

**PENGARUH VARIASI *RECYCLED COARSE AGGREGATE (RCA)*
TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON NORMAL
BERTULANGAN BAMBU PILIN**
*(The Effect of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Variation on the Flexural Strength of
Knitted Bamboo Reinforced Concrete Beam)*

Faishal Dwi Prasetyo, Devi Nuralinah, Eva Arifi, Desy Setyowulan
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: faishaldwp@gmail.com

RINGKASAN

Beton dikenal sebagai material bangunan yang paling populer, tersusun dari beberapa material yaitu semen, air, dan batuan (agregat). Beton umumnya digabungkan dengan material yang lain, seperti baja tulangan yang memiliki kekuatan tarik yang besar. Penggunaan beton yang berlebihan menyebabkan bahan-bahan penyusun beton dan tulangan baja menjadi mahal dan langka. Pemanfaatan dari agregat daur ulang dan tulangan bambu diharapkan dapat dijadikan suatu alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan-bahan penyusun beton yang berasal dari alam serta menurunkan biaya konstruksi sebuah bangunan menjadi lebih murah namun tetap kuat dan aman untuk digunakan

Pada penelitian ini terdapat dua jenis agregat kasar yang dipakai yaitu agregat kasar normal dan agregat kasar daur ulang. Penelitian yang dilakukan dengan pembuatan benda uji silinder dengan dimensi 15 x 30 cm dan balok beton bertulang dengan dimensi 0,15 x 0,25 x 1,6 meter. Semua benda uji dilakukan perawatan selama 14 hari dan dilakukan pengujian pada saat umur 28 hari. Bambu dengan perlakuan khusus digunakan sebagai tulangan balok beton. Pengujian yang akan dilakukan yaitu uji kuat lentur, lendutan. Untuk silinder beton dilakukan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas.

Hasil dari pengujian balok beton menunjukkan bahwa beton dengan agregat kasar daur ulang memiliki nilai kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton agregat kasar normal yaitu 630 kgm dibandingkan dengan 510 kgm. Nilai lendutan yang terjadi saat beban maksimum pada balok beton agregat kasar daur ulang yaitu 7,813 mm dan nilai lendutan pada balok beton agregat kasar normal yaitu 3,987 mm. Hasil dari pengujian kuat tekan silinder beton menunjukkan nilai kuat tekan beton agregat kasar normal lebih tinggi dibandingkan beton agregat kasar daur ulang yaitu 29,337 MPa dan 28,969 MPa. Dengan nilai modulus elastisitas pada beton agregat kasar daur ulang sebesar 39868,1667 MPa dan beton agregat kasar normal sebesar 42431,6667 MPa.

Kata Kunci : agregat kasar daur ulang, kuat lentur, lendutan, bambu pilin , lendutan, kuat tekan, modulus elastisitas.

SUMMARY

Concrete is known as the most popular building material, consists of several materials such as cement, water and rocks (aggregate). Concrete is generally combined with other materials such as steel reinforcement which has a high tensile strength. The use of excessive concrete causes the constituent materials of concrete and steel reinforcement to be expensive and scarce. It is hoped that the use of recycled aggregates and bamboo reinforcement can be used as an alternative to reduce the use of concrete constituents derived from nature and reduce the construction cost of a building to be cheaper but still strong and safe to use.

In this study there were two types of coarse aggregates used, that is normal coarse aggregate and recycled coarse aggregate. This Research conducted with manufacture cylinder with dimension 15 x 30 cm and reinforced concrete beam with dimension 0.15 x 0.25 x 1,6 meters as object test. All tests performed maintenance for 14 days and do the testing at the time aged 28 days. Bamboo with special treatment is used as reinforcement of concrete beam. Tests to be carried out are flexural strength, deflection test. For concrete cylinders the compressive strength and modulus of elasticity are tested.

The results of concrete beam testing show that recycled coarse aggregate concrete has a higher value of flexural strength compared to normal coarse aggregate concrete, which is 630 kgm compared to 510 kgm. The deflection (P Maximum) value that occurs in recycled coarse aggregate concrete beams is 7,813 mm and the value of normal concrete beam deflection is 3,987 mm. The results of testing of concrete cylinder compressive strength showed that the compressive strength of normal coarse aggregate concrete was higher than recycled coarse aggregate, which was 29,337 MPa and 28,969 MPa. The modulus of elasticity in recycled coarse aggregate concrete is 39868,1667 MPa and normal coarse aggregate concrete is 42431,6667 MPa.

Keywords : *recycled coarse aggregate, flexural strength, knitted bamboo, deflection, compressive strength and modulus of elasticity.*

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, infrastruktur di Indonesia berkembang sangat pesat. Ditambah pemerintahan saat ini sedang gencar membangun infrastruktur di berbagai daerah di Indonesia. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan penggunaan beton semakin meningkat. Dengan kebutuhan akan beton yang meningkat, menjadikan bahan-bahan penyusun beton yang berasal dari alam mengalami eksploitasi berlebihan dan juga terjadi pemanfaatan sumber daya alam yang tidak seimbang, sehingga menyebabkan bahan-bahan penyusun beton yang berasal dari alam mengalami kenaikan harga dan kebutuhan akan tulangan baja akan meningkat yang memicu kenaikan harga sehingga menjadi mahal dan langka. Dengan demikian diperlukan sebuah alternatif dalam pemenuhan kebutuhan bahan-bahan penyusun beton.

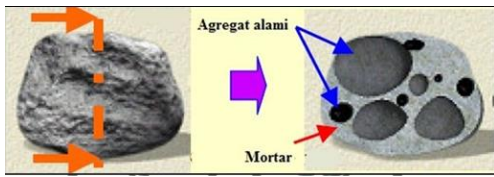
Salah satu alternatif yang dapat digunakan yaitu memanfaatkan kembali limbah atau sisa beton. Limbah atau sisa beton tersebut dapat digunakan sebagai pengganti dari agregat kasar yang biasa disebut agregat kasar daur ulang (RCA).

Alternatif lain sebagai pengganti tulangan baja adalah bambu. Bambu dipilih sebagai pengganti tulangan disebabkan oleh harganya yang relatif murah dan juga mempunyai kekuatan tarik yang tinggi.

Dari alternatif yang ada di atas, maka dalam penelitian ini akan menggunakan agregat kasar daur ulang (RCA) dan tulangan bambu sebagai bahan penyusun beton. Dalam penelitian ini akan melakukan variasi agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap kuat lentur balok beton normal bertulangan bambu pilin, dengan persentase campuran agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 0 % dan 100 %.

TINJAUAN PUSTAKA

Agregat Kasar Daur Ulang



Gambar 1 Potongan Agregat Daur Ulang

Kandungan mortar mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, sehingga kekerasannya berkurang, bidang temu yang bertambah, dan juga unsur-unsur kimia agresif lebih mudah masuk dan merusak. Kinerja struktur dan material dari beton agregat daur ulang cenderung berbeda dibandingkan dengan kinerja beton agregat normal alam. Dari beberapa hasil studi eksperimental, agregat daur ulang yang berupa agregat kasar mengandung mortar sebesar 25% sampai 45%, sedangkan agregat daur ulang berupa agregat halus mengandung mortar sebesar 70% sampai 100%.

Bambu

Kuat tarik dari bambu sangat tinggi dan untuk jenis tertentu kuat tarik bambu sama dengan kuat tarik baja ringan, sedangkan kekuatan untuk rasio berat tertentu adalah enam kali lebih besar dari baja. Sama seperti baja, bambu dapat menahan gaya tarik dan tekan dimana bahan alami lain yang digunakan sebagai bahan perkuatan tidak dapat menahan gaya tekan.

Bambu merupakan tanaman yang bersifat higroskopis yang berarti memiliki zat yang berkemampuan untuk menyerap air yang baik dalam bentuk uap maupun cair. Sehingga bambu rentan mengalami kembang dan susut. Kembang dan susut yang terjadi pada bambu dapat mempengaruhi lekatan yang terjadi antara beton dan bambu, sehingga perlu diberikan perlakuan khusus dengan diberinkan lapisan kedap air.

Kuat Tarik Bambu

Kuat tarik adalah suatu ukuran pembebanan tarik yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja

$$f_y = \frac{p}{A}$$

dimana:

f_y = Tegangan leleh bambu (Mpa)

P = Beban bawah batas proporsi (N)

A = Luas penampang tarik (mm^2)

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

dimana :

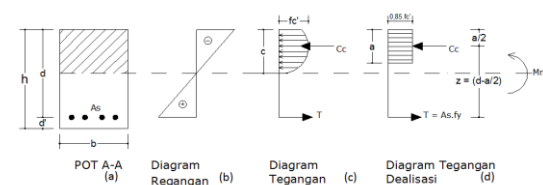
f'_c = Kuat tekan (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam satuan gaya tiap satuan luas.



Gambar 2 Potongan Melintang Balok Beton Bertulang

Untuk mendapatkan momen tahanan yang dapat ditahan balok dapat dilihat dari rumus balok beton bertulang sebagai berikut :

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$z = (d - a/2)$$

$$C_c = (0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c)$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

Pada kondisi *balance* didapatkan :

$$T = Cc$$

Momen nominal balok beton bertulang :

$$Mn = Cc \cdot Z$$

$$Mn = Cc (d - a/2)$$

Keterangan :

Cc = Tekan Beton

T = Tarik Baja

As = Luas Tulangan Tarik

a = Tinggi Blok Tegangan

b = Lebar Balok

d = Tinggi Efektif Balok

METODE PENELITIAN

Agregat kasar daur ulang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berasal dari silinder-silinder beton hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Silinder beton yang digunakan menggunakan mutu K300-K350.

Proses Pembuatan tulangan bambu:

1. Pemotongan bambu petung untuk ukuran 4 mm x 4 mm.
2. Bambu direndam menggunakan NaOH lalu dikeringkan.
3. Bambu di pilin sesuai dengan tipe pilinan yang ditentukan.
4. Melakukan pelapisan menggunakan sikadur dan pasir
5. Mengeringkan tulangan bambu yang telah diberi pelapis.

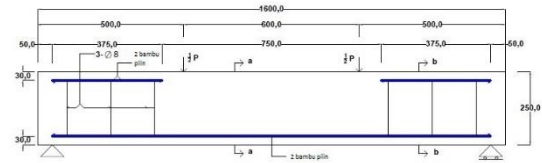


Gambar 3 Pola Pilinan

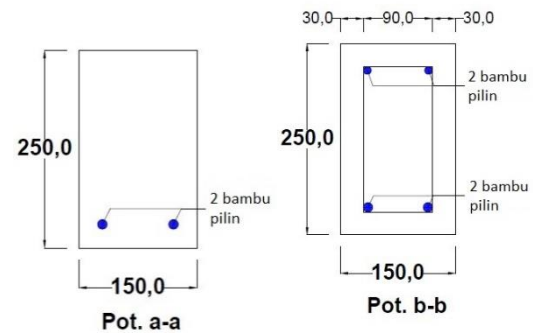
Adapun benda uji yang dibuat dan diteliti:

1. Pengujian kuat tekan pada beton yaitu 6 buah silinder beton agregat kasar normal dan 6 buah silinder beton agregat kasar daur ulang.
2. Jumlah benda uji balok dengan dimensi 15 cm x 25 cm x 160 cm yang digunakan adalah 3 untuk masing – masing beton agregat kasar normal dan

beton agregat kasar daur ulang dengan pembebanan dua beban terpusat simetris dengan interval 100 kg.



Gambar 4 Penulangan Balok



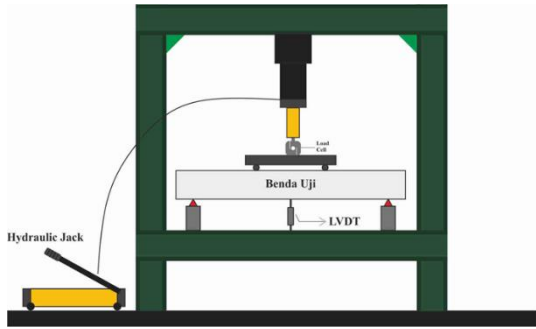
Gambar 5 Potongan Penulangan Balok



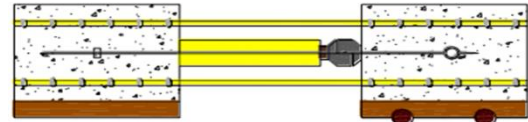
Gambar 6 Pengujian Tarik Bambu



Gambar 7 Pengujian Tekan Beton



Gambar 8 Pengujian Lentur Balok Beton



Gambar 10 Skema Pengujian *Pull Out*

Tabel 1 Hasil Pengujian *Pull Out*

Benda Uji	P Maks (Kg)	Rata-rata (Kg)
Normal	8	1900
	6a	2000
	6b	2450
Daur Ulang	5a	2050
	5b	1900
	7	2650

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

$$Fy1 = \frac{P}{2 \times A} = \frac{20743,337}{2 \times 48} = 216,076 \text{ Mpa}$$

$$Fy2 = \frac{P}{2 \times A} = \frac{21560}{2 \times 48} = 224,583 \text{ Mpa}$$

Nilai kuat tarik bambu pilin rata-rata pada beton dengan agregat kasar normal yaitu sebesar 216,076 Mpa dan nilai kuat tarik bambu pilin rata-rata pada beton dengan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 224,583 Mpa.

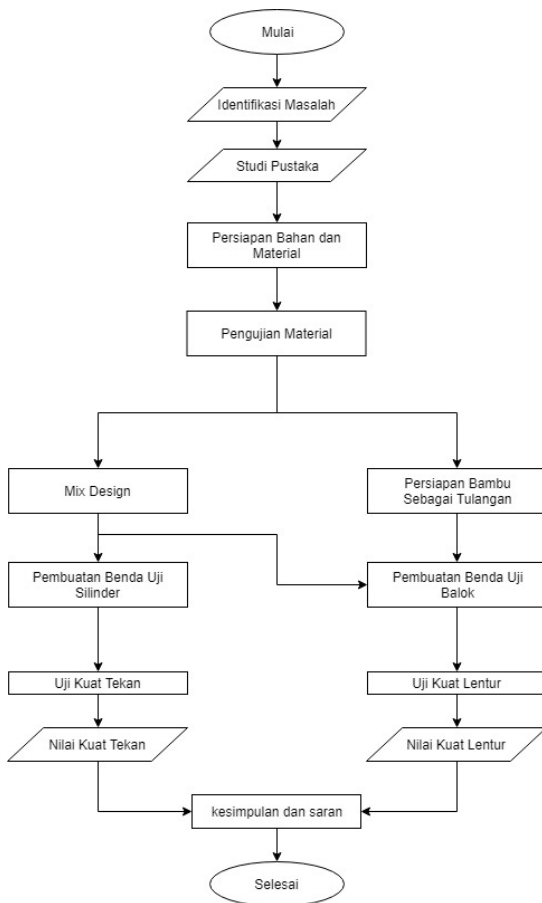
Pengujian Beton Segar

Pengujian pada beton segar yang dilakukan ialah pengujian slump beton untuk mengetahui homogenitas dan *workability* adukan pada beton segar dengan kekentalan tertentu.

Tabel 2 Hasil Pengujian Slump Beton

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Nilai Slump (cm)	Rata-rata (cm)
BNBN-1	Normal	15	12,5
BNBN-2	Normal	14,5	
BNBN-3	Normal	8	
BNBR-1	Daur Ulang	10	10,67
BNBR-2	Daur Ulang	12	
BNBR-3	Daur Ulang	10	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 9 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bambu Pilin Tulangan

Pada pengujian tarik bambu menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*), bambu mengalami selip, sehingga bambu tidak bisa didapatkan hasil uji tarik nya. Hasil dari pengujian *pull out* tulangan bambu pilin digunakan untuk mengetahui kuat tarik bambu pilin.

Nilai slump beton rata-rata pada beton dengan agregat kasar normal yaitu sebesar 12,5 cm dan nilai slump beton rata-rata pada beton dengan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 10,67 cm. Nilai slump yang terjadi pada beton agregat kasar daur ulang lebih rendah daripada beton agregat kasar normal diakibatkan oleh tingkat penyerapan dari agregat kasar daur ulang yang tinggi.

Pengujian Beton Keras

Pengujian pada beton keras yang dilakukan ialah pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder yang berukuran 15 cm x 30 cm. Pengujian dilakukan setelah beton berusia 28 hari, dengan menggunakan alat “*Compression Testing Machine*”

Tabel 3 Kuat Tekan Beton Normal

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
SNBN-1A	Normal	17662,5	553000	31,309	29,337
SNBN-1B	Normal	17662,5	533000	30,177	
SNBN-2A	Normal	17662,5	510000	28,875	
SNBN-2B	Normal	17662,5	569000	32,215	
SNBN-3A	Normal	17662,5	510000	28,875	
SNBN-3B	Normal	17662,5	434000	24,572	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4 Kuat Tekan Beton Daur Ulang

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
SNBR-1A	Daur Ulang	17662,5	564000	31,932	28,969
SNBR-1B	Daur Ulang	17662,5	481000	27,233	
SNBR-2A	Daur Ulang	17662,5	582000	32,951	
SNBR-2B	Daur Ulang	17662,5	509000	28,818	
SNBR-3A	Daur Ulang	17662,5	400000	22,647	
SNBR-3B	Daur Ulang	17662,5	534000	30,234	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

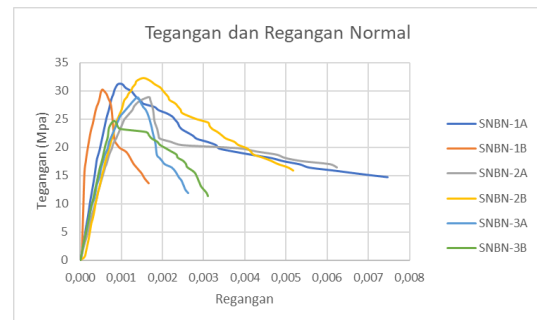
Nilai kuat tekan beton rata-rata pada beton dengan agregat kasar normal sebesar 29,337 Mpa dan nilai kuat tekan beton rata-rata pada beton dengan agregat kasar daur ulang sebesar 28,969 Mpa.

Kuat tekan beton agregat kasar normal dengan beton agregat kasar daur ulang tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan bahkan hampir sama. Hal ini dapat terjadi akibat mutu tinggi dari silinder beton yang digunakan pada beton agregat kasar daur ulang yaitu K300 – K350.

Tegangan dan Regangan Beton

Pada saat pengujian kuat tekan beton digunakan juga ekstensometer pada benda uji silinder beton sehingga dapat diketahui nilai deformasi dari beton.

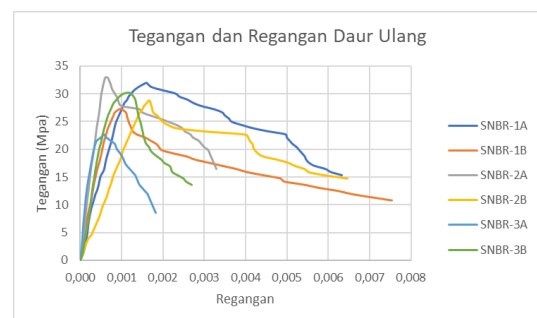
Kemudian dapat dihitung nilai tegangan dan regangan dari beton itu sendiri. Perhitungan tegangan dan regangan dilakukan setiap pertambahan beban sebesar 10 kN.



Gambar 11 Tegangan dan Regangan Gabungan Agregat Kasar Normal

Benda uji silinder normal bambu *normal aggregate* 2B (SNBN-2B) merupakan benda uji dengan nilai tegangan tertinggi yaitu sebesar 32,215 Mpa dengan regangan yang terjadi yaitu sebesar 0,001533.

Nilai tegangan maksimum rata-rata beton pada beton dengan agregat kasar normal yaitu sebesar 29,337 Mpa dan regangan rata-rata beton dengan agregat kasar normal pada saat tegangan maksimum yaitu sebesar 0,00115.



Gambar 12 Tegangan dan Regangan Gabungan Agregat Kasar Daur Ulang

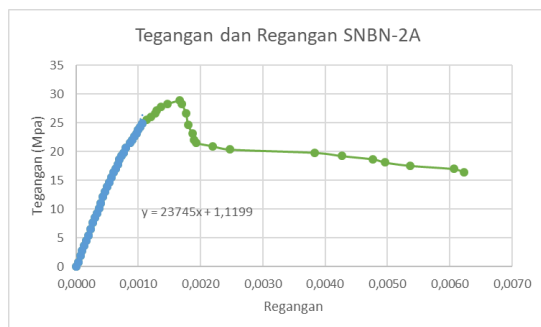
Benda uji silinder normal bambu *recycled aggregate* 2A (SNBR-2A) merupakan benda uji dengan nilai tegangan tertinggi yaitu sebesar 32,951 Mpa dengan regangan yang terjadi yaitu sebesar 0,000633.

Nilai tegangan maksimum rata-rata beton pada beton dengan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 28,969 Mpa dan regangan rata-rata beton dengan agregat kasar daur ulang pada saat tegangan maksimum yaitu sebesar 0,00110.

Modulus Elastisitas Beton

Setelah nilai tegangan dan regangan beton diketahui dapat dicari nilai dari modulus elastisitas. Modulus Elastisitas merupakan perbandingan tegangan tarik atau tekan terhadap regangan.

Perhitungan nilai modulus elastisitas benda uji silinder beton agregat kasar normal dengan kode SNBN-2A dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 13 Tegangan dan Regangan SNBN-2A

Persamaan regresi linear :

$$y = 23745x + 1,1199$$

Dengan persamaan tegangan dan regangan $y = 23745x + 1,1199$

$$S_2 = 0,4 \times f'_c$$

$$= 11,549 \text{ MPa}$$

$$S_2 = 11,5498 \text{ Didapat } \epsilon_2 = 0,000439$$

$$\epsilon_1 = 0,00005 \text{ Didapat } S_1 = 2,30715$$

Maka nilai modulus elastisitas beton adalah

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{11,5498 - 2,30715}{0,000439 - 0,00005} \\ &= 23745 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Validasi modulus elastisitas beton formula SK SNI-T-15-1991

$$E_c = 0,043 \times W_c^{1,5} \times f'_c^{0,5}$$

$$E_c = 0,043 \times 2491,154^{1,5} \times 28,875^{0,5}$$

$$E_c = 28729,509 \text{ MPa}$$

Validasi Modulus Elastisitas Beton dengan formula ACI 318-89, Revised 1992, 1996

$$E = 4730 \times \sqrt{f'_c}$$

$$E = 4730 \times \sqrt{28,875}$$

$$E = 25416,757 \text{ MPa}$$

Tabel 5 Nilai Modulus Elastisitas Beton

No	Kode Benda Uji	Rata-rata (Mpa)		
		Ec Perhitungan	Ec SNI	Ec ACI
1	SNBN-1A			
2	SNBN-1B			
3	SNBN-2A	42431,6667	28712,065	25596,160
4	SNBN-2B			
5	SNBN-3A			
6	SNBN-3B			
7	SNBR-1A			
8	SNBR-1B			
9	SNBR-2A	39868,1667	26852,467	25412,155
10	SNBR-2B			
11	SNBR-3A			
12	SNBR-3B			

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Nilai modulus elastisitas beton dengan agregat kasar normal lebih besar daripada beton dengan agregat kasar daur ulang. Ini disebabkan salah satunya faktor kandungan mortar yang terdapat pada agregat daur ulang, serta adanya retak, baik retak mikro maupun retak makro. Namun diantara keduanya tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan bahkan hampir sama.

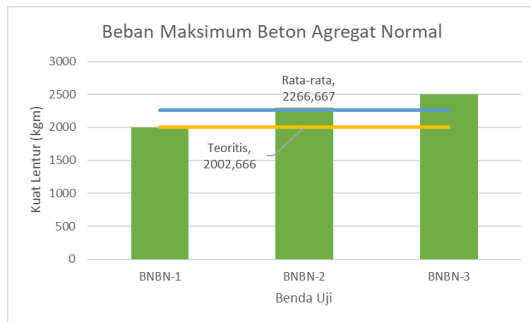
Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Pengujian dilakukan terhadap benda uji balok berdimensi 15 x 25 x 160 cm yang telah berumur 28 hari dengan menggunakan dua beban terpusat simetris dengan interval 100 kg.

Tabel 6 Beban Maksimum Balok Beton Agregat Kasar Normal

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Beban Maksimum (Kg)	Rata-rata (Kg)
BNBN-1	Normal	2000	2266,667
BNBN-2	Normal	2300	
BNBN-3	Normal	2500	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

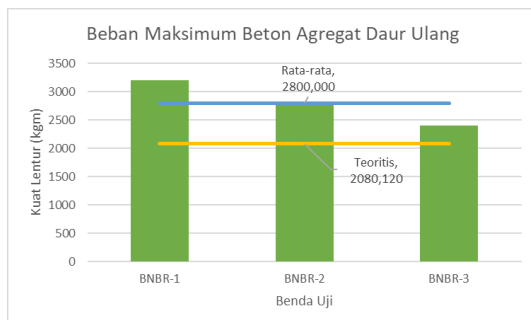


Gambar 14 Beban Maksimum Balok Beton Agregat Kasar Normal

Tabel 7 Beban Maksimum Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Beban Maksimum (Kg)	Rata-rata (Kg)
BNBR-1	Daur Ulang	3200	2800
BNBR-2	Daur Ulang	2800	
BNBR-3	Daur Ulang	2400	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



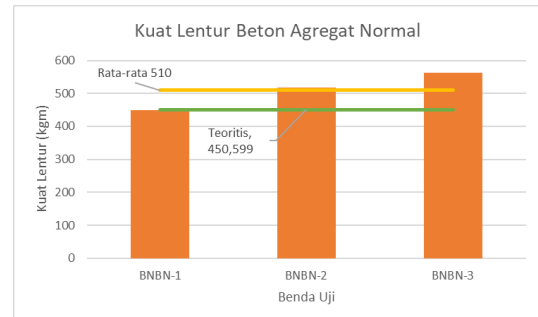
Gambar 15 Beban Maksimum Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang

Setelah nilai beban maksimum balok beton diketahui dapat dicari nilai kuat lentur dari balok beton. Hasil dari perhitungan nilai kuat lentur beton dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 8 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kasar Normal

Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Lentur (Kgm)	Rata-rata (Kgm)
BNBN-1	Normal	2000	450	510
BNBN-2	Normal	2300	517,5	
BNBN-3	Normal	2500	562,5	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

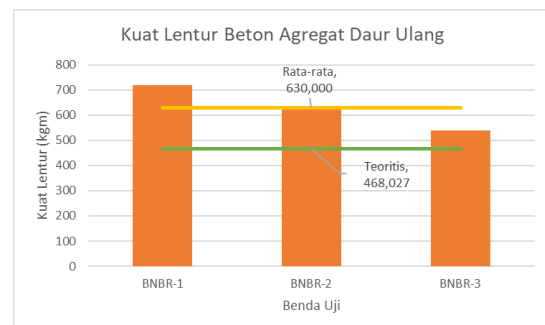


Gambar 16 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kasar Normal

Tabel 9 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang

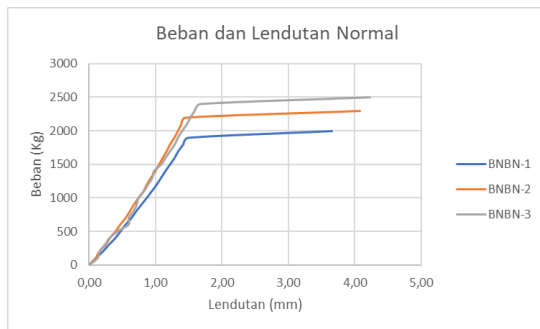
Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Lentur (Kgm)	Rata-rata (Kgm)
BNBR-1	Daur Ulang	3200	720	630
BNBR-2	Daur Ulang	2800	630	
BNBR-3	Daur Ulang	2400	540	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 17 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang

Beban dan Lendutan Balok Beton

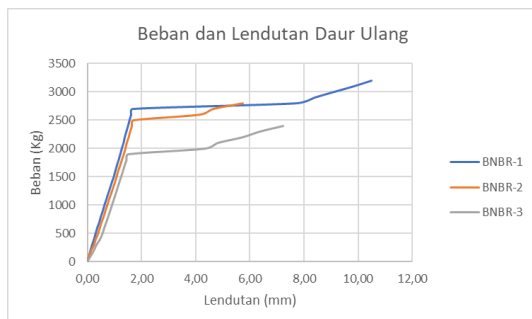


Gambar 18 Beban dan Lendutan Balok Beton Agregat Kasar Normal

Benda uji balok normal bambu *normal aggregate* 3 (BNBN-3) merupakan benda uji dengan beban maksimum yang dapat ditahan tertinggi yaitu sebesar 2500 kg dengan lendutan yang terjadi pada saat beban maksimum sebesar 4,230 mm

Nilai beban maksimum rata-rata yang dapat ditahan pada balok beton dengan agregat kasar normal yaitu sebesar 2266,667 kg dan lendutan rata-rata yang terjadi pada balok beton dengan agregat kasar normal pada saat beban maksimum yaitu sebesar 3,987 mm.

Beban rata-rata pada saat batas elastis maksimum pada balok beton dengan agregat kasar normal sebesar 2166,67 kg dan lendutan rata-rata yang terjadi saat batas elastis maksimum pada balok beton dengan agregat kasar normal sebesar 1,538 mm



Gambar 19 Beban dan Lendutan Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang

Benda uji balok normal bambu *recycled aggregate* 1 (BNBR-1) merupakan benda uji dengan beban maksimum yang dapat ditahan tertinggi yaitu sebesar 3200 kg dengan lendutan yang terjadi pada saat beban maksimum sebesar 10,480 mm.

Nilai beban maksimum rata-rata yang dapat ditahan pada balok beton dengan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 2800 kg dan lendutan rata-rata yang terjadi pada balok beton dengan agregat kasar daur ulang pada saat beban maksimum yaitu sebesar 7,813 mm.

Beban rata-rata pada saat batas elastis maksimum pada balok beton dengan agregat kasar daur ulang sebesar 2366,67 kg dan lendutan rata-rata yang terjadi saat batas elastis maksimum pada balok beton dengan agregat kasar daur ulang sebesar 1,633 mm.

Tabel 10 Lendutan Balok Beton Teoritis dan Pengujian

Agregat Kasar	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Pengujian (mm)
Normal	0,1243	1,538
Daur Ulang	0,1440	1,633

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Nilai lendutan yang didapatkan dari pengujian kuat lentur beton terdapat perbedaan yang cukup besar dengan nilai lendutan yang dihitung secara teoritis.

Pengaruh dari nilai modulus elastisitas beton yang dipakai pada saat perhitungan teoritis cukup besar maka lendutan hasil perhitungan teoritis akan semakin kecil dan juga pemakaian alat yang berbeda saat mencari nilai modulus elastisitas dengan menggunakan ekstensometer sedangkan pengukuran lendutan pengujian menggunakan LVDT

Kekakuan Balok Beton

Tabel 11 Kekakuan Balok Beton

No	Kode Benda Uji	Beban (Kg)	Δ (mm)	Δ Rata-rata (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan Rata-rata (mm)
1	BNBN-1	1500	1,215		12,107	
2	BNBN-2	1500	1,05	1,117	14,010	13,225
3	BNBN-3	1500	1,085		13,558	
4	BNBR-1	1500	0,975		15,087	
5	BNBR-2	1500	1,08	1,100	13,620	13,508
6	BNBR-3	1500	1,245		11,815	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Kekakuan balok beton agregat daur ulang lebih tinggi sedikit yaitu sebesar 13,508 kN/mm dari balok agregat normal yaitu sebesar 13,225 kN/mm. Hal ini disebabkan dari perbedaan sifat fisik dan kimia pada agregat daur ulang yang menyebabkan perbedaan sifat mekanik beton sehingga menyebabkan nilai kekakuan balok beton agregat daur ulang bisa lebih tinggi sedikit.

Pola Retak Balok



Gambar 20 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Normal BNBN-1

Retak pada balok normal bambu *normal aggregate* 1 (BNBN-1) terletak pada jarak sekitar 0,45 m dari tumpuan balok beton sebelah kanan. Terdapat satu pola retak yang terjadi pada balok beton. Lebar retak terbesar dari benda uji balok yaitu sebesar 6 mm.



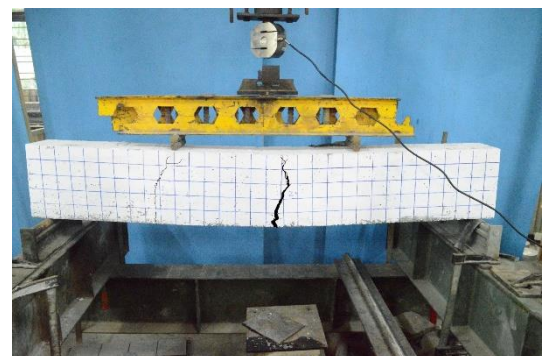
Gambar 21 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Normal BNBN-2

Retak pada balok normal bambu *normal aggregate* 2 (BNBN-2) terletak pada disekitar tengah bentang balok beton . Terdapat satu pola retak yang terjadi pada balok beton. Lebar retak terbesar dari benda uji balok yaitu sebesar 6 mm.



Gambar 22 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Normal BNBN-3

Retak pada balok normal bambu *normal aggregate* 3 (BNBN-3) terletak pada disekitar tengah bentang balok beton . Terdapat satu pola retak yang terjadi pada balok beton. Lebar retak terbesar dari benda uji balok yaitu sebesar 2 mm.



Gambar 23 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang BNBR-1

Retak pada balok normal bambu *recycled aggregate* 1 (BNBR-1) terletak pada disekitar tengah bentang balok beton dan terletak juga pada jarak sekitar 0,45 m dari tumpuan balok beton sebelah kiri. Terdapat dua pola retak yang terjadi pada balok beton. Lebar retak terbesar dari benda uji balok yaitu sebesar 20 mm.



Gambar 24 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang BNBR-2

Retak maupun keruntuhan pada balok normal bambu *recycled aggregate* 2 (BNBR-2) terletak pada disekitar tengah bentang balok beton dan retak juga terletak pada jarak sekitar 0,45 m dari tumpuan balok beton sebelah kanan. Terdapat dua pola retak yang terjadi pada balok beton.



Gambar 25 Pola Retak Balok Beton Agregat Kasar Daur Ulang BNBR-3

Retak pada balok normal bambu *recycled aggregate* 3 (BNBR-3) terletak pada jarak sekitar 0,45 m dari tumpuan balok beton sebelah kanan dan terletak juga pada jarak sekitar 0,45 m dari tumpuan balok beton sebelah kiri. Terdapat dua pola retak yang terjadi pada balok beton. Lebar retak terbesar dari benda uji balok yaitu sebesar 5 mm.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan pada balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar daur ulang sebagai pengganti agregat kasar normal diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban maksimum rata-rata yang dapat ditahan oleh balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 2800 kg sedangkan rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar normal yaitu sebesar 2266,667 kg . Penggunaan agregat kasar daur ulang dari limbah silinder beton dengan mutu K300-K350 sebagai pengganti agregat kasar normal memberikan pengaruh terhadap balok beton normal dengan tulangan bambu pilin.
2. Kuat lentur yang terjadi pada balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar daur ulang memiliki nilai lebih besar jika dibandingkan dengan kuat lentur yang terjadi pada balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar normal. Kuat lentur pada balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 630 kgm sedangkan kuat lentur pada balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar normal yaitu sebesar 510 kgm
3. Keruntuhan yang terjadi pada balok beton betulangan bambu pilin ialah keruntuhan tarik yaitu tulangan leleh terlebih dahulu dan beton belum runtuh . Tulangan bambu pilin bersifat getas sehingga menyebabkan ketika tulangan bambu melewati batas elastis tulangan bambu mengalami kerusakan sehingga tulangan bambu pilin tidak dapat menahan beban setelah melewati batas

elastis. Lendutan pada saat beban maksimum rata-rata sebesar 7,813 mm untuk balok beton normal tulangan bambu pilin penggunaan agregat kasar daur ulang dan 3,987 mm untuk balok beton normal tulangan bambu pilin dengan penggunaan agregat kasar normal.

Saran

Skripsi ini masih belum sempurna sehingga perlu adanya beberapa perbaikan metode saat penelitian sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian dengan variasi penggunaan agregat daur ulang yang lebih banyak sehingga dapat diketahui kadar optimum dari agregat daur ulang tersebut
2. Perlu adanya penelitian dengan variasi penggunaan tulangan bambu yang lebih banyak agar diketahui penggunaan tulangan bambu yang optimal.
3. Perlu adanya penelitian dengan variasi perlakuan khusus tulangan bambu yang lebih banyak agar diketahui perlakuan khusus tulangan bambu yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Nurlina, Siti. (2011). *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media.

Chamidah, L.L.(2017). *Perbandingan Kapasitas Kuat Lentur pada Balok Tulangan Bambu Pilin dengan Kulit dan Tanpa Kulit*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Morisco, (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafri Offset

Iremonger, MJ. (1990). *Dasar Analisis Tegangan*. Jakarta: Universitas Indonesia

Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama

Nanda Kartika,P (2016) *Pengaruh Jarak Kait Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait*,Jurnal Teknik Sipil. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

SK SNI T- 15 – 1990 – 03 : *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*

Dipohusodo, Istimawan. (1996). *Struktur Beton Bertulang* . Malang: Bargie Media.

Wang, Chu-kia.&Salmon, Charles G. (1993). *Disain Beton Bertulang*. University of Wiconsin – Madison : Erlangga

Jahuranto Veronika, Maria (2017) *Uji Tarik dan Pengaruh Variasi Pola Pilinan Bambu terhadap Kuat Lekat Balok Beton*,Jurnal Teknik Sipil. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Standar Nasional Indonesia, (1997). *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*, SNI-03-4431-1997, Badan Standarisasi Nasional, Bandung

Paulay, T.&M.J.N. Priestley. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc

ASTM C.33 – 03, (2002), *Standard Spesification for Concrete Aggregates*, Annual Books of ASTM Satndards, USA

Standar Nasional Indonesia, (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI-03-2834-2000, Badan Standarisasi Nasional, Bandung

Ghavami, K. (2005). *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements*. J. Cement & Concrete Composites, elevier, 27, 637-649.