

## A COMPARISON OF THE FLEXURE BEHAVIOR OF NORMAL CONCRETE BEAM COMPILED BY GRAVEL AND CRUSHED STONE

### PERBANDINGAN PERILAKU LENTUR ANTARA BALOK YANG MENGGUNAKAN KERIKIL BULAT DAN BATU PECAH PADA BETON NORMAL

Samuel Layang<sup>1)</sup>, Wiratno<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Palangka Raya, Kampus Unpar Tunjung Nyaho, Jl. H. Timang, 73111A

e-mail : sammy\_ptb@gmail.com

#### ABSTRACT

This research purposed for discover figure of concrete beam flexure failure. Its concrete beams researched are composed by coarse grain aggregate of gravel and crushed stone. This research was conducted by 10 (ten) concrete cylinders ( $\varnothing 15$  cm x 30 cm) and 5 (five) concrete beams (60 cm x 15 cm x 15 cm). Normal concrete mix design is calculated by SNI 03-2834-2000 method. The result of this research has showed if average compressive strength of crushed stone concrete is 11.511 MPa and 12.449 MPa for gravel stone concrete. The average beam bending capacity of crushed stone concrete is 1.002 kNm and 1.054 kNm for gravel stone concrete. The crack pattern of all tested beam considered similar. The crack occur was done in the middle of beam, moving by bottom to top which analogous to increasing load to the center of load. The failure of all tested beam are considered as flexure failure.

**Keywords:** gravel stone, crushed stone, flexure failure, crack pattern, bending capacity

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran perilaku keruntuhan lentur dari balok beton yang menggunakan agregat kasar batu bulat dan balok beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah. Penelitian ini menggunakan benda uji silinder ( $\varnothing 15$  cm x 30 cm) sebanyak 10 buah dan balok (60 cm x 15 cm x 15 cm) sebanyak 5 buah. Metode perencanaan beton yang digunakan berdasarkan metode SNI 03-2834-2000 untuk campuran beton normal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton yang menggunakan agregat batu pecah sebesar 11,511 MPa dan beton yang menggunakan agregat batu bulat sebesar 12,449 MPa. Kapasitas lentur rata-rata balok yang menggunakan agregat kasar batu pecah 1,002 kNm dan balok yang menggunakan agregat kasar batu bulat 1,054 kNm. Pola retak yang terjadi untuk semua balok uji memiliki kecenderungan yang sama. Retak terjadi di tengah bentang yang dimulai dari bawah dan terus bergerak ke atas sejalan dengan peningkatan beban menuju ke arah titik beban terpusat. Keruntuhan yang terjadi untuk semua balok uji merupakan keruntuhan lentur.

**Kata Kunci :** Agregat kasar batu bulat, agregat kasar batu pecah, keruntuhan lentur, pola retak, kapasitas lentur.

#### PENDAHULUAN

Agregat kasar merupakan salah satu material penyusun beton. Umumnya agregat kasar yang digunakan untuk beton struktural adalah adalah batu pecah karena daya ikatnya baik (*interlocking*).

Dalam pengamatan di Kota Palangka Raya, banyak ditemui penggunaan balok sloof sebagai balok struktur. Pondasi batu belah tidak digunakan untuk penghematan biaya, tetapi diganti dengan balok sloof yang menggantung di atas tanah.

Adapun agregat kasar yang banyak digunakan untuk balok sloof sebagai material beton adalah agregat kasar batu bulat dengan ukuran rata-rata 2,5 cm – 3 cm. Secara teoritis penggunaan kerikil bulat dihindari karena daya ikat agregat (*interlocking*) yang rendah.

Dari uraian di atas, menarik untuk diteliti sejauh mana batu bulat dapat digunakan sebagai agregat kasar penyusun beton. Komponen struktur yang dapat dibuat dari beton diantaranya pondasi telapak, sloof, kolom, balok dan pelat.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perilaku keruntuhan lentur balok yang menggunakan agregat kasar batu bulat dan agregat kasar batu pecah.
2. Untuk mengetahui perbedaan perilaku keruntuhan lentur antara balok yang menggunakan agregat kasar batu bulat dan balok yang menggunakan agregat kasar batu pecah.
3. Untuk mengetahui pola retak balok yang menggunakan agregat kasar bulat dan agregat kasar batu pecah.

Manfaat yang diharapkan akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui perilaku keruntuhan lentur balok yang menggunakan agregat kasar batu bulat dan agregat kasar batu pecah.
2. Dapat mengetahui pola retak yang terjadi pada balok yang menggunakan agregat kasar batu bulat dan agregat kasar batu pecah.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk dapat digunakan di lapangan khususnya pada penerapan sloof yang menggantung tanpa pondasi menerus. Selain itu dapat menambah perbendaharaan kepustakaan dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

### TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan batuan buatan yang tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan air dengan perbandingan tertentu. Dalam SNI 03 -2847 - 2002 (*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*), disebutkan bahwa beton adalah campuran antara semen portland (PC) atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Material utama pembentuk beton adalah semen, agregat halus, agregat kasar dan air

Mutu beton (kuat tekan) dipengaruhi oleh:

- a. Faktor air semen (*water cement ratio w/c*)  
Faktor air semen menunjukkan banyaknya jumlah air yang habis bereaksi dengan semen. Nilai  $f_{as}$  yang terlalu kecil atau besar akan mengurangi mutu beton.
- b. Sifat dan jenis agregat yang digunakan  
Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan maka semakin tinggi pula mutu beton yang diperoleh.
- c. Jenis campuran

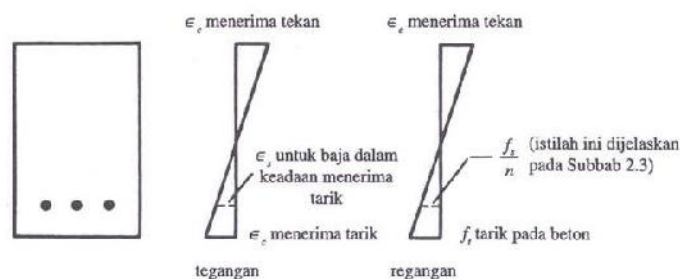
Jenis campuran mengggarkan proporsi material beton, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar dan air yang diperoleh dari mix design berdasarkan pada sifat-sifat fisik agregat.

- d. Kelecekan (*workability*)  
Kelecekan menunjukkan tingkat keenceran beton yang diukur dengan menggunakan alat uji slump. Nilai slump yang kecil berarti jumlah airnya sedikit, sedangkan jika nilai terlalu besar berarti jumlah airnya banyak.
- e. Perawatan (*curing*)  
Perawatan beton bertujuan agar proses pengering beton berlangsung merata, sehingga tidak akan menyebabkan terjadinya retak. Perawatan dapat dilakukan dengan merendam beton dalam air, menyiram, menutup dengan kain basah.

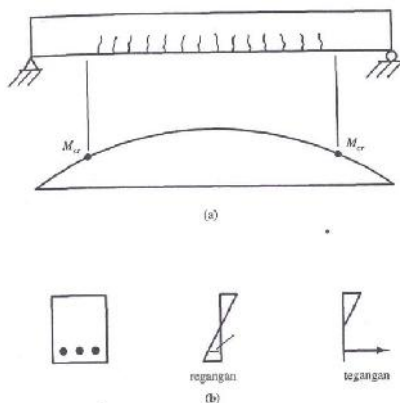
Beton kuat dalam menahan gaya tekan, tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu diberikan tulangan pada daerah tarik untuk menjamin agar struktur tidak mengalami keruntuhan.

Sebuah balok beton dengan beban melintang dengan tulangan tarik akan mengalami tiga tahap yang berbeda sebelum keruntuhan terjadi (Jack C. McCormac, 2000), yaitu:

- a. Tahap beton tanpa retak  
Pada tahap ini, tingkat pembebanan masih kecil sehingga tegangan tarik masih lebih rendah daripada modulus keruntuhan.
- b. Tahap beton mulai retak  
Apabila beban terus ditingkatkan melampaui modulus keruntuhan balok, retak mulai terjadi di bagian bawah balok.
- c. Tahap keruntuhan balok  
Jika beban terus bertambah sampai tegangan tekannya lebih besar daripada setengah  $f'_c$ , retak tarik akan merambat lebih ke atas.

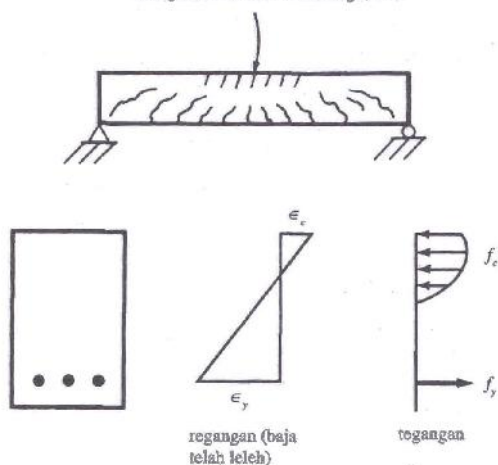


Gambar 1. Tahap beton tanpa retak  
(Jack C. McCormac : 40)

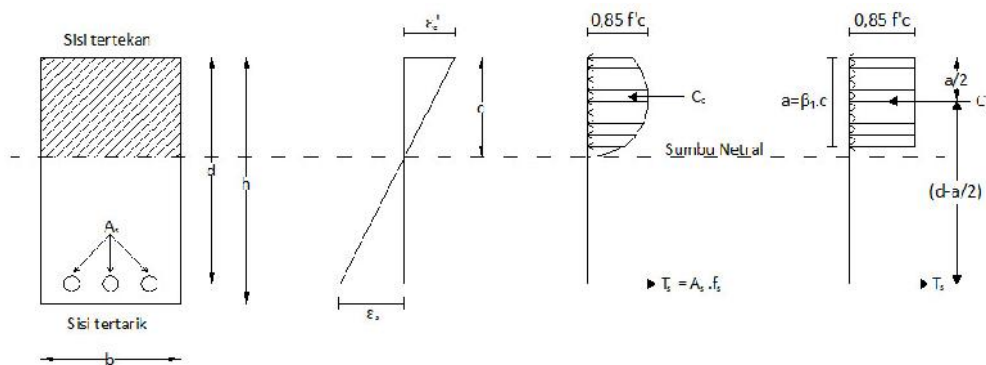


Gambar 2. Tahap beton mulai retak (Jack C. McCormac : 41)

Ketika keruntuhan terjadi, beton mengalami kehancuran di bagian ini



Gambar 3. Tahap tegangan ultimit (Jack C. McCormac : 42)



Gambar 4. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok (Nawi: 83)

Perilaku momen yang terjadi pada balok bertulangan tunggal dapat dilihat pada gambar 4.

Agar keseimbangan gayahorizontalterpenuhi, gayatekan (*C/compression*) pada beton dan gayatarik (*T / tension*) pada tulangan haruslah sama.

Momen lentur balok bertulangan tunggal dapat diperoleh dari hubungan distribusi tegangan dan regangan, yang hasilnya adalah:

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d - \frac{a}{2} \quad (1)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot d - \frac{a}{2} \quad (2)$$

Kelangsingan balok menentukan ragam keruntuhan. Terdapat tiga macam keruntuhan, yaitu:

a. Keruntuhan lentur

Pada keruntuhan ini perbandingan antara bentang geser (*a*) dan tinggi efektif penampang (*d*) harus lebih besar dari 5,5 untuk beban terpusat dan lebih dari 15 untuk beban merata.

b. Keruntuhan tarik diagonal

Perbandingan antara bentang geser dan tinggi efektif penampang bervariasi antara 2,5 – 5,5 untuk beban terpusat dan berkisar antara 11 – 16 untuk beban merata.

c. Keruntuhan tekan geser

Perbandingan antara bentang geser dan tinggi efektif penampang sebesar 1,5 untuk beban terpusat dan kurang dari 5 untuk beban merata.

#### METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, mutu beton ( $f'c$ ) direncanakan sebesar 17,5 MPa baik untuk beton yang menggunakan agregat kasar batu bulat maupun beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah.

Pengujian terbatas pada sifat-sifat fisik yaitu pemeriksaan gradasi agregat, kadar air, berat jenis, penyerapan (*absorpsi*), berat isi. Besi tulangan yang digunakan mempunyai diameter 6 mm dan tidak dilakukan pengujian tarik. Nilai mutu baja digunakan sebesar 400 MPa.

Metode perencanaan beton yang digunakan berdasarkan metode SNI (SNI 03-2834-2000) untuk campuran beton normal. Hasil aktual kuat tekan beton diperoleh dari pengujian silinder ukuran 15x30 cm yang akan diuji pada umur 14 hari.

Benda uji terdiri dari silinder beton ( $\varnothing 15 \times 30$ ) cm sebanyak 10 buah dan balok ( $60 \times 15 \times 15$ ) cm sebanyak 5 buah (tabel 2). Pengujian silinder dan balok menggunakan alat *Universal Testing Material* (UTM).

Data yang diperoleh dari pengujian silinder beton merupakan beban maksimum yang menyebabkan kehancuran silinder beton. Dari pengujian balok diperoleh data beban yang menyebabkan retak awal, beban ultimit dan pola retak yang terjadi pada balok uji.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

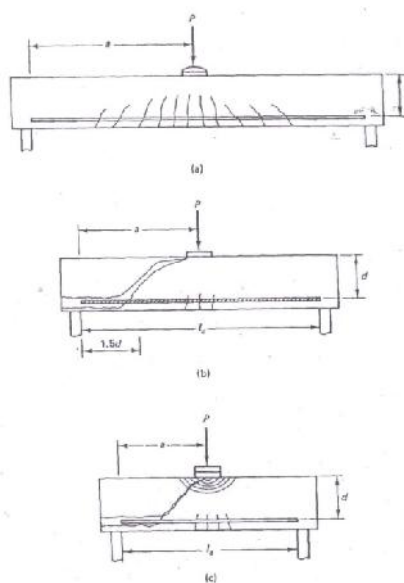
Pengujian material beton hanya dilakukan terhadap agregat kasar (batu bulat dan batu pecah) dan agregat halus (pasir). Untuk sifat-sifat air dan semen tidak dilakukan pengujian. Air yang digunakan adalah air tanah yang layak digunakan sebagai air minum. Semen yang digunakan adalah semen gresik tipe I (untuk penggunaan umum)

Dari hasil pemeriksaan sifat agregat diperoleh hasil seperti pada tabel 3. Berdasarkan hasil perencanaan campuran (*mix design*), diperoleh perbandingan campuran 1 : 0,57 : 2,15 : 2,74 (semen : air : pasir : kerikil) untuk beton yang menggunakan agregat batu pecah dan untuk beton yang menggunakan batu bulat dengan perbandingan 1 : 0,6 : 2,17 : 2,99

Tabel 1. Pengaruh kelangsingan balok terhadap ragam keruntuhan

Kategori Balok	Ragam Keruntuhan	Perbandingan bentang geser dan tinggi balok	
		Beban terpusat $a/d$	Beban terdistribusi $l_c/d$
Langsing	Lentur (F)	> 5,5	> 16
Sedang	Tarik diagonal (DT)	2,5 – 5,5	11 – 16
Tinggi	Tekan geser (SC)	1 – 2,5	1 - 5

(Nawy : 155)



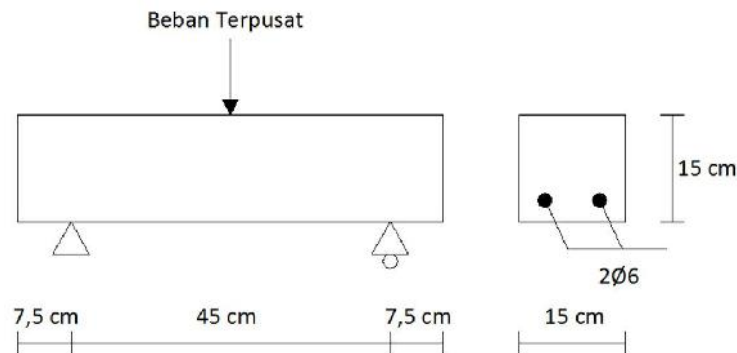
Gambar 5. Ragam keruntuhan

(a). Keruntuhan lentur; (b). Keruntuhan tarik diagonal; (c). keruntuhan geser tarik (Nawy : 154)

Tabel 2. Spesifikasi Benda Uji

Jenis Benda Uji	Dimensi	Jumlah	Umur Pengujian
Silinder	Ø15 cm x 30 cm	5 bh	14 hari
Silinder	Ø15 cm x 30 cm	5 bh	14 hari
Balok BP	(15x15x60) cm	2 bh	14 hari
Balok BB	(15x15x60) cm	3 bh	14 hari

BP : Batu Pecah, BB : Batu Bulat



Gambar 6. Skema pengujian balok

Tabel 3. Karakteristik agregat

Parameter	Pasir	Agregat Kasar Batu	
		Bulat	Pecah
Modulus kehalusan	2,295	7,530	7,571
Kadar air (%)	9,026	0,226	0,321
Penyerapan (%)	1,658	1,461	1,712

Tabel 4. Perbandingan nilai kuat tekan

Parameter		Beton Agregat Kasar Batu Pecah	Beton Agregat Kasar Batu Bulat
Rencana	MPa	17,5	17,5
Hasil Uji	MPa	11,511	12,449
Selisih	(%)	34,22	28,86

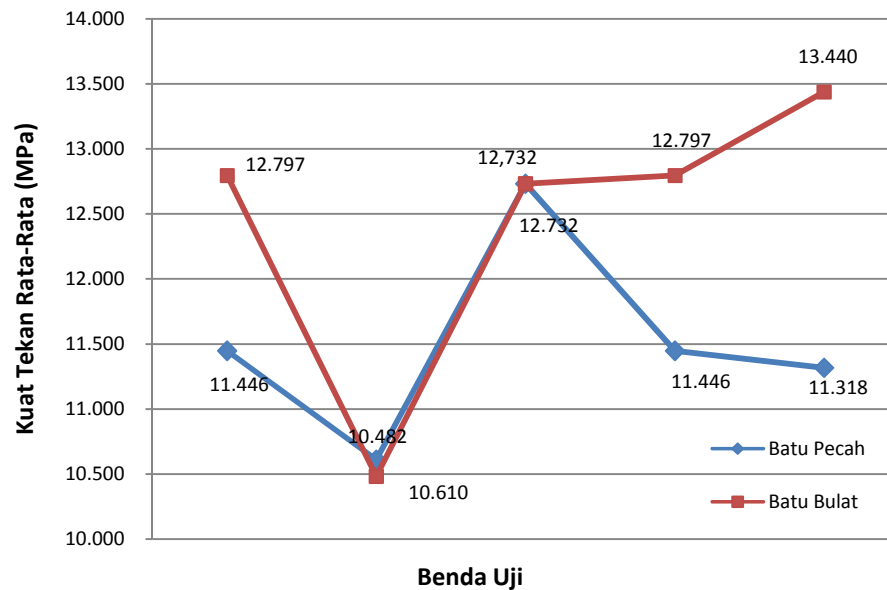
Tabel 5. Karakteristik beton yang menggunakan agregat batu pecah dan batu bulat

Karakteristik		Beton Agregat Kasar Batu Pecah	Beton Agregat Kasar Batu Bulat
$f'_c$ rata-rata	MPa	11,511	12,449
Standar deviasi	MPa	0,766	1,137
Berat isi	kg/m <sup>3</sup>	2460	2064
$f'_c$ karakteristik	MPa	10,254	10,584

Dari tabel 4. terlihat bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton yang menggunakan agregat batu bulat lebih besar dibanding dengan dengan beton yang menggunakan agregat batu pecah (selisih 8,156 %). Meskipun agregat kasar yang digunakan adalah batu bulat tetapi memberikan nilai kuat tekan yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena gradasi butiran agregat batu bulat terdistribusi dengan baik antara yang berukuran besar dan kecil, sehingga saling mengisi satu dengan lainnya yang berdampak pada gaya ikat (*interlocking*) lebih baik. Adanya perbedaan antara kuat tekan rencana dan

kuat tekan aktual pada penelitian ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Jenis agregat halus  
Berdasarkan hasil analisa saringan diperoleh nilai modulus kehalusan pasir sebesar 2,295. Syarat modulus kehalusan untuk agregat halus 2,3 – 3,1
2. Umur pengujian  
Dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) digunakan umur rencana 28 hari, sedangkan pengujian benda uji dilakukan pada umur 14 hari. Meskipun secara teori hal ini dapat diatasi dengan menggunakan tabel konversi umur beton tetapi sebaiknya tetap dilakukan



Gambar 7. Grafik kuat tekan rata-rata

Tabel 6. Beban yang menyebabkan retak awal

Kode	Retak Awal (kN)
BP-1	8,5
BP-2	7,9
BB-1	8,3
BB-2	9,7
BB-3	8,9

pengujian sesuai dengan umur rencana beton. Jika memperhatikan tabel konversi umur beton di bagian lampiran terlihat bahwa dari umur 14 hari ke umur 28 hari tidak terlalu berbeda jauh yang mana untuk umur 14 hari nilai konversinya 0,88 mendekati 1 (untuk umur 28 hari).

### 3. Perawatan benda uji (*curing*)

Benda uji silinder yang dibuat tidak direndam dalam air tetapi hanya dilakukan perawatan dengan menyiramkan air setiap harinya. Hal ini akan menyebabkan proses pengeringan yang tidak merata. Bagian luar akan lebih cepat mengering dibandingkan bagian dalam. Secara teori hal ini akan menyebabkan terjadinya retak rambut (yang tidak terlihat oleh mata) yang pada akhirnya akan mengurangi mutu beton. Untuk mengatasinya, benda uji harus direndam dalam air atau ditutup dengan kain basah sehingga proses pengeringannya merata.

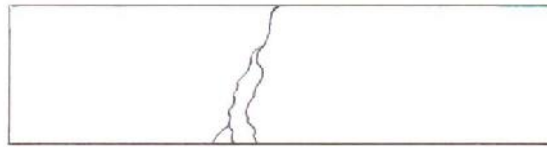
Pengujian terhadap balok menggunakan standar pengujian untuk kuat lentur yang dibebani terpusat langsung. Balok beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah sebanyak 2 buah dan balok beton yang menggunakan agregat kasar batu bulat sebanyak 3 buah.

Beban diberikan secara terpusat di tengah bentang yang memiliki jarak bentang bersih 45 cm sehingga masing masing tumpuan akan menerima setengah dari beban yang diberikan. Pengamatan dilakukan terhadap beban yang menyebabkan terjadinya retak awal sampai balok mengalami keruntuhan (*failure*) yang ditandai dengan penurunan angka pada layar monitor (pembacaan alat secara digital).

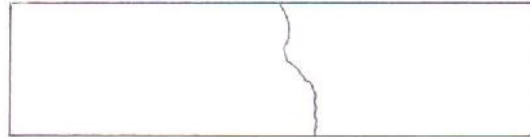
Retak terjadi sebagai akibat dari adanya peningkatan dalam pemberian beban pada balok. Pada awal pembebanan belum terjadi retak, sejalan dengan pemberian beban yang semakin besar retak mulai terjadi. Diawali dengan retak rambut sampai sampai retak yang besar.

Pada penelitian ini hanya diamati besarnya beban yang menyebabkan retak awal pada masing-masing balok yang diperlihatkan pada tabel 6.

Semua balok (BP dan BB) hanya mengalami retak pada bagian tengah dan tidak ada retak yang menyebar ke sisi kanan dan kiri. Hal ini disebabkan karena benda uji relatif pendek (panjang 60 cm) dengan jarak antara tumpuan sebesar 45 cm. Selain itu beton belum mencapai kekuatan penuh pada umur 28 hari (pengujian dilakukan pada umur 14 hari).



a. Sisi Depan

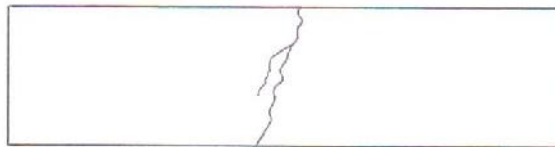


b. Sisi Belakang

Gambar 8. Pola retak BP-1

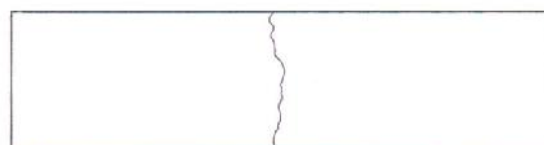


a. Sisi Depan

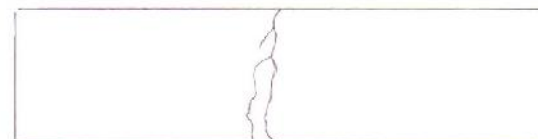


b. Sisi Belakang

Gambar 9. Pola retak BP-2

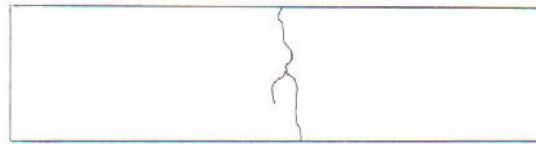


a. Sisi Depan



b. Sisi Belakang

Gambar 10. Pola retak BB-1

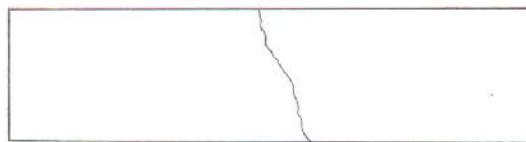


a. Sisi Depan

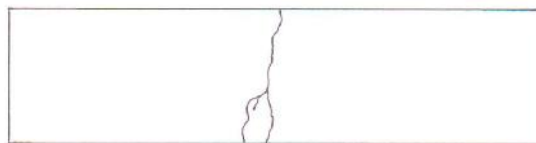


b. Sisi Belakang

Gambar 11. Pola retak BB-2



a. Sisi Depan



b. Sisi Belakang

Gambar 12. Pola retak BB-3

Apabila benda uji dibuat lebih besar dengan perbandingan  $a/d > 5,5$  dan umur pengujian 28 hari akan terlihat retak-retak yang menyebar dari tengah bentang ke arah samping. Dari pola retak yang terlihat pada gambar 5.2 – 5.6 memberikan garis atau alur patah yang dialami oleh balok.

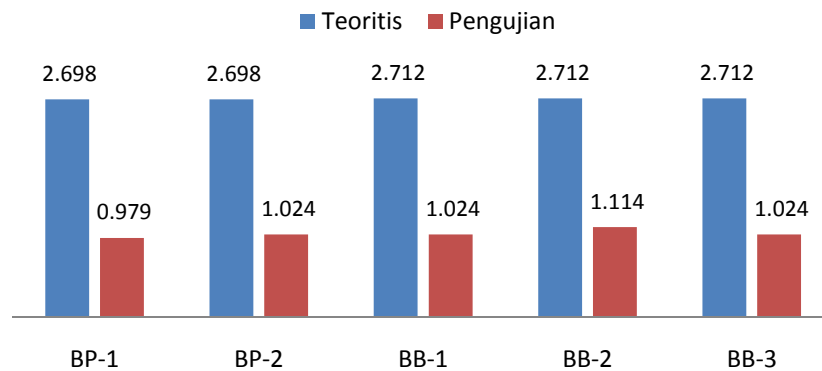
Dari tabel 7 terlihat bahwa kapasitas lentur ( $M_n$ ) teoritis balok yang menggunakan agregat batu bulat (BB-1, BB-2 dan BB-3) lebih besar dari balok yang menggunakan agregat batu pecah (BP-1 dan BP-2). Pada gambar 13 ditunjukkan dalam bentuk grafik perbandingan momen lentur teoritis dan hasil pengujian.

Terdapat selisih antara momen nominal yang dihitung secara teoritis dan hasil pengujian. Jika dihitung secara rata-rata, perbedaannya sekitar 61%. Hal ini dimungkinkan karena pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Dalam perencanaan biasanya beban luar yang bekerja diperbesar (dikalikan dengan faktor beban) dan kemampuan struktur dikurangi (dengan faktor reduksi) untuk mengatasi ketidakpastian dalam proses pembuatan beton, perawatan dan pengujian. Sehingga selisih momen tahanan antara teoritis dan kondisi riil dapat dikurangi.

Tabel 7. Kapasitas lentur balok uji

Kode	Pmaks (kN)	Kapasitas Lentur (kN.m)		Selisih (%)
		Teoritis	Pengujian	
BP-1	8,5	2,698	0,979	63,712
BP-2	8,9	2,698	1,024	62,044
BB-1	8,9	2,712	1,024	62,240
BB-2	9,7	2,712	1,114	58,921
BB-3	8,9	2,712	1,024	62,240





Gambar 13. Perbandingan momen lentur teoritis dan hasil pengujian

Model keruntuhan pada balok akan mudah ditentukan dari retak yang terjadi. Berdasarkan pola retak yang terjadi baik untuk balok yang menggunakan agregat kasar batu pecah maupun batu bulat terlihat bahwa keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur.

Secara teori keruntuhan lentur untuk balok yang menerima beban terpusat terjadi jika  $a/d > 5,5$  sedangkan untuk balok uji nilai  $a/d$  adalah 1,77. Hal ini dapat terjadi karena pengujian beton dilakukan pada umur 14 hari. Selain itu kecepatan dalam pemberian beban yang cepat atau tidak konstan dapat mempengaruhi jenis keruntuhan.

Alat uji yang digunakan adalah Universal Testing Material yang bersifat digital sehingga besarnya beban yang diberikan tidak dapat dikontrol karena bebannya bergerak terus. Hal ini berarti bahwa nilai yang terbaca dengan mudah adalah nilai beban maksimum pada saat balok mengalami keruntuhan. Untuk dapat mengatur beban yang diberikan pada balok lebih mudah menggunakan alat uji lentur dengan pemberian beban secara manual.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

- Hasil pengujian silinder beton menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah (11,511 MPa) lebih kecil daripada beton yang menggunakan agregat kasar batu bulat (12,449 MPa).
- Mutu beton yang diperoleh dari pengujian silinder beton lebih rendah dari mutu beton yang direncanakan. Salah satu penyebabnya adalah bahwa pengujian benda uji dilakukan pada umur 14 hari sedangkan kuat tekan rencana pada umur 28 hari.
- Pola retak yang terjadi pada balok yang menggunakan agregat batu pecah relatif sama dengan balok yang menggunakan agregat batu bulat. Retak terjadi di tengah bentang yang dimulai dari bawah dan terus bergerak ke atas sejalan dengan peningkatan beban menuju ke arah titik beban terpusat.
- Momen lentur hasil pengujian lebih kecil dari momen lentur hasil perhitungan teoritis, berlaku untuk semua balok uji. Momen lentur hasil pengujian untuk BP-1

sebesar 0,979 kNm, BP-2 sebesar 1,024 kNm, BB-1 sebesar 1,024 kNm, BB-2 sebesar 1,114 kNm, BB-3 sebesar 1,024 kNm.

- Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa tidak ada perbedaan perilaku antara balok beton yang menggunakan agregat batu pecah dan balok beton yang menggunakan agregat batu bulat baik dari jenis keruntuhan maupun dari pola retak yang terjadi.

### Saran

- Perlu dilakukan penelitian untuk balok uji yang lebih besar, sehingga hasilnya akan lebih akurat.
- Pengujian sebaiknya dilakukan berdasarkan umur rencana yang sesuai dengan perencanaan campuran (*mix design*).
- Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian lebih diperhatikan, mulai dari pembuatan benda uji sampai dengan tahap pengujian. Selain itu pemilihan alat uji disesuaikan dengan hasil yang diinginkan. Untuk pengujian balok sebaiknya digunakan alat uji manual agar data-data yang diperoleh akan lebih banyak sehingga akan memudahkan dalam proses analisa data. Pengaturan kecepatan pembebanan mutlak diperlukan agar data-data pada setiap interval beban akan mudah terbaca.
- Agar hasil penelitian beton yang menggunakan agregat batu bulat dapat digunakan sebagai salah satu unsur beton struktural, maka perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam misalnya tahanan terhadap geser dan pengaruh beban terhadap lendutan.

### DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. ACI 211.1-91 (Reapproved 1997), *Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- Aryati. Riza, Mirani. Zulfira, 2008, *Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Modifikasi Alat Uji Tekan*, Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa Volume 3, No. 2 Maret 2008.

- Asroni Ali, 2010, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-4154-1996, *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebeani Terpusat Langsung*.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Irianti. Laksi, 2009, *Tinjauan Kuat Geser dan Kuat Lentur Balok Beton Abu Ketel Mutu Tinggi dengan Tambahan Accelerator*, REKAYASA, Jurnal Sipil dan Perencanaan Vol. 13 NO. 1 Agustus 2009.
- Jack C. McCormac, 2000, *Desain Beton Bertulang Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Layang. Samuel, 2006, *Perbandingan Perilaku Keruntuhan Antara Balok Beton Ringan (Batu Apung) Menggunakan Abu Terbang dengan Balok Beton Normal Menggunakan Abu Terbang*, Tesis.
- Nawy E. G., 1989, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Diterjemahkan Oleh : Bambang Suryoadmono B., PT. Refika Aditama, Bandung.
- Neville. A.M, 1991, *Properties of Concrete*. Third Edition, Longman Singapore Publishers Pte Ltd.
- Park. R., Paulay.T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, Wiley, New York.
- Tim Penyusun, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung : SNI 03 - 2847 - 2002*, ITS Press, Surabaya.