

INFRASTRUKTUR

KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR TEMPURUNG KELAPA

Flexural Capacity of Reinforced Concrete Beam Using Coarse Aggregate from Coconut Shell

I Wayan Suarnita

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : iwayansuarnita@yahoo.com

ABSTRACT

Beam and plate are dominant element of a reinforced concrete building which experience pressure and flexural moment due to gravity which are live and dead loads. This research aims to find out the value of flexural capacity of reinforced concrete beam using coconut shell as coarse aggregate. The laboratory test results and the theoretical result were compared. In this research, beam of 175 x 350 x 1400 mm were used, the identical push-load used were 2 D 5,6 mm and variation of the number of tensile reinforcement were 4 D 7,8 mm; 5 D 7,8 mm, and 6 D 7,8 mm. Each variation is presented in three samples. Hence, resulting different maximum loads. The result obtained as concrete unit weight, which are 1,773 gr/cm³, push-load strength of 13,59 MPa, average flexural capacity of 95 kN for BL 41 to BL 43 and 115 kN for BL 51 to BL 63. The result of flexural capacity of BL 51 to BL 63 was not fully reached due to incompetency of the testing instrument.

Keywords: flexural capacity, beam, coconut shell concrete

ABSTRAK

Balok dan pelat yang merupakan elemen dari suatu bangunan beton bertulang dominan mengalami tegangan dan momen lentur akibat beban gravitasi (beban mati dan beban hidup). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kapasitas lentur pada balok beton bertulang dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai agregat kasar. Hasil pengujian dibandingkan dengan nilai kapasitas lentur yang diperoleh secara teoritis. Pada penelitian ini menggunakan dimensi balok 175 x 350 x 1400 mm, jumlah tulangan tekan yang sama yaitu 2 D 5,6 mm serta memvariasi jumlah tulangan tarik yaitu 4 D 7,8 mm; 5 D 7,8 mm; dan 6 D 7,8 mm. Masing – masing variasi dibuat 3 benda uji . Sehingga diperoleh nilai beban maksimum yang berbeda – beda. Hasil pengujian yang diperoleh berupa berat isi beton 1,773 gr/cm³, kuat tekan beton 13,59 MPa, kapasitas lentur beton rata – rata 95 kN untuk BL 41 sampai BL 43 serta 115 kN untuk BL 51 sampai BL 63. Hasil kapasitas lentur BL 51 sampai BL 63 tidak tercapai karena kapasitas dan kemampuan alat uji yang tidak memadai.

Kata Kunci : *Kapasitas lentur, balok, beton tempurung kelapa*

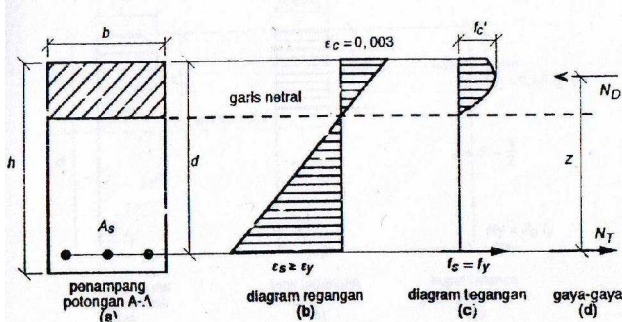
PENDAHULUAN

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan – regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan – tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik di bagian bawah. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut. Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur (balok, pelat, dinding dan sebagainya), sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan

tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan. Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan struktur beton bertulang. Apabila dirancang dan dilaksanakan dengan cara yang seksama struktur beton bertulang dengan susunan bahan seperti tersebut di atas akan memberikan kemampuan yang dapat diandalkan untuk melawan lenturan.

Karena tulangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja di dekat serat terbawah, maka secara teoritis balok disebut sebagai bertulangan baja tarik saja. Harap dicatat bahwa dibagian tekan suatu penampang umumnya juga dipasang perkuatan tulang, akan tetapi dengan pengertian mekanisme yang berbeda. Agar penulangan membentuk suatu kerangka kokoh yang stabil umumnya pada masing – masing sudut komponen perlu dipasang tulangan baja (Dipohusodo, 1996).

Distribusi tegangan beton tekan pada penampang bentuknya setara dengan kurva tegangan – regangan beton tekan. Seperti tampak pada Gambar 1, bentuk distribusi tegangan tersebut berupa garis lengkung dengan nilai nol pada garis netral, dan untuk mutu beton yang berbeda akan lain pula bentuk kurva dan lengkungannya. Tampak bahwa tegangan tekan f_c' yang merupakan tegangan maksimum, posisinya bukan pada serat sisi tepi tekan terluar tetapi agak masuk ke dalam.

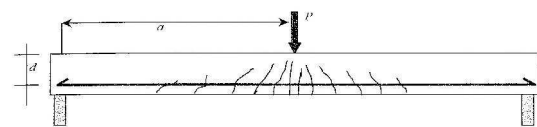


Gambar 1. Balok menahan momen ultimit

Pada suatu kondisi tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton maksimum (ϵ_c maks), mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh f_y . Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan, atau disebut penampang bertulangan seimbang. Dengan demikian berarti bahwa untuk suatu komposisi beton dengan jumlah baja tertentu akan memberikan keadaan hancur tertentu pula.

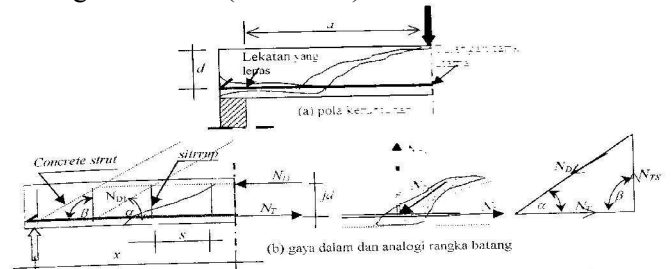
Pada dasarnya balok beton bertulang dapat terjadi tiga ragam keruntuhan (atau kombinasinya), (Nawy, 1998). Yaitu :

1) Keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama gambar di bawah. Retak – retak ini diakibatkan oleh tegangan lentur yang sangat dominan (besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal) dan tegangan geser yang sangat kecil. Apabila bebannya ditambah terus, retak – retak ini akan bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Jika balok tersebut *under reinforced*, maka keruntuhan ini merupakan keruntuhan yang daktail yang ditandai dengan lelehnya tulangan tarik. Perilaku daktail ini memberikan peringatan terlebih dahulu sebelum terjadinya kehancuran total balok beton (*collapse*)



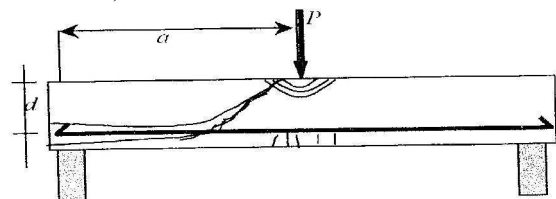
Gambar 2. Keruntuhan lentur (Nawy,1998)

2) Keruntuhan tarik diagonal. Dapat terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatan lenturnya. Retak – retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertical, yang berupa retak halus, dan diakibatkan oleh lentur. Hal ini di ikuti oleh rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Tanpa adanya peringatan sebelum runtuh, dua atau tiga retak diagonal terjadi pada jarak sekitar $1,5 d$ sampai $2,0 d$ dari muka perletakan. Untuk mencapai kestabilan, satu retak diagonal ini melebar ke dalam retak tarik diagonal utama (Gambar 3)



Gambar 3. Mekanisme keruntuhan tarik diagonal (Nawy,1998)

3) Keruntuhan geser dimulai dengan timbulnya retak-lentur-halus-vertical di tengah bentang tetapi retak ini tidak terus menjalar, karena hilangnya lekatan antara tulangan longitudinal dengan beton di sekitarnya pada daerah perletakan. Setelah itu diikuti dengan retak miring, yang lebih curam dari retak diagonal tarik, secara tiba – tiba dan menjalar terus menuju sumbu netral. Kecepatan penjalaran ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas. Pada saat bertemunya retak miring dengan tepi beton yang tertekan, terjadilah keruntuhan secara tiba – tiba (Gambar. 4)



Gambar 4. Keruntuhan geser (Nawy, 1998)

Untuk mencegah agar tidak terjadi keruntuhan tarik diagonal dan keruntuhan geser,

maka balok harus diberi tulangan sengkang (*stirrup*). Secara teoritis, jika tulangan yang diperlukan ada pada balok, maka tidak akan terjadi keruntuhan geser.

Untuk balok yang termasuk dalam kategori langsing akan mengalami keruntuhan lentur apabila nilai perbandingan jarak antar tumpuan ke beban terhadap tinggi efektif balok lebih besar dari 5,5.

METODE PENELITIAN

a. Bahan Penelitian

Bahan utama yang akan digunakan dalam penelitian untuk menghasilkan beton ringan, dengan bahan asal, yaitu: Semen, Air, Agregat Halus dan Agregat ringan (tempurung kelapa).

- 1) Semen : yang akan digunakan adalah semen Portland tipe I yang terdapat di pasaran Kota Palu dan semen Portland tipe I terdapat dalam zak dengan berat masing-masing 50 kg per zak.
- 2) Air : yang akan digunakan adalah air bersih yang memenuhi persyaratan untuk campuran beton, yaitu air yang tersedia di Laboratorium Bahan dan Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu.

- 3) Agregat Halus : yang akan digunakan adalah pasir yang berasal dari Sungai Palu yang mempunyai gradasi yang baik (zona I).
- 4) Agrgegat Kasar : yang akan digunakan adalah Tempurung kelapa yang di ambil langsung dari tempat pengolahan kelapa yang ada di sekitar kota Palu. Tempurung kelapa yang digunakan adalah tempurung kelapa yang bergradasi menerus.

b. Rancangan campuran beton ringan (*Mix Design*).

Rancangan komposisi campuran beton ringan tempurung kelapa dihitung berdasarkan data-data pemeriksaan bahan penyusun beton ringan tempurung kelapa dan spesifikasi yang di inginkan. Setelah data-data pemeriksaan untuk membuat rancangan komposisi campuran beton ringan tempurung kelapa diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan rancangan campuran (*mix design*) dengan menggunakan metode (SNI -03-3449-1994). Data – data kadar semen dan kadar pasir yang digunakan diperoleh dari lampiran yaitu gambar grafik hubungan kuat tekan adukan yang memakai pasir beton dengan susunan campuran adukan. Dalam penelitian ini nilai Faktor Air Semen (FAS) ditetapkan yaitu 0,5. seperti disajikan pada **Tabel 1.** berikut :

Tabel 1. Hasil rancangan campuran beton

Jenis Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Semen (kg)	Pasir (kg)	Tempurung kelapa (kg)	Air (kg)
Balok (140 x 35 x 17,5 cm)	9 buah	364.74	737.54	233.31	227.13
Balok (15 x 15 x 60 cm)	2 buah	12.76	25.80	8.16	7.95
Silinder (D 15 x 30 cm)	5 buah	12.53	25.33	8.01	7.80
Kubus (15 x 15 x 15 cm)	3 buah	4.79	9.68	3.06	2.98
Total	19 buah	394.81	798.35	252.55	245.85

c. Pembuatan Benda Uji

- 1) Pembuatan silinder beton
Pembuatan silinder beton dirancang menurut Standart Pekerjaan umum dan dilaksanakan berdasarkan SNI : 03 – 1974 - 1990. Campurannya diperoleh dari campuran benda uji balok beton yang akan digunakan. Silinder diuji pada umur 28 hari dengan jumlah sampel 3 buah.
- 2) Pembuatan benda uji balok
Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 9 buah, 3 balok dengan jumlah tulangan tarik 4 buah, 3 balok dengan jumlah tulangan tarik 5 buah dan 3 balok dengan jumlah tulangan tarik 6 buah, masing – masing balok diberi tulangan tekan sebanyak 2 buah. Dimensi balok lebar 175 mm, tinggi 350 mm dan panjang

1400 mm. uji lentur digunakan tulangan utama Ø 8 mm dan tulangan sengkang Ø 4 mm.

d. Pengujian Benda Uji

- 1) Pengujian kuat tekan beton.
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton tempurung, yang kemudian digunakan pada analisis pembuatan benda uji. Prosedur uji kuat tekan beton dilaksanakan berdasarkan SNI ; 03 – 1974 – 1990, benda uji diletakkan pada mesin uji, dan mesin uji dijalankan dengan penambahan beban antara 2 – 4 kg/cm² perdetik. Pembebanan sampai benda uji hancur. Kuat tekan beton dihitung berdasarkan besarnya beban persatuan luas. Atau secara matetatis :

$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A_c}$$

(1)

f_c' = Kuat tekan beton, MPa
 P_{maks} = beban maksimum, N
 A_c = luas penampang, mm²

Keterangan :

Tabel 2. Dimensi benda uji

Kode Benda Uji	Panjang mm	Lebar mm	Tinggi mm	Tul. Utama		Tul. Senggang
				Tekan	Tarik	
BL41	1400	175	350	2 Ø 6	4 Ø 8	Ø4 - 100
BL42	1400	175	350	2 Ø 6	4 Ø 8	Ø4 - 100
BL43	1400	175	350	2 Ø 6	4 Ø 8	Ø4 - 100
BL51	1400	175	350	2 Ø 6	5 Ø 8	Ø4 - 100
BL52	1400	175	350	2 Ø 6	5 Ø 8	Ø4 - 100
BL53	1400	175	350	2 Ø 6	5 Ø 8	Ø4 - 100
BL61	1400	175	350	2 Ø 6	6 Ø 8	Ø4 - 100
BL62	1400	175	350	2 Ø 6	6 Ø 8	Ø4 - 100
BL63	1400	175	350	2 Ø 6	6 Ø 8	Ø4 - 100

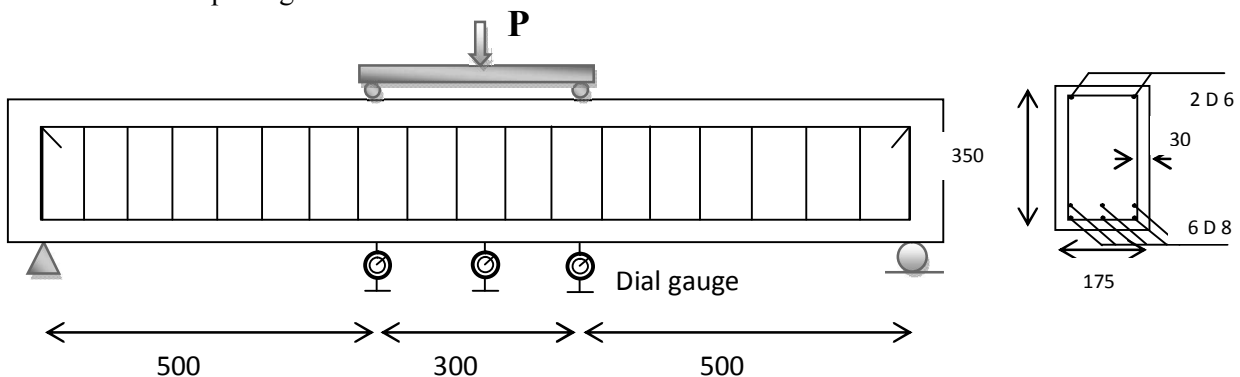
Ket : BL 41 : Balok lentur variasi tarik 4 Ø 8 mm untuk benda uji 1

2) Pengujian benda uji balok beton tempurung
 Pengujian dilakukan pada saat umur benda uji berumur 28 hari. Sebelum benda uji ditempatkan pada alat uji, untuk mengetahui pola retaknya maka terlebih dahulu benda uji dicat dengan cat berwarna putih. Setelah itu benda uji ditempatkan pada tumpuan yang ditumpu oleh sendi – rol pada kedua ujungnya. Kemudian benda uji di set up dan diberikan beban P simetris pada titik – titik sejauh 500 mm dari tumpuan.

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat lentur beton yang mempunyai kapasitas alat 11,5 ton. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan interval kenaikan beban

sebesar 200 kg. Pembebanan akan berhenti jika defleksi yang terjadi sudah cukup besar, dan data yang akan diambil dalam pengujian balok ini meliputi :

- Defleksi selama pembebanan berlangsung yang ditunjukkan oleh dial gauge
- Besarnya beban pada saat terjadi retak
- Besarnya beban maksimum yang mampu dipikul oleh balok,
- Besarnya beban pada saat defleksi maksimum
- Pola retak yang terjadi pada balok beton tempurung akibat pembebanan.



Gambar 5. Seting up pengujian balok beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil pengujian kuat tekan beton ringan tempurung kelapa.

Hasil pengujian kuat tekan beton ringan tempurung kelapa berupa pengujian kuat tekan silinder beton dengan menggunakan komposisi

campuran adukan mortar 1 semen : 2 pasir. Pada pengujian ini dilakukan pula pengujian berat isi beton tempurung kelapa. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan *Compression Test Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton mencapai umur perawatan 21 hari. Hasil-hasil dari pengujian berat isi beton rata – rata dan kuat

tekan rata-rata beton ringan tempurung kelapa di sajikan dalam **Tabel 3.** berikut :

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton ringan tempurung kelapa.

Kode Benda Uji	Berat (gr)	Volume (cm ³)	Berat isi (gr/cm ³)	Berat isi rata - rata (gr/cm ³)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
ST1	9409	5298.75	1.776	1.773	14.9	13.59
ST2	9433	5281.09	1.786		14.3	
ST3	9391	5263.43	1.784		13.11	
ST4	9375	5298.75	1.769		14.01	
ST5	9205	5263.43	1.749		11.62	

Dari **Tabel 3** diperoleh nilai berat isi beton rata – rata 1.773 gr/cm³ dan kuat tekan beton rata – rata 13.59 MPa. Pada saat ditekan benda uji mampu menahan beban sampai terlepasnya ikatan pasta dengan agregat sehingga benda uji mengalami hancur dan retak. Pada saat dilakukannya proses penekanan terhadap sampel selinder beton ringan tempurung kelapa terjadi pengembangan pada sisi-sisi bagian tengah benda uji sesaat sebelum terjadi keretakan. Hal ini disebabkan karena proses kembang susut agregat tempurung kelapa dalam beton ringan, yang dimungkinkan merupakan salah satu penyebab yang mempengaruhi hasil kuat tekan beton ringan tempurung kelapa. Akibat dari proses pengembangan agregat, maka dimensi dari agregat tempurung kelapa bertambah sehingga memungkinkan terjadinya desakan oleh agregat tempurung kelapa dalam campuran pada saat proses pencampuran dan perawatan benda uji yang dibasahi dengan kain basah selama 14 hari. Sebaliknya setelah benda uji diangkat dari proses perawatan selama 14 hari dan didiamkan selama 7 hari sebelum dilakukannya proses penekanan, maka dimungkinkan terjadi susut agregat akibat penguapan air pada beton. Hal ini akan mengakibatkan pengecilan dimensi agregat tempurung kelapa dan memungkinkan tercipta rongga – rongga baru pada ruang yang ditempatinya saat proses kembang dalam beton yaitu pada saat

perawatan beton selama 28 hari. Sehingga pada saat proses penekanan benda uji beton ringan tempurung kelapa cepat mengalami keretakan. Kandungan minyak pada sisi dalam dari agregat tempurung kelapa juga merupakan salah satu kelemahan yang mempengaruhi pengikatan pada campuran beton ringan tempurung kelapa sehingga proses adhesi dari agregat halus, agregat ringan tempurung kelapa, semen dan air tidak terjadi dengan baik.

b. Pengujian Balok Beton Bertulang

1) Kapasitas Lentur Balok

Kapasitas lentur balok beton bertulang dengan kasar tempurung kelapa secara teori dihitung setelah diperoleh data – data aktual seperti kuat tekan beton 13,59 MPa, fy leleh untuk tulangan tarik diameter 7,8 mm 345 MPa, fy leleh untuk tulangan geser diameter 3,8 mm 347 MPa dan dimensi balok. Maka data – data tersebut dianalisis untuk memperoleh nilai kapasitas lentur balok beton bertulang untuk tiap benda uji pada 3 variasi tulangan tarik yaitu 4 D 7,8 mm, 5 D 7,8 mm, 6 D 7,8 mm dan tulangan tekan 2 D 5,6 mm Kemudian hasil perhitungannya ditampilkan dalam bentuk tabel seperti **Tabel 4.**

Tabel 4 . Kapasitas balok hasil analisis

Kapasitas	Nama Balok								
	BL41	BL42	BL43	BL51	BL52	BL53	BL61	BL62	BL63
Mn (kN m)	16,54	16,54	16,8	19,40	20,48	20,52	24,02	23,88	24,09
Vn (kN)	52,97	53,13	53,32	50,16	53,35	52,70	52,30	52,44	52,14
PMn (kN)	52,93	52,95	53,79	62,11	65,54	65,67	76,87	76,41	77,09
PVn (kN)	105,9	106,2	106,6	100,3	106,7	105,4	104,6	104,8	104,2

Dari **Tabel 4** dapat dilihat bahwa semua balok secara teoritis akan mengalami gagal lentur, karena kebutuhan gaya untuk gagal lentur lebih kecil dibandingkan dengan kebutuhan gaya untuk gagal geser.

2) Hasil uji lentur balok beton bertulang **Defleksi yang terjadi pada balok**

Dari hasil pengujian di Laboratorium diperoleh lendutan rata-rata yang terjadi pada balok bervariasi tulangan tarik 4 D 7,8 mm yaitu 2,83

mm, sedangkan untuk lendutan maksimum rata – rata pada saat beban maksimum yaitu 7,97 mm. Untuk variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm dan

tulangan tarik 6 D 7,8 mm dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 . Defleksi hasil pembebanan

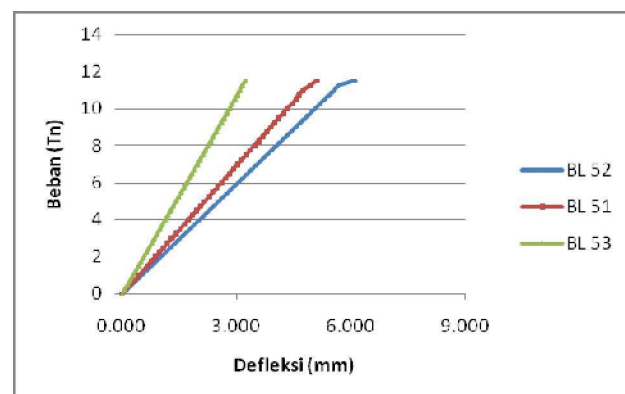
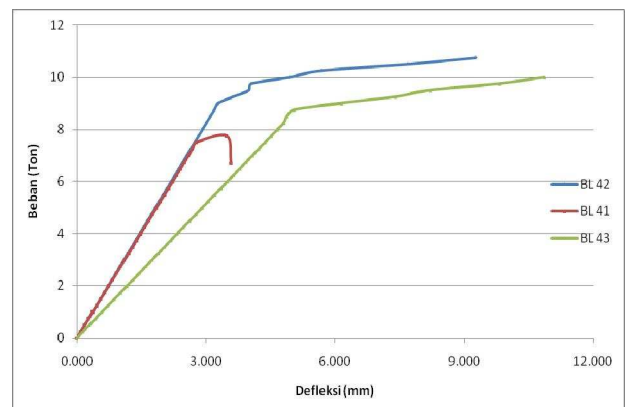
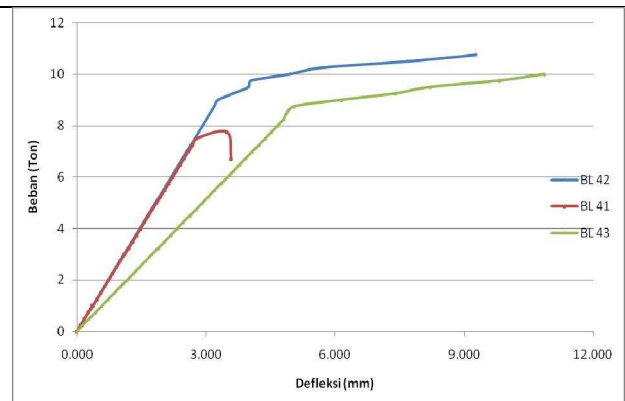
Kode Balok	Lendutan yang terjadi (mm)			
	Retak Pertama	Rata - rata	Maksimum	Rata - rata
BL 41	2		3.4	
BL 42	2.6	2.83	9.5	7.97
BL 43	3.9		11	
BL 51	3.2		5.7	
BL 52	3.4	3.10	6.5	5.23
BL 53	2.7		3.5	
BL 61	3.2		6.2	
BL 62	3.7	2.90	5.6	5.77
BL 63	1.8		5.5	

Dari **Tabel 5** di atas diketahui lendutan rata – rata pada retak pertama yang paling besar terjadi pada balok variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm yaitu 3,1 mm, sedangkan untuk lendutan rata – rata pada beban maksimum yang besar terjadi pada balok variasi tulangan tarik 4 D 7,8 mm yaitu 7,97 mm. Hal ini disebabkan karena rendahnya mutu beton pada balok sehingga pada saat terjadi tegangan leleh tulangan baja beton tidak mampu menahan beban akibatnya terjadi lendutan yang besar.

Beban hasil pengujian di laboratorium

Pada saat pengujian kapasitas lentur pada 3 variasi tulangan tarik, beban yang diberikan yaitu beban statis dengan kenaikan secara bertahap setiap 2,5 kN sampai balok mengalami patah atau mengalami penurunan beban. Untuk masing – masing balok mengalami retak pertama pada posisi beban yang berbeda – beda, demikian pula untuk beban maksimum yang dialami oleh masing – masing balok. Pada **Tabel 6** dapat dilihat kapasitas beban yang dialami balok pada saat pengujian

Dari **Tabel 6** diketahui bahwa balok mengalami retak pertama rata – rata pada beban berkisar antara 65,17 kN untuk balok variasi tulangan tarik 4, 69,17 kN untuk balok variasi tulangan tarik 5 dan 53,33 kN untuk balok variasi tulangan tarik 6. Sedang untuk beban maksimum rata – rata berkisar antara 95 kN sampai 115 kN. Pada balok variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm dan 6 D 7,8 mm mengalami beban maksimum yang sama, hal ini disebabkan karena beban yang mampu diberikan oleh alat pengujian di laboratorium tidak lebih dari 115 kN. Sehingga untuk balok BL 51 sampai BL 63 tidak mencapai beban maksimum dari balok itu sendiri.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

Tabel 6. Kapasitas balok hasil pengujian di Laboratorium

Kode Balok	Beban hasil Pengujian			Rata - rata
	Retak 1 (kN)	Rata - rata	P maks (kN)	
BL 41	60		77.5	
BL 42	68	65.17	107.5	95
BL 43	67.5		100	
BL 51	60		115	
BL 52	57.5	69.17	115	115
BL 53	90		115	
BL 61	52.5		115	
BL 62	65	53.33	115	115
BL 63	42.5		115	

Perbandingan kuat lentur teoritis dengan eksperimen di laboratorium

Analisis teoritis balok persegi bertulangan rangkap mempunyai dua bahan berbeda yang akan menahan gaya tekan, yaitu beton dan tulangan tekan. Gaya tekan total terbagi menjadi dua komponen ialah tekan yang ditahan oleh beton, dan yang ditahan oleh tulangan baja tekan.

Analisis momen tahanan dalam total dari balok diperhitungkan terdiri dari dua bagian atau dua kopel momen dalam, yaitu kopel pasangan beton tekan dengan tulangan baja tarik dan pasangan tulangan baja tekan dengan tulangan baja tarik. Perbandingan antara analisis kapasitas beban eksperimen dengan teoritis dapat dilihat dalam **Tabel 7** berikut :

Tabel 7. Perbandingan antara kapasitas beban secara eksperimen dan teoritis

Benda Uji	P maks			Perbandingan rata - rata
	Pengujian (kN)	Teoritis (kN)	Eks/Teo	
BL 41	77.5	52.93	1.46	
BL 42	107.5	52.95	2.03	1.78
BL 43	100	53.79	1.86	
BL 51	115	62.11	1.85	
BL 52	115	65.54	1.75	1.79
BL 53	115	65.67	1.75	
BL 61	115	76.87	1.50	
BL 62	115	76.41	1.51	1.50
BL 63	115	77.09	1.49	

Dari Tabel 28 dapat dilihat bahwa beban balok hasil pengujian lebih besar dibandingkan dengan beban balok hasil analisis. Hal ini disebabkan karena sifat beton tempurung yang elastis sehingga pada saat di beri beban maksimum oleh alat uji maka balok tidak mengalami patah atau retak hanya berupa rambut – rambut halus .

Pola retak

Retak awal yang terjadi pada balok BL 41 adalah retak lentur yaitu retak halus kecil pada tengah bentang atau pada daerah pembebanan. Seiring dengan penambahan beban retak halus menjalar naik hampir mendekati permukaan balok, bahkan pada saat beban maksimum terjadi. Sehingga semakin besar beban yang diberikan pada balok semakin besar pula lendutan yang terjadi.

Pada balok BL 42 retak awal yang terjadi adalah retak lentur yaitu retak halus kecil pada tengah bentang atau pada daerah pembebanan. Seiring dengan penambahan beban retak halus menjalar naik hampir mendekati permukaan balok kemudian semakin melebar sampai pada saat beban maksimum oleh alat uji diberikan. Semakin bertambah beban semakin besar pula lendutan yang terjadi. Hal ini di alami pula oleh balok BL 43.

Pada balok BL 51 retak awal yang terjadi yaitu retak halus kecil pada tengah bentang atau pada daerah pembebanan. Seiring dengan penambahan beban retak halus menyebar dan menjalar naik hampir mendekati permukaan balok namun tidak terjadi pelebaran retak, bahkan pada saat beban maksimum yang diberikan oleh alat uji terjadi. Dan semakin bertambah beban lendutan pun

semakin besar. Hal ini terjadi pula pada BL 52, BL 53, BL 61, BL 62, BL 63.



Gambar 7. Pola retak yang terjadi pada variasi tulangan tarik 4 D 7,8 mm



Gambar 8. Pola retak yang terjadi pada variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm



Gambar 9. Pola retak yang terjadi pada variasi tulangan tarik 6 D 7,8 mm

KESIMPULAN

a. Kesimpulan

- 1) Kapasitas balok lentur hasil pengujian pada laboratorium untuk balok beton bertulang menggunakan tempurung kelapa dengan variasi tulangan tarik 4 D 7,8 mm yaitu BL 41 = 77,5 kN; BL - 42 = 107,5 kN ; BL - 43 = 100 kN. Sedangkan untuk variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm dan 6 D 7,8 mm mempunyai kapasitas yang sama yaitu 115 kN. Dengan data – data actual :
 - Kuat tekan rata – rata yang diperoleh untuk beton tempurung kelapa yaitu 13,59 MPa, dengan berat isi beton rata – rata yaitu sebesar 1,773 gr/cm³.
 - Nilai perbandingan rata – rata kapasitas lentur balok beton bertulang menggunakan tempurung kelapa dengan variasi tulangan tarik 4 D 7,8 mm antara pengujian di laboratorium dengan perhitungan teoritis adalah 1,78 untuk variasi tulangan tarik 5 D 7,8 mm adalah 1,79 , dan untuk variasi tulangan tarik 6 D 7,8 mm adalah 1,5.
- 2) Pola retak yang terjadi yaitu retak lentur yang berada di tengah bentang balok beton bertulang menggunakan tempurung kelapa, hal ini sesuai dengan analisis secara teoritis.

b. Saran

- 1) Pada penelitian ini peneliti mengatur gradasi agregat kasar sehingga dapat memenuhi spesifikasi gradasi agregat kasar tanpa memperhatikan perlakuan terhadap tempurung kelapa itu sendiri. Untuk itu peneliti menyarankan agar dilakukan penelitian mengenai metode perlakuan terhadap tempurung untuk mendapatkan gradasi tempurung kelapa yang memenuhi spesifikasi agregat kasar normal.
- 2) Pada penelitian ini tidak dapat tercapai beban maksimum yang diharapkan dikarenakan dimensi yang besar dan kapasitas alat uji yang terbatas. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan dimensi yang lebih kecil dari dimensi yang telah digunakan dan memperbanyak benda uji, sehingga diperoleh data yang lebih akurat dengan nilai beban maksimum yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1994, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan (SNI 03 – 3449 – 1994)*, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

- Departemen Pekerjaan Umum, 1990, *Metode Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium (SK SNI M – 62 – 1990 – 03)*, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1994, *Metode Pengujian Berat Isi Beton Ringan Struktural. (SNI 03 – 3402 – 1994)*, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Dipohusodo, I, 1996, *Struktur Beton Bertulang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Nawy, E. G, 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Cetakan II, PT Refika Aditama, Bandung.
- Suarnita, I W, 2004, *Kajian Balok Beton Styrofoam Ringan*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Wang, Chu-Kia and Salmon. C.G, 1985. *Desain Beton Bertulang*, Jilid I, Edisi IV, Erlangga, Jakarta.