

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU TERHADAP KUDA-
KUDA BETON KOMPOSIT TULANGAN BAMBU AGREGAT BATU
BATA**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RIEZKA PRILLY PARAMITA
NIM. 125060107111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU TERHADAP KUDA-KUDA BETON KOMPOSIT TULANGAN BAMBU AGEGAT BATU BATA

Riezka Prilly Paramita, Sri Murni Dewi, Desy Setyowulan

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

ABSTRAK

Kuda-kuda merupakan struktur rangka batang yang terdiri dari batang tekan dan tarik. Umumnya material yang digunakan sebagai bahan penyusun kuda-kuda berupa baja, kayu, dan beton bertulang. Namun, beton bertulang sebagai bahan penyusun kuda-kuda belum banyak dikembangkan serta dimanfaatkan secara maksimal dikarenakan kekurangan beton bertulang yaitu berat sendiri yang menyulitkan pada saat pemasangan di lapangan. Pada penelitian ini percobaan dilakukan pada kuda-kuda dengan agregat kasar batu bata serta mengganti tulangan dengan tulangan bambu untuk membuat kuda-kuda lebih ringan dengan kekuatan yang relatif sama. Adapun variasi dalam percobaan ini adalah kuda-kuda beton komposit tulangan bambu **dengan serat** (tipe BS) dan **tanpa serat** (tipe B). Penambahan serat sebanyak 1,5% berat semen dilakukan untuk memperkuat kuda-kuda yang dilihat dari pola retak sebagai respon terhadap beban vertikal yang diberikan. Benda uji berbentuk setengah kuda-kuda dengan bentang 150 cm, tumpuan sendi-rol, dan sudut 35° sebanyak 3 buah masing-masing variasi dan sebuah kuda-kuda agregat batu kerikil **normal** (tipe N) sebagai benda uji kontrol. Hasil pengujian didapatkan kuda-kuda tipe BS memiliki rata-rata berat sendiri sebesar 84,15 kg dengan rata-rata beban maksimum 3766,67 kg. Kuda-kuda tipe B memiliki rata-rata berat sendiri 84,78 kg dengan rata-rata beban maksimum 3016,67 kg. Sementara kuda-kuda tipe N memiliki berat sendiri 97,8 kg dengan beban maksimum 3700 kg. Pola retak yang terjadi pada tipe BS terjadi secara bertahap dan banyak, sementara pada tipe B retak terjadi secara tiba-tiba dan sedikit sehingga keruntuhan terjadi lebih cepat dibanding tipe BS. Hal ini menunjukkan bahwa agregat batu bata dan tulangan bambu dengan serat dapat menjadi agregat kasar dan tulangan pengganti dengan kekuatan yang hampir sama dengan beton normal walaupun tidak memiliki perbedaan berat sendiri yang signifikan dengan beton normal.

Kata kunci: kuda-kuda, beton, tulangan bambu, limbah batu bata, serat bambu

ABSTRACT

*Truss is a frame structure that consist of tensile and compressive bar. Generally, material that used to construct truss structure are steel, wood, and reinforced concrete. However, reinforced concrete as the material that used to construct truss structure has not yet been developed and used maximally because of the reinforced concrete's problem, which is its heavyweight that make the installation difficult. In this study, the experiment performed in reinforced concrete composite truss with bricked aggregate and bamboo reinforcement to make truss structure lighter with similary strength. The variations in this experiment are bamboo reinforced concrete composite bricks aggregate **with bamboo fibers** (BS type) truss and **without bamboo fibers** (B type) truss. The additional bamboo fibers of 1,5% cement weight is given to strengthen the truss especially its cracks pattern as respond to vertical load given. The sample is 150 cm long, pinned-roller support, and 35° angled half truss frame with total 3 samples each variation and a sample of bamboo reinforced with **normal** aggregate concrete (N type) truss as a benchmark sample. From the results show that type BS truss have 84,15 kg of selfweight average with 3766,67 kg maximum load average. Type B truss have 84,78 kg of selfweight average with 3016,67 kg of maximum load average. Meanwhile type N truss as a benchmark sample have 97,8 kg of selfweight average with 3700 kg of maximum load average. The crack of type BS appear step by step and have more crack pattern then type B which the crack appear suddenly and have less crack pattern so that caused truss collapsed faster than type BS truss. It shows that brick aggregate and bamboo reinforcement with bamboo fibers addition can be used as alternative aggregate and reinforcement that have the similar strength to normal concreete although there are no significant selfweight difference.*

Keywords: truss structure, concrete, bamboo reinforced, recycled brick, bamboo fibers

PENDAHULUAN

Perkembangan beton bertulang di negara berkembang seperti Indonesia, belum banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan serta memanfaatkan teknologi beton tersebut secara maksimal. Dapat dilihat beton komposit yang dikembangkan di Indonesia kebanyakan sebatas penggunaan di lapangan secara langsung (cor langsung). Hal ini diakibatkan keterbatasan biaya serta kesulitan dalam pelaksanaan di lapangan yang tidak lepas dari kekurangan beton bertulang, yaitu berat sendiri beton. Baja tulangan sebagai komponen penting dalam beton bertulang terkesan tidak tergantikan. Hal ini terkait fungsi baja tulangan sebagai pengisi kekurangan beton yang lemah terhadap tarik walaupun berat dan mahal. Sedangkan masih banyak jenis bahan atau material lain yang bisa mengisi kekurangan beton tersebut. Bambu sebagai salah satu jenis material yang kuat tariknya cukup tinggi dapat dijadikan alternatif perkuatan pada beton bertulang. Penelitian bambu sebagai pengganti baja tulangan sudah mulai banyak dilakukan dan memang tidak mengurangi fungsi beton bertulang baja yang dapat dijadikan konstruksi bangunan sipil.

Selain tulangan baja, penggunaan kerikil sebagai material pengisi beton bertulang juga terkesan tidak tergantikan walaupun penggunaan kerikil berpengaruh pada penambahan berat beton secara keseluruhan. Fungsi kerikil dapat diganti dengan material lain yang berfungsi sama, salah satunya adalah memanfaatkan limbah konstruksi batu bata. Limbah batu bata yang sering ditemui berasal dari sisa konstruksi, biasanya hanya dibuang begitu saja dapat digunakan untuk menjadi agregat kasar pada beton. Batu bata yang sebelumnya pernah tercampur semen sehingga membentuk material seperti batu. Hal ini terjadi karena semen berhidrasi, dan merekatkan komponen lain (batu bata, semen, dan lain lain). Penggunaan beton termodifikasi atau beton komposit banyak digunakan pada elemen balok-kolom, padahal penggunaan beton komposit bisa saja diterapkan pada struktur atap khususnya pada bagian kuda-kuda. Fokus masalah dalam penerapan beton pada struktur atap adalah beratnya dan proses pelaksanaan konstruksinya, oleh karena itu, salah satu solusi yang dapat dilakukan mengatasi masalah ini adalah dengan cara melaksanakan konstruksi dengan metode *precast* (cor tidak di tempat). Dengan proses *precast*, pelaksanaan konstruksi kuda-kuda tersebut akan lebih praktis dan dengan material yang ringan maka kuda-kuda beton

komposit ini dapat diterapkan. Struktur kuda-kuda yang merupakan jenis elemen struktur atap yang unik karena dalam satu kesatuan terdiri dari komponen batang tarik dan tekan. Beton yang bersifat kuat terhadap beban tekan tentu akan mampu mengatasi masalah pada batang tekan struktur kuda-kuda tersebut, namun pada batang tarik yang rentan mengalami keruntuhan perlu diberi perlakuan khusus. Bambu selain dapat digunakan pengganti tulangan baja, juga dapat diambil serat-seratnya yang kemudian digunakan dalam campuran beton, dengan harapan dapat mengurangi resiko keruntuhan yang disebabkan oleh pola retak yang dialami beton pada batang akibat beban tarik.

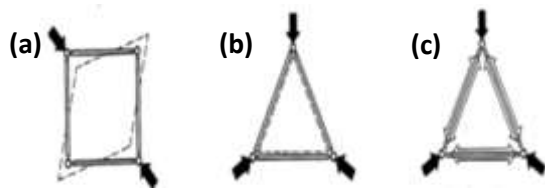
Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan benda uji setengah kuda-kuda dengan tulangan bambu dan limbah batu bata sebagai agregat kasar, serta menambahkan serat bambu pada struktur kuda-kuda beton komposit. Pembuatan variasi kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat batu bata dengan serat dan tanpa serat ditujukan untuk melihat perbedaan berat sendiri, kekuatan beban maksimum yang mampu ditahan kuda-kuda, dan pola retak yang terjadi sebagai respon dari beban vertikal yang diberikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Rangka Batang

Menurut Hibbeler (2002), sebuah struktur tersusun atas bagian-bagian atau elemen yang saling terhubung untuk digunakan menopang suatu beban. Pertimbangan ekonomis merupakan faktor pertama yang ditinjau untuk mendisain struktur dengan spesifikasi tertentu yang digunakan secara umum. Sehingga agar dapat menganalisa suatu struktur dengan tepat, idealisasi yang spesifik harus dipertimbangkan.

Penyusunan elemen dengan konfigurasi segitiga merupakan prinsip utama yang digunakan dalam penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban sehingga menjadi bentuk stabil, seperti pada Gambar 1(b). Gaya batang muncul didalam batang sebagai respon beban vertikal yang diberikan pada setiap titik nodal pada struktur rangka batang. Adapun gaya yang ada yaitu gaya tarik murni dan tekan murni. Pembentukan segitiga dalam struktur rangka batang menyebabkan beban menumpu pada titik nodal dan tidak menumpu pada tengah batang sehingga tidak terdapat momen lentur (Schodek, 1995).



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

Setiap bagian pada struktur rangka batang harus berada dalam keadaan seimbang. Keseimbangan adalah landasan dalam menganalisis rangka batang untuk mencari besarnya gaya batang. Pada analisis metode titik kumpul, rangka batang merupakan gabungan batang dan titik nodal (kumpul). Gaya batang didapat dengan menganalisa keseimbangan titik-titik nodal (Schodek, 1995).

Beton Bertulang

Menurut SNI-03-2847-2002, beton adalah campuran dari semen portland maupun semen hidraulis lain, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan lain yang dapat membentuk masa padat. Beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah yang ditentukan dengan asumsi bahwa beton dan tulangan bekerja bersama-sama menahan gaya. Beton kuat terhadap tekan, tapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Adanya tulangan ini sering kali digunakan untuk memperkuat daerah tekan pada penampang balok. Tulangan baja tersebut perlu untuk beban-beban berat dalam hal untuk mengurangi lendutan jangka panjang (Nawy, 1990).

Beton Ringan

Berdasarkan SNI 03-2461-2002 beton ringan struktural merupakan beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan maupun pasir sebagai pengganti agregat halus ringan dengan tidak boleh berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ kondisi kering permukaan jenuh. Beton ringan juga harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-rata untuk Beton Ringan Struktural

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm ³)	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
Bentuk agregat ringan		
1700	2,2	28
1800	2,1	21
1800	2,0	17
Agregat ringan dan pasir		
1540	2,3	28
1760	2,1	21
1800	2,0	17

CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 2 buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari 6 benda uji.
 CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berdekatan dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi.
 CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah.
 CATATAN 4 1 MPa = 10 kg/cm²

Sumber: SNI 03-2461-2002

Limbah Batu Bata

Limbah batu bata digunakan sebagai pengganti agregat pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Menurut Kasegic (2008), 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. Limbah batu bata sebagai agregat kasar pada campuran beton, memungkinkan untuk membuat campuran beton dengan cara yang sama dengan cara beton normal dengan batu pecah pada umumnya. Absorpsi air pada limbah batu bata diestimasikan 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering (Kasegic, 2008).

Bambu

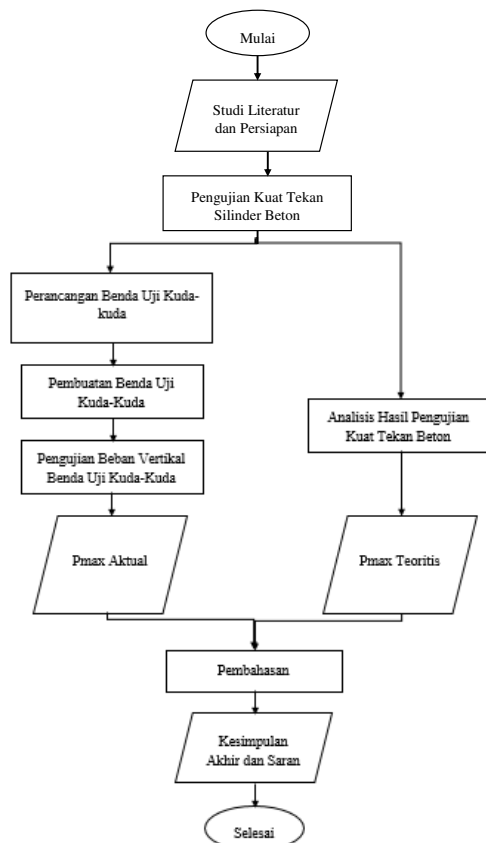
Menurut Suseno (2010), bambu adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penebangan rumpun-rumpun bambu di hutan rimba alami atau hasil dari budidaya dan memiliki kuat tarik sejajar arah serat berkisar (115,3-309,3) MPa, kuat geser berkisar (3,95-6,14) MPa, dan kuat belah berkisar (4,14-5,82) MPa. Penelitian Ummiati (2009), dilakukan pengujian bambu untuk pemeriksaan tegangan leleh rata-rata bambu dan didapat nilai tegangan tarik rata-rata bambu sebesar 149,67 MPa

Beberapa penelitian dilakukan untuk melihat bambu sebagai pengganti tulangan baja. Morisco (1996) menyatakan, adanya serabut sklerenkin di dalam batang bambu mempunyai kekuatan dan dapat digunakan untuk keperluan bahan bangunan. Kekuatan bambu umumnya dipengaruhi oleh jumlah serat sklerenkin dan selulosa di dalam bambu. Kekuatan bambu bagian luar jauh lebih tinggi dibanding bambu bagian dalam. Penelitian Morisco (1999) pada bambu ori kering tungku menunjukkan kuat tarik sebesar 4170 kg/cm² pada

bambu bagian luar dan 1640 kg/cm² pada bambu bagian dalam, dengan mengambil benda uji bambu tanpa buku untuk memperoleh serat bambu yang lurus.

Selain penggunaan bambu pada tulangan, serat bambu dapat digunakan pada campuran beton. Serat bambu diharapkan dapat memperkuat beton dalam menahan beban yang dapat dilihat dari pencegahan retak yang dapat meruntuhkan beton. Pada penelitian Suhardiman (2011) penambahan sebanyak 1%, 1,5%, dan 2% serat bambu pada beton, didapatkan penambahan kekuatan tarik dan tekan terbesar pada penambahan 1,5% penambahan serat bambu dengan kenaikan 16,45 % dari beton normal untuk kuat tekan, dan 30,58% dari beton normal untuk kuat tarik.

METODE PENELITIAN



Gambar 2 Diagram alir tahapan penelitian

Rancangan Benda Uji

Rancangan Benda Uji Tekan Silinder

Benda uji tekan dibuat dengan mutu 22,5 MPa untuk agregat batu bata dengan serat dan tanpa serat. Masing-masing benda uji berjumlah 3 buah untuk setiap variasi. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Rancangan Benda Uji Kuda-Kuda

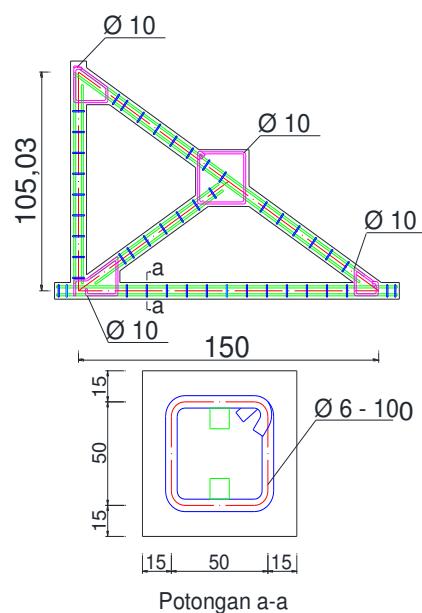
Terdapat 7 (tujuh) benda uji kuda-kuda beton komposit berbentuk setengah kuda-kuda model portal dalam penelitian ini, diantaranya adalah:

- 3 (tiga) buah kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan agregat batu bata dengan serat bambu berukuran (150 x 105) cm, kuda-kuda tipe BS dengan dimensi 8 x 8 cm untuk batang luar dan dalam.
- 3 (tiga) buah kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan agregat batu bata tanpa serat bambu berukuran (150 x 105) cm, kuda-kuda tipe B dengan dimensi 8 x 8 cm untuk batang luar dan dalam.
- 1 (satu) buah kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan agregat batu pecah berukuran (150 x 105) cm, kuda-kuda tipe N pembeding dengan dimensi 8 x 8 cm untuk batang luar dan dalam.

Tidak ada perbedaan dimensi dalam desain dari kuda-kuda beton komposit tipe BS, tipe B, dan tipe N. Pada tipe BS, limbah batu bata dipakai sebagai agregat kasar dengan penambahan serat bambu sebanyak 1,5 % berat semen. Kuda-kuda tipe N sebagai benda uji kontrol dengan kuat rencana 20 MPa. Pengujian kuda-kuda akan dilakukan setelah sudah berumur 28 hari.

Pemodelan Tulangan

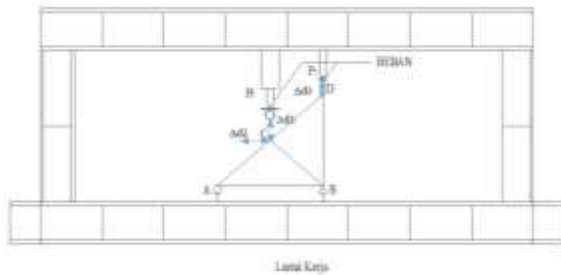
Dalam penelitian ini desain penulangan serta dimensi dari kuda-kuda tipe BS, tipe B dan tipe N adalah sama. Berikut adalah gambar desain benda uji.



Gambar 3 Desain kuda-kuda tulangan bambu

Pemodelan Pembebanan

Pengujian dilakukan untuk mencari beban maksimum dan perpindahan yang terjadi, lalu pola retak yang terjadi akan dilihat dan dicatat perpindahannya hingga runtuh. Tumpuan di kedua sisi kuda-kuda adalah baja yang sangat kaku yang sudah ada di laboratorium. Adanya tumpuan ini diharapkan berperilaku seperti tumpuan sendi-rol.



Gambar 4 Skema pembebanan

Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan dengan beban tetap (P_T) sebesar 50 kg pada titik D dan beban vertikal (P_i) di tengah bentang atau titik C. Pembebanan P_i dilakukan dari beban 0 hingga benda uji runtuh dengan interval pencatatan data berupa perpindahan dan retak yang terjadi setiap kenaikan beban 50 kg. Pencatatan perpindahan ditinjau pada 3 titik, yaitu di titik C vertikal (Δd_1), C horisontal (Δd_2), dan di titik D vertikal (Δd_3). Setelah alat dan benda uji siap, pengujian dilakukan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum dimana benda uji tidak dapat menerima beban vertikal lebih lagi.

PEMBAHASAN

Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan pada saat umur beton 7 hari. Benda uji silinder yang dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap tipe BS dan tipe B dengan jumlah total 6 benda uji silinder. Kuda-kuda tipe B dan tipe BS memiliki kuat rencana 22,5 MPa dengan perbandingan semen, air, agregat halus, agregat kasar sebesar 1:1,3,37:2,01. Adapun penambahan serat pada silinder tipe BS yaitu sebanyak 1,5% berat semen yang dibutuhkan.

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder beton tipe BS dan tipe B, didapat kuat tekan beton rata-rata sebesar 17,927 MPa yang mewakili 3 benda uji kuda-kuda tipe BS dengan 0,65 sebagai koreksi umur beton. Sementara kuat tekan beton rata-rata sebesar 18,5 MPa yang mewakili 3 benda uji kuda-kuda tipe B dengan 0,65 sebagai koreksi umur beton. Hasil

tersebut menunjukkan bahwa hasil mutu beton lebih kecil dengan mutu beton rencana. Hal ini bermungkinan karena belum menguapnya air yang berada di beton agregat limbah batu bata, mengingat air yang dibutuhkan oleh agregat limbah batu bata lebih banyak sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk air menguap.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton untuk mutu rencana 22,5 MPa

Benda Uji		Luas (mm ²)	Berat (kg)	P max (N)	Kuat Tekan		
					7 hari (N/mm ²)	28 hari (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
Tipe BS	1	17678,6	11,25	188000	10,634	16,361	17,927
	2	17678,6	11,4	214000	12,105	18,623	
	3	17678,6	11,4	216000	12,218	18,797	
Tipe B	1	17678,6	11	201000	11,370	17,492	18,5
	2	17678,6	10,95	212000	11,992	18,449	
	3	17678,6	11,1	223000	12,614	19,406	

Pengujian Beban Vertikal Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Berat Sendiri Kuda-Kuda

Penimbangan berat sendiri aktual kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dilakukan sesaat sebelum dilakukan pengujian beban vertikal kuda-kuda. Dari hasil penimbangan langsung didapat kuda-kuda tipe BS dengan rata-rata berat sendiri aktual sebesar 84,15 kg lebih ringan dibanding tipe B sebesar 84,78 kg dan tipe N sebesar 97,8 kg. Perhitungan berat sendiri teoritis didapat dari berat isi silinder beton (berat silinder dibagi volume silinder) dikali dengan volume kuda-kuda.

Tabel 3 Berat Sendiri Aktual dan Teoritis Kuda-Kuda

Kode Benda Uji		Berat Sendiri (Kg)		KR (%)	B. Sendiri Rerata (Kg)		KR (%)
		Aktual	Teoritis		Aktual	Teoritis	
Tipe BS	1	86.20	90.51	4.76	84.15	90.51	7.02
	2	82.90	90.51	8.41			
	3	83.35	90.51	7.91			
Tipe B	1	86.35	87.85	1.71	84.78	87.85	3.49
	2	85.15	87.85	3.07			
	3	82.85	87.85	5.69			
Tipe N	1	97.80	101.50	3.65	97.80	101.50	3.65

Contoh Perhitungan Berat Sendiri Teoritis Tipe BS:

SW = Berat isi silinder x Volume kuda-kuda

$$SW = 2140,67 \text{ kg/m}^3 \times 0,0423 \text{ m}^3 = 90,51 \text{ Kg}$$

Beban Maksimum Kuda-Kuda

Beban maksimum yang dimaksud adalah beban P_i yang berada di titik C. Kuda-kuda tipe BS memiliki beban maksimum aktual terbesar, yaitu mampu menahan beban hingga rata-rata 3766,67.

Tipe N mampu menaan beban maksimum aktual sebesar 3700 kg dan tipe B mampu menahan beban maksimum rata-rata terkecil yaitu 3016,67 kg.

Tabel 4 Beban Maksimum Aktual dan Teoritis Kuda-Kuda

Kode Benda Uji		P Maks (Kg)		KR (%)	P Maks Rerata(Kg)		KR (%)
		Aktual	Teoritis		Aktual	Teoritis	
Tipe BS	1	3600	3259.90	10.43	3766.67	3259.90	15.55
	2	4000	3259.90	22.70			
	3	3700	3259.90	13.50			
Tipe B	1	2000	3262.83	38.70	3016.67	3262.83	7.544
	2	4000	3262.83	22.59			
	3	3050	3262.83	6.52			
Tipe N	1	3700	3168.15	16.79	3700.00	3168.15	16.79

Langkah awal mendapat beban maksimum teoritis yaitu menghitung beban maksimum yang mampu ditahan batang. Selanjutnya, menghitung gaya-gaya batang akibat berat sendiri dan beban luar dengan metode titik buhul. Langkah terakhir, menggabungkan persamaan dari hasil perhitungan di langkah-langkah sebelumnya dan didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh struktur kuda-kuda.

Perbedaan berat sendiri maupun beban maksimum aktual dan teoritis tipe BS dan tipe B dikarenakan perhitungan teoritis berdasarkan berat isi beton dari kuat tekan silinder beton pada umur 7 hari dan limbah batu bata sendiri memiliki absorpsi yang besar membuat beton kering lebih lama, sehingga kekuatan silinder beton masih terpengaruh oleh berat air yang masih ada pada silinder beton dengan agregat batu bata. Beton silinder tipe BS memiliki campuran serat bambu 1,5 % berat semen kering yang membuat berat sendiri dan kekuatan silinder tipe BS tidak sama dengan silinder tipe B pada umur 7 hari karena proses penguapan yang lebih lama.

Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Pengujian

Peninjauan perpindahan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dilakukan pada 3 lokasi yang berbeda. Lokasi pertama berada di titik C vertikal ($\Delta d1$), lokasi kedua di titik C horisontal ($\Delta d2$), dan lokasi ketiga di titik D vertikal ($\Delta d3$).

Grafik lendutan rata-rata di titik C vertikal ($\Delta d1$) kuda-kuda tipe N menunjukkan struktur lebih kaku dibandingkan dengan tipe BS dan tipe B. Sementara grafik kuda-kuda tipe BS lebih kaku dibanding tipe B. Lendutan maksimum rata-rata di titik C vertikal ($\Delta d1$) kuda-kuda tipe BS sebesar

20,28 mm, tipe B sebesar 23,61 mm, dan tipe N sebesar 12,99 mm.



Gambar 5 Grafik hubungan beban (P) dan lendutan rata-rata ($\Delta d1$) kuda-kuda tipe BS, tipe B dan tipe N

Grafik lendutan rata-rata di titik C horisontal ($\Delta d2$) meningkat secara linear seiring bertambahnya beban. Pada titik ini, grafik pada kuda-kuda tipe BS menunjukkan struktur lebih kaku dibandingkan dengan tipe B dan tipe N. Lendutan maksimum rata-rata di titik C horisontal kuda-kuda tipe BS sebesar 11,96 mm, tipe B sebesar 17,62 mm, dan tipe N sebesar 7,43 mm. Perubahan signifikan pada grafik tipe BS dan B di titik C vertikal ($\Delta d1$) dan C horisontal ($\Delta d2$) terjadi karena dari 3 benda uji setiap variasi, keruntuhan tidak terjadi serentak.



Gambar 6 Grafik hubungan beban (P) dan lendutan rata-rata ($\Delta d2$) kuda-kuda tipe BS, tipe B dan tipe N

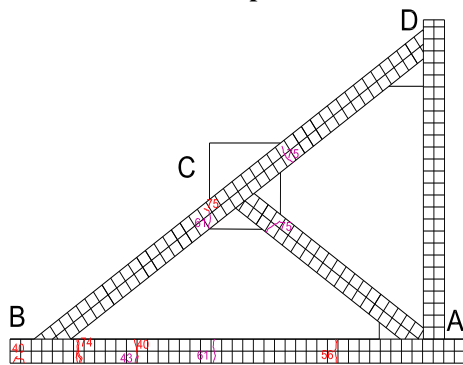
Dapat dilihat grafik lendutan rata-rata di titik D vertikal ($\Delta d3$) meningkat secara linear seiring bertambahnya beban. Pada titik ini, grafik pada kuda-kuda tipe B menunjukan struktur lebih kaku dibandingkan dengan tipe N dan tipe BS. Lendutan maksimum rata-rata di titik D vertikal ($\Delta d3$) pada kuda-kuda tipe BS sebesar 4,24 mm, tipe B sebesar 2,37 mm, dan tipe N sebesar 3,58 mm. Perubahan signifikan pada grafik tipe BS dan B di titik D vertikal ($\Delta d3$) terjadi karena dari 3 benda uji tiap variasi, keruntuhan tidak terjadi serentak.



Gambar 7 Grafik hubungan beban (P) dan lendutan rata-rata ($\Delta d3$) kuda-kuda tipe BS, tipe B dan tipe N

Pola Retak

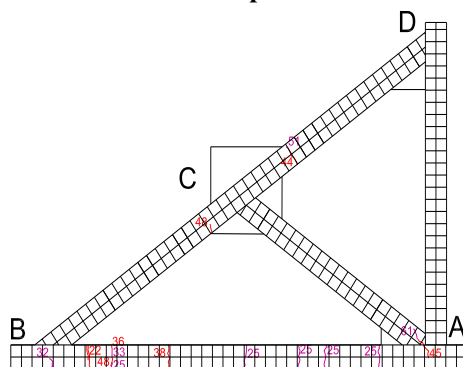
Pola Retak Kuda-Kuda Tipe N



Gambar 8 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe N

Retakan pertama tipe N terjadi pada pembebanan ke-40 (beban 1950 kg) di batang tarik AB. Kuda-kuda tipe N mampu bertahan menahan hingga beban 3700 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 8 kesatuan retakan. Retak pada kuda-kuda tipe N muncul secara tiba-tiba terutama pada batang AB (tarik) dan runtuh akibat retak di sambungan titik B.

Pola Retak Kuda-Kuda Tipe BS

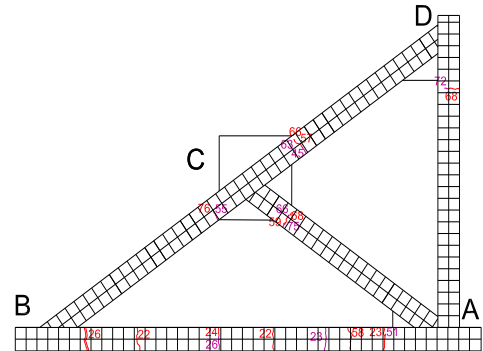


Gambar 9 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe BS1

Pada kuda-kuda tipe BS1, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-22 (beban 1050 kg) di batang AB. Kuda-kuda tipe BS1 mampu bertahan

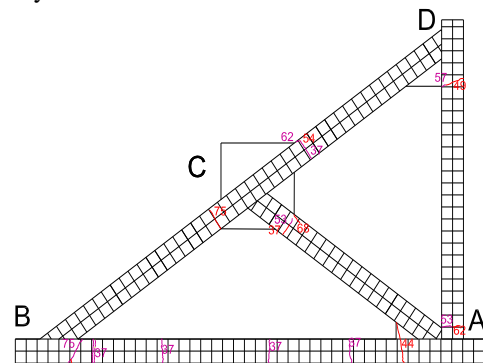
hingga beban 3600 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 12 kesatuan retakan.

Pada kuda-kuda tipe BS2, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-22 (beban 1050 kg) di batang AB. Kuda-kuda tipe BS2 mampu bertahan hingga beban 4000 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 12 kesatuan retakan



Gambar 10 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe BS2

Pada kuda-kuda tipe BS3, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-37 (beban 1800 kg) di batang AB. Kuda-kuda tipe BS3 mampu bertahan hingga beban 3700 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 11 kesatuan retakan.

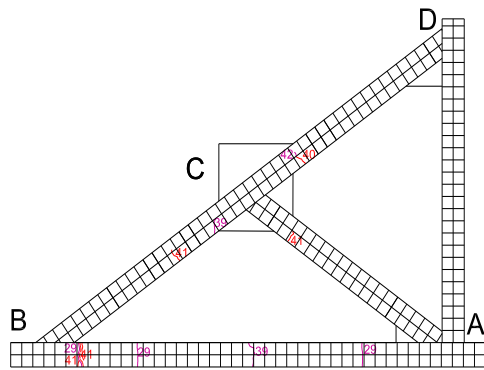


Gambar 11 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe BS3

Retak pada kuda-kuda tipe BS1, BS2, dan BS3 muncul secara bertahap di setiap satuan retakan dan runtuh akibat retak di sambungan titik B.

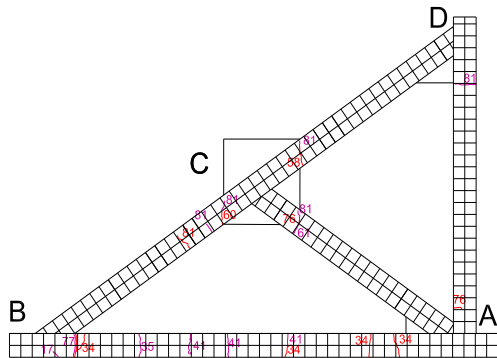
Pola Retak Kuda-Kuda Tipe B

Pada kuda-kuda tipe B1, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-29 (1400 kg) di batang AB. Kuda-kuda tipe BS2 mampu bertahan hingga beban 2000 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 9 kesatuan retakan.



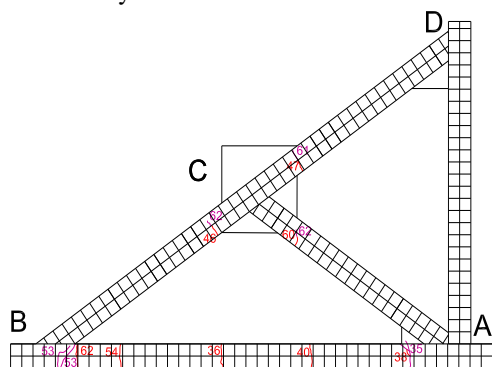
Gambar 12 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe B1

Pada kuda-kuda tipe B2, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-34 (beban 1650 kg) di batang AB. Kuda-kuda tipe B2 mampu bertahan hingga beban 4000 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 14 kesatuan retakan.



Gambar 13 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe B2

Pada kuda-kuda tipe B3, retakan pertama terjadi pada pembebanan ke-35 atau pembebanan ke 1700 kg di batang AB. Kuda-kuda tipe B3 mampu bertahan hingga beban 3050 kg dengan total jumlah retakan sebanyak 8 kesatuan retakan.



Gambar 14 Sketsa pola retak kuda-kuda tipe B3

Retak yang terjadi pada tipe B1, B2, dan B3 muncul secara tiba-tiba sehingga membentuk satuan retakan pada satu atau dua pembebanan saja. Keruntuhan pada 3 benda uji tipe B terjadi akibat retak di sambungan titik B.

Serat Bambu Terhadap Berat Sendiri Kuda-Kuda Beton Komposit

Tabel 5 Berat Sendiri Kuda-Kuda Tipe BS dan Tipe B

Benda Uji Ke	Tipe BS (kg)	Tipe B (kg)
1	86,20	86,35
2	82,90	85,15
3	83,35	82,85
Rata-rata	84,15	84,78

Berat sendiri rata-rata kuda-kuda tipe BS lebih ringan dibanding kuda-kuda tipe B meskipun penambahan serat bambu dilakukan pada kuda-kuda tipe BS. Hal ini karena dengan mix design serta perbandingan bahan penyusun tipe BS dan tipe B sama, sehingga volume serat yang ditambah pada tipe BS mengganti volume bahan penyusun beton yang lain. Dengan begitu kuda-kuda tipe BS lebih ringan dibanding kuda-kuda tipe B walaupun tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Serat Bambu Terhadap Beban Maksimum Kuda-Kuda Beton Komposit

Tabel 6 Beban Maksimum Kuda-Kuda Tipe BS dan Tipe B

Benda Uji Ke	Tipe BS (kg)	Tipe B (kg)
1	3600	2000
2	4000	4000
3	3700	3050
Rata-rata	3,766.67	3,016.67

Dengan kuat rencana yang sama yaitu 22,5 MPa, kemampuan dalam menahan beban maksimum tipe BS dan tipe B berbeda. Hal ini dikarenakan pada tipe BS, serat membantu beton menyalurkan beban lebih merata pada setiap penambahan beban yang dapat dilihat pada pola retak yang terjadi, sehingga kuda-kuda tipe BS lebih kuat dalam menahan beban maksimum dibanding tipe B.

Pengaruh Serat Bambu Terhadap Pola Retak Kuda-kuda Beton Komposit

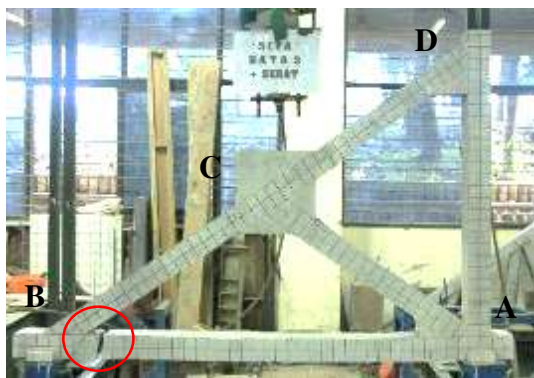
Retakan pertama pada kuda-kuda tipe BS1 terjadi pada saat pembebanan 1050 kg, retakan pertama pada kuda-kuda tipe BS2 pada saat 1050 kg, dan retakan pertama pada kuda-kuda tipe BS 3 pada saat 1800 kg. Retakan pertama pada kuda-kuda tipe B1 terjadi pada saat pembebanan 1400 kg, retakan pertama pada kuda-kuda tipe B2 pada saat 1650 kg, dan retakan pertama pada kuda-kuda tipe B3 pada saat 1700 kg. Berdasarkan grafik hubungan beban

(P) – lendutan (Δ), semua retakan pertama pada kuda-kuda tipe BS dan tipe B terjadi setelah melewati kondisi batas elastis masing-masing tipe. Hal tersebut menunjukkan bahwa retakan terjadi pada saat kuda-kuda berada pada kondisi plastis.

Jumlah retakan yang terjadi pada kuda-kuda tipe BS pada setiap pembebanan lebih banyak dibandingkan dengan kuda-kuda tipe B, tetapi kuda-kuda tipe BS mampu menahan beban lebih besar dibanding kuda-kuda tipe B. Kuda-kuda tipe BS mampu menahan beban hingga runtuh dengan rata-rata beban maksimum sebesar 3766,667 kg sementara kuda-kuda tipe B memiliki rata-rata beban maksimum sebesar 3016,667 kg. Banyaknya retak yang terjadi pada tipe BS tidak memperlemah kemampuan struktur dalam menahan beban vertikal lebih besar.

Pada pola retak tipe B atau tanpa serat retak terjadi secara tiba-tiba yang mengakibatkan struktur runtuh lebih cepat terutama di batang tarik AB. Sedangkan pada tipe BS atau dengan serat retak terjadi secara bertahap untuk membentuk kesatuan retakan sehingga kuda-kuda tipe BS dapat lebih kuat menahan beban dan retakan tidak terfokus pada batang tarik saja.

Model Keruntuhan



Gambar 15 Keruntuhan yang terjadi pada kuda-kuda tipe BS, tipe B, dan tipe N

Keruntuhan tipe BS, tipe B, dan tipe N terjadi pada sambungan sudut titik B. Hal tersebut tidak adanya sengkang besi yang mengikat tulangan pada saat mendekati sambungan. Hal ini memperlemah tulangan tarik dalam menahan tarik.



Gambar 16 Tulangan pada sambungan sudut

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Pada berat sendiri, penambahan serat sebanyak 1,5% berat semen memperingan berat sendiri kuda-kuda meskipun perbedaan belum signifikan. Kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat limbah batu bata dengan serat (tipe BS) 84,15 kg, lebih ringan dibanding berat sendiri kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat limbah batu bata tanpa serat (tipe B) sebesar 84,78 kg. Sementara berat sendiri kuda-kuda beton komposit tulangan bambu normal (tipe N) sebesar 97,8 kg.
2. Kuda-kuda tipe BS dapat mencapai rata-rata beban maksimum sebesar 3766,67 kg lebih kuat dibandingkan dengan kuda-kuda tipe B yaitu 3016,67 kg. Beban maksimum yang mampu ditahan kuda-kuda tipe BS lebih besar dibanding tipe N yang mampu menahan beban maksimum sebesar 3700 kg. Serat bambu mempengaruhi kekuatan kuda-kuda untuk mencapai kekuatan lebih tinggi dengan yang dapat dilihat pada pola retak tiap variasi.
3. Penambahan serat bambu mempengaruhi pola retak yaitu penyebaran pola retak, dimana kemunculan retak yang terjadi bertahap dan menyebar pada setiap batang struktur kuda-kuda tipe BS. Sementara retak yang muncul pada kuda-kuda tipe B tidak bertahap dan terjadi secara tiba-tiba di sepanjang batang kuda-kuda sehingga mengakibatkan keruntuhan yang terjadi lebih cepat.

Saran

Dari penelitian dan kesimpulan yang sudah dikaji dan dilakukan, adapun saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Antara beton agregat batu bata dan beton normal memiliki kekuatan awal pada tarik yang berbeda, tetapi kekuatan akhir yang cenderung sama karena faktor tulangan yang sama yaitu tulangan bambu, sehingga dapat dicari material lain untuk memperingan kuda-kuda.
2. Kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat batu bata dapat menggantikan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat normal karena lebih murah (didapat secara gratis) dan berperan dalam penyelamatan lingkungan atau pengolahan limbah konstruksi.
3. Perlu dilakukan perlakuan khusus untuk serat bambu agar serat bambu dapat menjaga keawetan tulangan bambu kuda-kuda.
4. Karena lemahnya sambungan terutama pada batang tarik, diperlukan kajian lebih lanjut cara memperkuat sambungan kuda-kuda tanpa menambah berat kuda-kuda.
5. Penelitian baru untuk mempelajari sambungan antar segmen sesuai permintaan pasar.
6. Diameter agregat limbah batu bata dapat diperkecil agar pada saat pengecoran campuran beton dapat merata di seluruh bagian kuda-kuda tanpa tertahan oleh tulangan di dalam kuda-kuda.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM-Standards. 2004. *ASTM C 150 150 - 04 Standards Specification For Portland Cement*. West Conshohocken: ASTM International.
- Dewi, S. M. 2008. *Mekanika Struktur Komposit*. Malang: Bargie Media.
- Frick, H. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kansius.
- Ghose, D. N. 1989. *Materials of Construction*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Heinz, F. 1998. *Sistem Bentuk Struktur Bangunan*. Yogyakarta: Kansius.
- 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. 971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Yayasan Lembaga Pengelidikan Masalah Bangunan.
- 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.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. 1982. *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Morisco. (1990). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nifiri Offset.
- Nawy, E. G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar (penerjemah: Bambang Suryatmono)*. Bandung: PT Eresco.
- 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-15-2049-2004. 2004. *Semen Portland*. 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/Oktober 2011*, 88-95.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- T. Kien, T., T. Thanh, Le, & V. Lu, Phung. 2013. Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam. *The International Conference on Sustainable Built Environment for Now, and The Future, Hanoi*.

- Ummiati, S. (2009). *Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahan Gempa Sistem Ganda untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa pada Wilayah Gempa tertinggi di Indonesia*. Tesis tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Winter, G., & Nilson, A. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.