Gambar 3 di bawah.



Gambar 3 Desain Penulangan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Permodelan Pembebanan

Pengetesan kuda-kuda material beton bertulangan bambu dilaksanakan saat 28 hari sesudah dilakukan pengecoran. Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan dan diberi beban tetap di titik simpul atas (P_T), selanjutnya dilakukan pembebanan yang terus bertambah menggunakan alat uji tekan vertikal (P). Sesudah alat dan spesimen uji disiapkan, pengetesan dilakukan secara bertahap hingga tercapai beban paling besar saat spesimen uji mulai menunjukkan retak yang ada di kuda-kuda. Berikut model kondisi pembebanan kuda-kuda material beton bisa terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skema Pembebanan Benda Uji P_T merupakan beban tetap vertikal sebesar 50 kg

Rancangan Rencana Penelitian

Percobaan dilaksanakan dengan melakukan beberapa uji coba. Sebelumnya dilakukan uji kekuatan tekan beton berbentuk silinder dengan batu bata yang berperan menjadi agregat kasar. Sesudah benda uji kuda-kuda material beton bertulangan bambu berusia 28 hari dilaksanakan pengetesan yang ditujukan agar dapat diambil data hubungan beban dan deformasi lendutan atau perpindahan titik.

Pengujian Kuat Tekan Silinder

Dibuat 3 buah silinder benda uji untuk setiap variasi agregat dengan total 6 silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berikut merupakan tabel form hasil pengujian kuat tekan silinder.

Tabel 1 Form Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Benda Uji	Berat	Luas Penampang	Volume	Berat Isi	Umur	Beban Maksimum	Kuat Tekan	
							7 hari (f_{ci})	28 hari (f_{ci})
No	kg	cm ²	cm ³	kg/cm ³	hari	kN	kg	kg/cm ²
1								
2								
3								
Rata - Rata							Jumlah	
							Rata - Rata	
f_{cm}	$(\frac{f_{ci}-f_{cm}}{f_{cm}})^2$	S	$f'c$	$f'c$				
kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	Mpa				
Jumlah							Rata - Rata	

Pengujian Rangka Frame Kuda-kuda Beton

Terdapat rancangan percobaan studi yang akan dilakukan adalah seperti berikut:

Tabel 2 Form Data Uji Beban dan Lendutan Kuda-Kuda Tipe B

P	Perpindahan Titik LVDT			Perpindahan Δ (mm)		
	d1	d2	d3	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$
Kg						
0
50
100

PEMBAHASAN

Perencanaan *Mix Design*

Perencanaan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal untuk agregat kasar kerikil dan limbah bata, kemudian ACI 211.2-91 dalam *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete* untuk agregat kasar batu apung *pumice*. Kuat tekan rencana untuk beton normal dan agregat kasar batu apung *pumice* sebesar 20 MPa, sedangkan untuk beton agregat limbah batu bata sebesar 22,5 Mpa. Perbedaan kekuatan tekan rencana awal ini terjadi karena pada percobaan awal diketahui bahwa dengan menambahkan dua setengah MPa pada beton limbah bata akan membuatimbang hasil kuat tekan yang terjadi, beton dengan agregat kasar limbah batu bata mengalami tingkat absorpsi air sangat tinggi sehingga terdapat perlemahan.

Hasil rencana desain campuran beton material kerikil normal menunjukkan bahwa satu buah kuda-kuda beton normal dengan volume 0,042 m³

dibutuhkan campuran 12,22 air, 14,95 kg semen, dan 40,64 kg agregat kasar (batu kerikil), 30,65 kg agregat halus (pasir).

Dalam rencana desain campuran beton material limbah bata, perlu diperhatikan bahwa nilai FAS (faktor air semen) diberi nilai lebih karena tingkat penyerapan air dari agregat tersebut cukup tinggi. Hasil rencana desain campuran beton material limbah bata menunjukkan bahwa satu buah kuda-kuda bervolume 0,042 m³ membutuhkan 11,85 kg air, 12,39 kg semen, dan 24,95 kg agregat kasar (limbah batu bata), 41,74 kg agregat halus (pasir).

Dari hasil desain campuran beton material batu apung *pumice* diperoleh bahwa satu buah kuda-kuda bervolume 0,0423 m³ membutuhkan 16,41 kg semen, 8,54 kg air, 12,35 kg agregat kasar batu *pumice* 34,6 kg agregat halus pasir.

Pengujian Kekuatan Tekan Silinder Beton

Uji kuat tekan silinder beton dilakukan setelah beton berumur 7 hari. Karena silinder dilakukan saat umur beton 7 hari maka perlu dikoreksi sesuai umur kuat tekan rencana yaitu pada umur 28 hari dengan faktor koreksi berdasarkan PBI 1971 sebesar 0,65. Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi agregat kasar, 3 silinder beton agregat kasar limbah batu bata dan 3 silinder beton agregat kasar batu apung *pumice*. Karakteristik benda uji silinder beton ditunjukkan pada tabel 3, sedangkan hasil pengujian kuat tekan silinder beton masing-masing jenis agregat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3 Karakteristik Benda Uji Silinder Beton

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Dimensi Silinder Beton	15 x 30	cm
2	Luas Penampang (A)	17678,57	mm ²
3	Volume Benda Uji (V)	0,005	m ³
4	Umur Beton	7	Hari
5	Koreksi Umur Beton	0,65	

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton

Benda Uji	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	P max	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata	
					7 hari	28 hari		
Tipe B	1	11	2074,07	201	11,37	17,5	18,45	
	2	10,95	2064,65	207,22	212	11,99		18,45
	3	11,1	2092,93		223	12,61		19,41
Tipe P	1	11,05	2083,51	2067,79	216	12,22	18,79	
	2	11,15	2102,36		202	11,43	17,58	
	3	10,7	2017,51		223	12,61	19,41	

Keterangan:

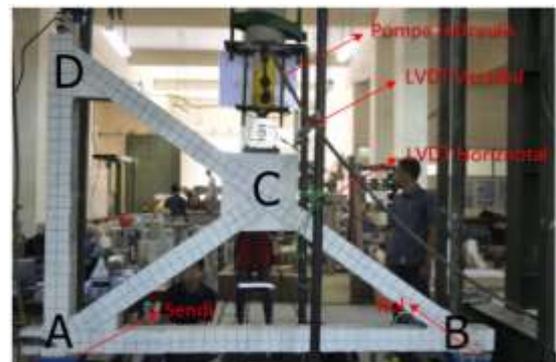
Tipe B: Beton Silinder Agregat Limbah Batu Bata

Tipe P: Beton Silinder Agregat Batu Apung *Pumice*

Pengujian Beban Vertikal Kuda-Kuda Material Beton Komposit Bertulangan Bambu

Percobaan uji kuat tekan struktur kuda-kuda dilaksanakan selepas usia kuda-kuda material beton komposit mencapai umur 28 hari dan telah melalui proses perawatan (*curing*). Proses *curing* dilakukan dengan cara menutupi benda uji kuda-kuda dengan karung goni yang dibasahi setiap hari hingga 14 hari sesudah bekisting dapat dilepas. Diharap dengan perlakuan tersebut dapat memperlambat proses hidrasi beton hingga mengakibatkan tercegahnya retakan pada benda uji.

Sebelum memulai percobaan, dilakukan pengukuran dimensi awal dan berat benda uji sebagai data awal. Kemudian, benda uji yang sudah mencapai usia 28 hari dipersiapkan untuk pengujian seperti pada skema pembebanan. Benda uji diletakkan pada frame uji dengan tumpuan sendi-rol. Untuk mengetahui deformasi yang terjadi, benda uji dilengkapi LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) pada *joint C* dalam posisi vertikal dan horizontal dan pada *joint D* dalam posisi vertikal. Beban yang bekerja pada benda uji berupa beban bertambah (*incremental load*) di titik C dan beban tetap di titik D yang dihasilkan oleh pompa hidrolik. Beban tetap vertikal sebesar 50 kg di titik D diharapkan dapat mencegah terjadinya guling selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 5 Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu pada Frame Uji

Berat Sendiri Kuda-Kuda Material Beton

Berat sendiri benda uji kuda-kuda material beton bertulangan bambu beragregat kasar limbah bata, batu apung *pumice* dan benda uji kontrol agregat batu kerikil ditunjukkan dalam tabel 5. Selanjutnya, dengan volume benda uji kuda-kuda rencana sebesar 0,0423 m³ maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume.

Tabel 5 Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda-Kuda Beton Komposit

Benda Uji	No.	Berat Benda Uji (kg)	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m ³)	Berat/Volume (kg/m ³)
Tipe B	1	86,35	84,78	0,0423	2004,25
	2	85,15			
	3	82,85			
Tipe P	1	66,1	67,87	0,0423	1604,49
	2	68,15			
	3	69,35			
Tipe C		97,8	97,8		2312,06

Keterangan:

Tipe B: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Limbah Bata

Tipe P: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Batu Apung *Pumice*

Tipe C: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Kerikil Normal



Gambar 6 Grafik Perbandingan Berat Rata-Rata Benda Uji

Berat benda uji secara umum diketahui dalam satuan berat per volume atau berat isi. Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa benda uji tipe B dan P memiliki nilai lebih kecil dibanding benda uji tipe C. Berat benda uji memang tidak terlihat selisihnya secara signifikan karena hanya memiliki bentang 150 cm yang terbilang pendek. Namun pada penerapannya, bila bentang kuda-kuda lebih panjang, berat kuda-kuda akan menjadi hal yang signifikan dalam penentuan jenis bahan material apa yang akan dipilih, selain berdasarkan kapasitas kekuatan material.

Dengan berat dan berat isi benda uji yang relatif ringan, kuda-kuda beton tulangan bambu agregat kasar batu apung *pumice* tentu akan langsung menjadi pilihan apabila memilih beton bertulang sebagai jenis material yang akan digunakan untuk struktur kuda-kuda. Meski beratnya yang ringan menjadi keunggulan variasi agregat ini, perlu diperhatikan beban maksimum dan beban elastis masing-masing tipe benda uji. Berat dan kekuatan kuda-kuda menjadi perhatian serius dalam perencanaan, maka dari itu perlu perencanaan matang dalam memilih jenis material apa yang akan digunakan dalam suatu konstruksi, khususnya pada struktur kuda-kuda.

Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Pada pengujian beban vertikal pada penelitian ini terdapat dua beban yang bekerja, namun hanya salah satu yang berfungsi sebagai beban bertambah hingga tercapai beban maksimum yang mampu

ditahan benda uji. Penambahan beban terus dilakukan per interval beban 50 kg sampai benda uji tidak mampu lagi mengalami penambahan beban, atau dengan kata lain benda uji telah runtuh (*collapse*). Beban maksimum yang mampu ditahan masing-masing tipe benda uji berbeda-beda, berikut adalah tabel dan grafik hasil pengujian beban maksimum vertikal pada setiap benda uji.

Tabel 6 Hasil Pengujian Beban Maksimum Vertikal Pada Kuda-Kuda Beton

Benda Uji	Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)	
Tipe B	1	2000	
	2	4000	
	3	3050	
Tipe P	1	1300	
	2	2500	
	3	2150	
Tipe C	1	3700	3700

Keterangan:

Tipe B: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Limbah Bata

Tipe P: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Batu Apung *Pumice*

Tipe C: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Kerikil Normal

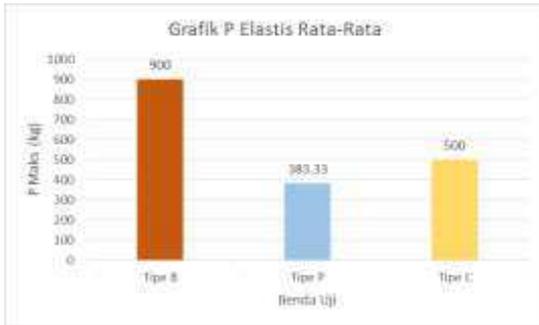
Berdasarkan hasil pengujian, pada setiap variasi agregat kasar dalam campuran mempengaruhi hasil beban maksimum yang dapat ditahan kuda-kuda beton tersebut. Dengan hasil di atas terlihat bahwa benda uji tipe B lebih kuat dalam menahan beban dibanding benda uji tipe P, dengan nilai beban maksimum sebesar 3016,67 kg. Dari grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa hipotesis mengenai pengaruh variasi agregat kasar limbah batu bata pada campuran beton kuda-kuda terhadap kekuatan beton komposit telah terbukti.



Gambar 7 Grafik Perbandingan P Maks Aktual Rata-Rata

Selain beban maksimum, dari grafik hubungan $P - \Delta$ juga diperoleh nilai P saat batas elastis. Nilai P maks saat kondisi elastis dapat dijadikan acuan dalam penentuan jenis agregat yang akan dipilih untuk digunakan pada aplikasi konstruksi umum. Dengan nilai P elastis yang cukup tinggi, tentu akan meningkatkan faktor keamanan dalam perencanaan

konstruksi atap dengan bahan beton tulangan bambu ini.



Gambar 8 Grafik Perbandingan P Elastis Aktual Rata-Rata

Deformasi Aktual yang Terjadi Pada Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Fokus yang menjadi perhatian pada pengujian kuda-kuda beton komposit tulangan bambu ini adalah perpindahan maksimum dan elastis, karena dalam aplikasi sehari-hari elastisitas beton menjadi faktor untuk menentukan batas aman dan batas layanan kerja struktur yang digunakan. Batas elastis benda uji saat pengujian dapat dilihat melalui grafik hubungan beban dan perpindahan ($P - \Delta$) yang diambil dalam kondisi beban P elastis sama agar deformasi elastis aktual semua tipe benda uji dapat dibandingkan. Adapun syarat penentuan P elastis benda uji berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan ($P - \Delta$) adalah saat beban P terendah dari ketiga tipe benda uji dimana terjadinya pergeseran garis linier pertama dan saat retak pertama terjadi.

Tabel 7 Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian

Benda Uji	No. Benda Uji	P Maks (kg)	Δ Maks			Rata-rata Δ Maks		
			d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Tipe B	1	2000	7,6	4,55	2,29			
	2	4000	23,61	17,62	3,221	15,31	10,09	3,18
	3	3050	14,71	8,12	4,036			
Tipe P	1	1300	4,56	4,09	1,84			
	2	2500	10,63	8,84	4,802	8,19	6,01	3,46
	3	2150	9,39	5,11	4,746			
Tipe C		3700	12,99	7,43	3,904	12,99	7,43	3,90

Tabel 8 Penentuan P Elastis Tinjauan Perpindahan

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis (kg)	P Elastis Rata-Rata (kg)	P Retak Pertama (kg)	P Elastis Tinjauan (kg)
Tipe B	1	1400		1400	
	2	500	900	1650	500
	3	800		1700	
Tipe P	1	250		800	
	2	650	383,33	1100	250
	3	250		1100	
Tipe C		500	500		500

Tabel 9 Hasil Perpindahan Saat Beban P Elastis Tinjauan

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Δ Elastis			Rata-Rata Δ Elastis		
			d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)
Tipe B	1		0,31	0,2	0,21			
	2		1,22	1,44	0,28	0,65	0,65	0,27
	3		0,43	0,31	0,31			
Tipe P	1	250	0,90	1,29	0,44			
	2		1,07	0,46	0,39	0,82	0,82	0,68
	3		0,48	0,70	1,23			
Tipe C			0,3	0,8	0,51	0,3	0,8	0,51

Keterangan:

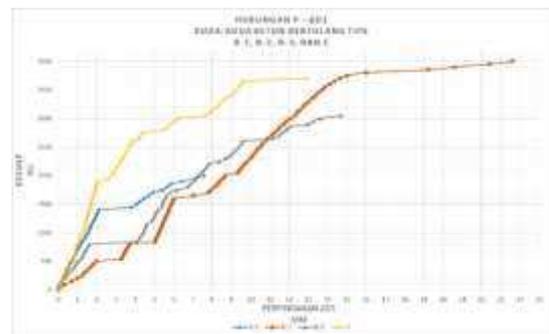
Tipe B: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Limbah Bata

Tipe P: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Batu Apung *Pumice*

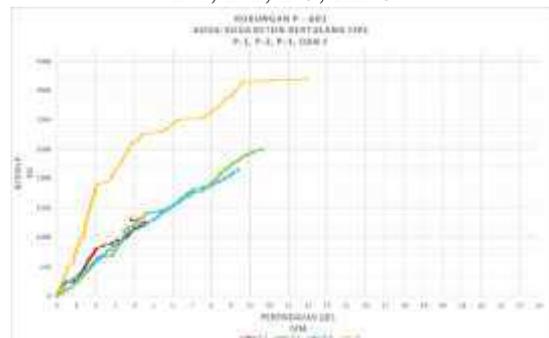
Tipe C: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Kerikil Normal

Pengaruh Variasi Agregat terhadap Kekakuan Kuda-Kuda Beton

Hasil utama pengujian beban vertikal terhadap kuda-kuda beton tulangan dengan variasi agregat kasar adalah grafik hubungan beban dan perpindahan titik ($P - \Delta$). Pada setiap benda uji, ada tiga grafik hasil pengujian dengan tiga titik tinjau perpindahan berbeda yaitu grafik $P - \Delta d1$ untuk perpindahan vertikal di titik C, $P - \Delta d2$ untuk perpindahan horizontal di titik C, dan $P - \Delta d3$ untuk perpindahan vertikal di titik D. Namun dari ketiga grafik tersebut hanya grafik hubungan beban dan perpindahan vertikal di titik C ($P - \Delta d1$) yang bisa digunakan untuk menentukan tingkat kekakuan benda uji.



Gambar 9 Grafik Hubungan $P - \Delta d1$ Benda Uji Tipe B-1, B-2, B-3, dan C



Gambar 10 Grafik Hubungan $P - \Delta d1$ Benda Uji Tipe P-1, P-2, P-3, dan C

Hasil nilai kekakuan diperoleh dari hasil perbandingan kapasitas beban dan perpindahan yang terjadi pada saat beban tersebut. Dalam pengujian ini, nilai kekakuan ditentukan pada saat kondisi beban maksimum terkecil dari setiap benda uji dan perpindahan yang terjadi saat beban maksimum tersebut. Berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan di titik C ($P - \Delta d1$) diperoleh bahwa benda uji tipe P1 memiliki beban maksimum terkecil dengan nilai 1300 kg, maka nilai beban tersebut selanjutnya dijadikan acuan untuk menentukan nilai kekakuan masing-masing benda uji

Tabel 10 Nilai Kekakuan Kuda-Kuda Beton Tulangan Bambu

Benda Uji	No. Benda Uji	P Tinjau (kg)	$\Delta d1$ (mm)	$\Delta d1$ Rata-Rata (mm)	Kekakuan P/ $\Delta d1$ Rata-Rata (kg/mm)
Tipe B	1	1300	1,99	4,21	308,8
	2		5,62		
	3		5,02		
Tipe P	1	1300	3,85	4,36	298,16
	2		4,23		
	3		5		
Tipe C			1,53	1,53	849,67

Keterangan:

Tipe B: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Limbah Bata

Tipe P: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Batu Apung *Pumice*

Tipe C: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Kerikil Normal

Berdasarkan hasil nilai tingkat kaku beban per satuan panjang kuda-kuda beton tulangan bambu dengan variasi agregat kasar yang disajikan dalam tabel di atas, diperoleh bahwa kuda-kuda beton tipe P merupakan benda uji yang memiliki nilai kekakuan terendah. Benda uji tipe P dan B mencapai beban 1300 kg dengan rata-rata simpangan perpindahan yang hampir sama, yaitu 4,36 dan 4,21 mm, sehingga hasil nilai kekakuan benda uji tersebut juga tidak berbeda jauh. Tabel nilai kekakuan di atas menunjukkan bahwa dengan beban P tinjauan yang sama untuk setiap benda uji memiliki nilai perpindahan yang berbeda. Benda uji tipe C memiliki nilai kekakuan paling besar dibanding nilai kekakuan benda uji tipe lain dengan nilai 849,67 seperti bisa juga dilihat melalui grafik hubungan beban dan perpindahan ($P - \Delta d$) yang menunjukkan bahwa grafik benda uji tipe C lebih curam dibanding benda uji lain.

Rasio Beban Per Satuan Berat Hasil Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh variasi agregat kasar pada kedua variabel beban dan berat, hasil pengujian dianalisis lebih lanjut hingga menghasilkan rasio beban per satuan berat untuk setiap benda uji. Besar rasio beban per satuan berat benda uji secara tidak langsung menunjukkan tingkat

efektifitas penggunaan struktur kuda-kuda beton komposit dengan variasi agregat kasar, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan jenis material yang akan digunakan.

Rasio beban per satuan berat dihitung berdasarkan dua kondisi beban, yaitu pada kondisi maksimum dan kondisi batas elastis. Kedua kondisi beban tersebut perlu diperhatikan karena kedua kondisi beban memiliki karakteristik perbandingan yang berbeda. Pada kondisi beban maksimum benda uji tipe C mampu menahan beban yang paling besar, sedangkan dalam kondisi elastis benda uji tipe B mencapai titik batas elastis paling tinggi.

Tabel 11 Rasio Beban Maksimum Per Satuan Berat

Benda Uji	Beban Maksimum Rata-Rata Pengujian (kg)	Berat Benda Uji Rata-Rata (kg)	Rasio Beban/Berat
Tipe B	3016,67	84,78	35,58
Tipe P	1983,33	67,87	29,22
Tipe C	3700	97,8	37,83



Gambar 11 Grafik Perbandingan Rasio Beban Maksimum Per Satuan Berat

Pada kondisi beban maksimum benda uji tipe C memiliki rasio terbesar karena nilai beban maksimum yang besar, namun nilai rasio benda uji tipe C tidak berbeda jauh dengan nilai rasio pada benda uji tipe B. Dari hasil rasio beban maksimum per satuan berat dapat dikatakan bahwa benda uji tipe B cukup efektif dalam mencapai kondisi maksimum, sehingga memungkinkan untuk dijadikan alternatif pengganti dibanding benda uji tipe P.

Tabel 12 Rasio Beban Elastis Per Satuan Berat

Benda Uji	Beban Elastis Rata-Rata Pengujian (kg)	Berat Benda Uji Rata-Rata (kg)	Rasio Beban/Berat
Tipe B	900	84,78	10,62
Tipe P	383,33	67,87	5,65
Tipe C	500	97,8	5,11



Gambar 12 Grafik Perbandingan Rasio Beban Elastis Per Satuan Berat

Keterangan:

Tipe B: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Limbah Bata

Tipe P: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Batu Apung *Pumice*

Tipe C: Kuda-kuda Material Beton Bertulangan Bambu Agregat Kerikil Normal

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian dan analisis kuda-kuda beton tulangan bambu dengan variasi tipe agregat kasar menunjukkan bahwa kekuatan akhir spesimen uji relatif sama, karena kekuatan akhir ditentukan oleh tulangan bambu. Sedangkan kekuatan beton menentukan kekuatan awal sehingga kuda-kuda beton memiliki kuat elastis yang berbeda-beda. Struktur kuda-kuda beton bertulangan bambu dengan agregat kasar limbah batu bata rata-rata mampu mencapai beban maksimum sebesar 3016,67 kg. Hasil beban yang mampu ditahan dalam kondisi maksimum rata-rata oleh kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agregat kasar batu apung *pumice* adalah bernilai 1983,33 kg. Selain itu benda uji kontrol, struktur kuda-kuda material beton bertulangan bambu dengan agregat kerikil normal, lebih kaku dibanding struktur kuda-kuda material beton bertulangan bambu dengan variasi tipe agregat, namun dalam keadaan batas elastis struktur kuda-kuda material beton bertulangan bambu menggunakan agregat tipe kasar limbah batu bata memiliki nilai beban elastis paling tinggi.

Pengaruh varian tipe agregat kasar pada berat dan berat isi kuda-kuda material beton bertulangan bambu menyebabkan pengurangan berat yang cukup signifikan dibanding kuda-kuda material beton bertulangan bambu dengan agregat kerikil normal, khususnya pada struktur kuda-kuda beton bertulangan bambu dengan agregat kasar batu apung *pumice*. Selisih berat terhadap benda uji kontrol yang terjadi pada benda uji agregat kasar limbah batu bata dan batu apung *pumice* adalah sebesar 13 kg dan 29,93 kg. Akan tetapi, dengan perbedaan berat yang lebih ringan belum tentu memiliki kekuatan yang sama, terjadi penurunan nilai kapasitas beban maksimum pada masing variasi kuda-kuda beton.

Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran terkait penelitian pengaruh variasi agregat kasar terhadap kekuatan dan berat kuda-kuda beton tulangan bambu:

1. Penelitian ini bisa dijadikan referensi, untuk selanjutnya lebih diperhatikan pada bagian sambungan dan batang tarik karena pada bagian tersebut struktur kuda-kuda beton tulangan bambu paling lemah.
2. Untuk mengetahui nilai elastisitas beton secara aktual perlu dilakukan pengujian pada silinder beton dengan menggunakan alat ekstensometer, karena dari hasil penelitian didapat bahwa rumus empiris modulus elastisitas beton normal tidak bisa digunakan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton ringan.
3. Dari hasil retak, perlu dilakukan pelapisan batu apung *pumice* dengan alternatif selain lem beton dan pasir sebelum digunakan dalam campuran beton, karena pada penelitian ini pelapisan agregat dengan lem beton dan taburan pasir kurang efektif dalam melekatkan agregat dengan spesi.
4. Berdasarkan hasil penelitian, limbah batu terbukti mampu menggantikan peran batu kerikil dalam campuran beton karena memiliki kekuatan yang hampir sama dengan beton normal namun lebih ringan, selain itu penggunaan limbah batu bata dapat mengurangi pencemaran lingkungan, dan tidak perlu perlakuan yang sulit saat persiapan agregat sebelum dicampur ke dalam campuran beton.
5. 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.
6. Secara keseluruhan, benda uji beton dengan variasi agregat kasar limbah batu bata lebih mudah dalam proses pembuatannya dibandingkan spesimen uji beton variasi agregat batu apung *pumice* karena limbah batu bata yang diperoleh tidak perlu perlakuan khusus sebelum digunakan dalam campuran beton. Berbeda dengan batu apung *pumice* yang perlu dilapisi lem beton sebelum penggunaan dalam campuran beton.
7. Hasil studi percobaan bisa dijadikan referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan gabungan agregat kasar dalam satu kuda-kuda agar dapat tercapai kriteria kuat dan ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI-Standards. (1998). *ACI 18. 211.2-98 Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute
- Dewi, S. M. (2008). *Mekanika Struktur Komposit*. Malang: Bargie Media.
- Frick, H. (1998). *Sistem Bentuk Struktur Bangunan*. Yogyakarta: Kansius.
- Frick, H. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kansius.
- Ghose, D. N. (1989). *Materials of Construction*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2002). *Analisis Struktur (terjemahan: Yaziz Hasan dan Masdin)*. Jakarta: PT. Prenhallino.
- Honing, J. (1977). *Konstruksi Beton*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Indonesia, P. P. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Yayasan Lembaga Pengelidikan Masalah Bangunan.
- Kasegic, I., Netinger, I., & Bjegovic, D. (2008). Recycled Clay Brick As an Aggregate For Concrete. *Technical Gazette* 15(2008)3, 35-40.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (1982). *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nawy, E. G. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar (penerjemah: Bambang Suryatmono)*. Bandung: PT Eresco.
- Pusat Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. (2016, April 8). *Informasi Mineral dan Batubara*. Retrieved from [tekmira.esdm.go.id](http://www.tekmira.esdm.go.id): <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Batuapung>
- Schodek, D. L. (1995). *Structure (terjemahan: Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc)*. Bandung: PT. Eresco.
- SK.SNI-M-14-1989-F. (1989). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Indonesia.
- SNI-03-2461-2002. (2002). *Spesifikasi Beton Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Indonesia.
- SNI-03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Suhardiman, M. (2011). Kajian Pengaruh Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Teknik Vol. 1 No. 2/Oktobre 2011*, 88-95.
- Suseno, H. (2010). *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Winter, G., & Nilson, A. (1993). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.