

**ANALISIS KUAT LENTUR STRUKTUR BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN LUBANG HOLLOW CORE PADA TENGAH  
PENAMPANG BALOK**

**NASKAH PUBLIKASI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**MUHAMAD HILMAN PERMANA  
NIM. 115060107111003**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

# ANALISIS KUAT LENTRUK STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN LUBANG HOLLOW CORE PADA TENGAH PENAMPANG BALOK

Muhamad Hilman Permana, Sri Murni Dewi, Eva Arifi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur – Indonesia

Email: [mhpermana@yahoo.com](mailto:mhpermana@yahoo.com)

## ABSTRAK

Beton adalah material penyusun suatu struktur. Penggunaan beton di Indonesia pertama kali pada abad ke-7. Benteng Indrapatra milik kerajaan Lamuri adalah infrastruktur pertama yang menggunakan beton. Dalam penggunaannya, beton digabung dengan baja tulangan untuk menahan gaya tarik yang terjadi. Beton bertulang dapat digunakan untuk segala macam struktur bangunan, seperti balok, kolom, pelat, dan pondasi. Dalam penggunaannya dilapangan, berat beton yang telah mengeras dapat mencapai  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Berat bangunan ini mempengaruhi penggunaan pondasi yang akan digunakan. Semakin berat sebuah bangunan, maka kekuatan dukung tanah juga harus semakin besar untuk menahan berat bangunan tersebut.

Dalam penelitian ini, akan diuji penggunaan struktur beton ringan dengan membuat lubang *hollow core* di dalam balok. Pengujian difokuskan pada struktur balok. Dalam pengujian ini, digunakan benda uji balok beton penampang persegi dengan tiga buah lubang persegi dengan arah memanjang balok di tengah struktur balok beton. Lubang ini diisi oleh *styrofoam*, diletakkan dibawah garis netral penampang, tepatnya pada bagian tarik. Dengan asumsi, penggunaan beton pada bagian tarik kurang efisien dan penggunaan bahan beton pada bagian tarik hanya untuk mendistribusikan gaya yang diterima oleh struktur balok tersebut.

Hasil dari penelitian menunjukkan berat volume beton dengan lubang ukuran  $5 \times 10 \times 60$  cm mengalami pengurangan sebesar 13.9%, sedangkan balok dengan lubang ukuran  $7 \times 10 \times 60$  cm dan  $9 \times 10 \times 60$  cm berturut – turut mengalami penurunan sebesar 15% dan 18.9%. Kuat lentur balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* tidak mengalami penurunan dikarenakan lubang *hollow core* ditempatkan pada daerah tarik balok. Daerah tarik balok ditahan oleh baja tulangan, sehingga jika lubang *hollow core* ditempatkan pada daerah ini, tidak berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Nilai kuat lentur balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* sebesar 2287.5 kgm, 2100 kgm dan 2167.5 kgm, berturut – turut untuk balok dengan lubang *hollow core* ukuran  $5 \times 10 \times 60$  cm,  $7 \times 10 \times 60$  cm dan  $9 \times 10 \times 60$  cm.

**Kata kunci:** balok beton, lubang *hollow core*, kuat lentur, berat volume

## ABSTRACT

Concrete is a constituent material of a structure. The use of concrete in Indonesia for the first time was in the 7th century. Indrapatra fortress belonging to the Lamuri Kingdom is the first that use concrete infrastructure. In the structure concrete is combined with reinforcing steel to withstand tensile force. Reinforced concrete can be used for all kinds of structures, such as beams, columns, plates, and foundation. The density hardened concrete can reach  $2400 \text{ Kg / m}^3$ . The heavier building needs greater bearing capacity of foundation to withstand the weight of the building.

In this study, the use of lightweight concrete structure hollow core hole in the beams that called hollow core is tested. In this test, three square holes in longitudinal direction was set at the middle of a concrete beam structure. This hole was filled by styrofoam, placed below the neutral line of cross-section, precisely in the tensile area with assuming that the use of concrete in the tensile was less efficient. The use of concrete materials in this area was only to distribute the tensile force that received by the beam structure.

Results from the study showed that the density of concrete with a hollow core size of  $5 \times 10 \times 60 \text{ cm}$  decreased by 13.9%, while the beam with a hollow core size of  $7 \times 10 \times 60 \text{ cm}$  and  $9 \times 10 \times 60 \text{ cm}$  has decreased by 15% and 18.9% respectively, flexural strength of reinforced concrete beams with hollow core did not decrease due to the hollow core existence, because the hollow core was placed on the tensile area. The tensile area of hollow core was retained by the reinforcing steel, therefore, it did not affect the flexural strength of the beam. The value of flexural strength reinforced concrete beams with holes hollow core of 2287.5 kgm, 2100 kgm and 2167.5 kgm, respectively to beam with a hollow core size of  $5 \times 10 \times 60 \text{ cm}$ ,  $7 \times 10 \times 60 \text{ cm}$  and  $9 \times 10 \times 60 \text{ cm}$ . The flexural strength of the hollow core beam was not significant to the decrease of its density.

Keywords: concrete beams, hollow core, flexural strength, density

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Beton adalah material penyusun suatu struktur. Penggunaan beton di Indonesia pertama kali pada abad ke-7. Benteng Indrapatna milik kerajaan Lamuri adalah infrastruktur pertama yang menggunakan beton. Dalam penggunaannya, beton digabung dengan baja tulangan untuk menahan gaya tarik yang terjadi. Beton bertulang dapat digunakan untuk segala macam struktur bangunan, seperti balok, kolom, pelat, dan pondasi. Dalam penggunaannya dilapangan, berat beton yang telah mengeras dapat mencapai 2400 kg/m<sup>3</sup>. Berat bangunan ini mempengaruhi penggunaan pondasi yang akan digunakan. Semakin berat sebuah bangunan, maka kekuatan dukung tanah juga harus semakin besar untuk menahan berat bangunan tersebut.

Dilihat dari hal ini, pengaruh berat bangunan sangat besar. Terutama dalam perencanaan biaya dan beban gempa yang ditahan oleh bangunan. Oleh karena itu, untuk mengefisienkan berat bangunan, dapat dilakukan dengan mengurangi penggunaan volume beton pada beberapa struktur, agar berat struktur bangunan tersebut berkurang. Akan tetapi, dengan mengurangi volume beton, kemungkinan kekuatan struktur tersebut berkurang.

### Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini, akan diuji penggunaan struktur beton ringan dengan membuat lubang *hollow core* di dalam balok. Pengujian difokuskan pada struktur balok. Dalam pengujian ini, digunakan benda uji balok beton penampang persegi dengan tiga buah lubang persegi dengan arah memanjang balok di tengah struktur balok beton. Lubang ini diisi oleh *styrofoam*, diletakkan dibawah garis netral penampang, tepatnya pada bagian tarik. Hal ini dilakukan dengan asumsi, penggunaan beton pada bagian tarik kurang efisien dan penggunaan bahan beton pada bagian tarik hanya untuk

mendistribusikan gaya yang diterima oleh struktur balok tersebut.

- Bagaimana perbandingan berat volume pada balok dengan lubang *hollow core* terhadap balok normal.
- Bagaimana perbandingan kuat lentur pada balok dengan lubang *hollow core* terhadap balok normal.

### Tujuan Penelitian

- Mengetahui perbandingan berat volume balok persegi beton bertulang dengan lubang *hollow core* pada tengah penampang balok terhadap balok normal.
- Mengetahui perbandingan kekuatan lentur balok persegi beton bertulang dengan lubang *hollow core* pada tengah penampang balok terhadap balok normal.

### Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Balok ditumpu oleh 2 tumpuan, yaitu sendi dan rol.
2. Panjang balok yang digunakan 2,4 m, dan penampang balok adalah persegi.
3. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kelenturan balok.
4. Penggunaan mutu beton K- 225
5. Penempatan lubang berada di tiga titik balok, yaitu pada 40 cm dari tiap tumpuan ke arah tengah bentang balok, dan di tengah bentang balok.
6. Untuk membentuk *hollow core*, beton diisi dengan *styrofoam*, yang diasumsikan sebagai lubang pada balok beton bertulang.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Tinjauan Umum

Beton adalah sebuah material komposit yang rumit. Akan tetapi, beton sangat mudah dibuat, walaupun pembuatnya tidak mempunyai pengetahuan tentang beton sama sekali. Akan tetapi, kualitas produk yang dihasilkan tidak dapat diprediksi. Sehingga, hal tersebut menurunkan reputasi beton sebagai bahan bangunan. Sifat beton sangatlah tergantung pada masing-masing interaksi bahan penyusunnya. Pada umumnya, ada 3 sistem yang terlibat dalam komponen beton, antara lain : pasta semen, mortar dan beton. (Nugraha, Antoni, 2007)

Beton adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam struktur, yang bahan utamanya adalah semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu. (Nurlina, 2008). Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002).

### Hollow Core

Analisis bagian berongga pada balok beton bertulang dengan hollow core ekuivalen dengan analisis flens untuk menghitung momen nominalnya. Sehingga, dalam perencanaan momen nominal benda uji sebelumnya, garis netral balok terletak pada flens balok atau di atas lubang. Untuk perhitungan momen nominalnya, diasumsikan sebagai balok persegi biasa. (MacGregor, 1987)

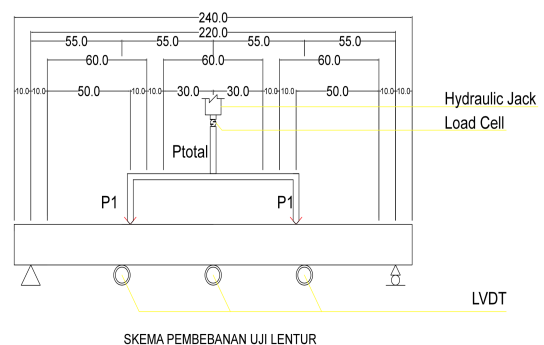
### Lentur

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Beban luar yang bekerja pada balok dapat berupa beban gravitasi, beban angin, perubahan temperatur, beban sendiri balok, dan beban hidup. Apabila bebannya bertambah, maka

pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak. Retak ini terjadi akibat lentur pada sepanjang bentang balok yang terus bertambah seiring dengan bertambahnya beban yang dipikul oleh balok hingga terjadi keruntuhan pada struktur balok tersebut. Keruntuhan dapat terjadi jika beban yang bekerja pada balok telah mencapai kapasitas elemen taraf pembebanan yang disebut juga dengan keadaan limit dari keruntuhan lentur. (Nawy,1998)

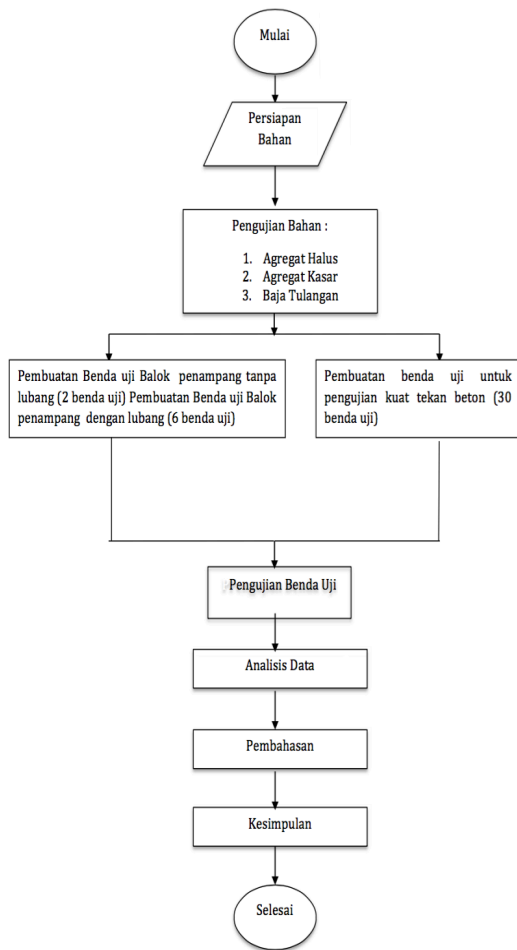
### METODE

Metode dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian ini menggunakan balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm, 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm sebagai benda uji dan balok normal sebagai pembanding. Balok benda uji diletakkan diatas dua buah tumpuan sendi-rol dengan bentang 2,2 m. Beban terpusat simetris diletakkan pada 0,6 m dari masing - masing tumpuan ke arah tengah bentang. Pengujian balok ini akan dilakukan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pembebanan

Pembebanan dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji, sehingga dapat diketahui kuat lentur maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyerapan Agregat Halus

Untuk agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari daerah Blitar, Jawa Timur. Setelah dilakukan pengujian, pasir ini termasuk kedalam zona 2 ASTM dan didapatkan hasil pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penyerapan Agergat Halus

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Kehalusan	3.59
Absorbsi	3.22
Berat Jenis SSD	2.07

### Penyerapan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang didapatkan dari daerah Ngantang, Kabupaten Malang. Hasil analisis gradasi ayakan agregat kasar ini termasuk ke

dalam zona agregat maksimal 10 mm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penyerapan Agergat Kasar

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Kehalusan	7.28
Absorbsi	2.038
Berat Jenis SSD	2.213

### Kuat Tekan Beton

Pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tekan beton, diambil 2 buah sampel dari tiap pengecoran. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Untuk perawatan benda uji beton atau *curing* dilakukan dengan cara direndam dalam air selama 7 hari. Setelah itu, dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian ini dilakukan pada 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Uji kuat tekan beton terlampir pada lampiran dan didapatkan hasil pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berat Rata-Rata	Volume Rata-Rata	Berat Volume Rata-Rata	f'c
Kg	m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
10.847	0.00530	2047.08	23.09

Berdasarkan Tabel 4, didapatkan berat volume rata – rata beton sebesar 2047.08 Kg/m<sup>3</sup>. Hal ini dikarenakan penggunaan agregat kasar dengan ukuran maksimum 10 mm, sehingga berat volume yang dihasilkan tidak mencapai 2400 Kg/m<sup>3</sup>

### Pengukuran Balok Beton Bertulang

Setelah dilakukan pengukuran terhadap dimensi balok beton bertulang. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan berat volume eksperimen dari balok beton bertulang. Data hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Balok

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	N.1	226	2.4	0.2	0.2
2	N.2	212	2.4	0.2	0.2
3	L5.1	197	2.4	0.205	0.21
4	L5.2	194	2.4	0.2	0.2
5	L7.1	194	2.4	0.2	0.205
6	L7.2	192	2.4	0.21	0.2
7	L9.1	185	2.4	0.21	0.2
8	L9.2	186	2.4	0.205	0.2

**Keterangan:**

- N.1 = Benda uji balok normal ke-1
- N.2 = Benda uji balok normal ke-2
- L5.1 = Benda uji balok *hollow core* 5 x 10 x 60 cm ke-1
- L5.2 = Benda uji balok *hollow core* 5 x 10 x 60 cm ke-2
- L7.1 = Benda uji balok *hollow core* 7 x 10 x 60 cm ke-1
- L7.2 = Benda uji balok *hollow core* 7 x 10 x 60 cm ke-2
- L9.1 = Benda uji balok *hollow core* 9 x 10 x 60 cm ke-1
- L9.2 = Benda uji balok *hollow core* 9 x 10 x 60 cm ke-2

**Berat Volume Balok Beton Bertulang**

Setelah data berat dan dimensi balok beton didapatkan, selanjutnya dilakukan analisa berat volume balok beton. Untuk menganalisa berat volume balok beton dibagi menjadi empat yaitu balok beton normal, balok beton dengan lubang *hollow core* 5 cm x 10 cm x 60 cm, balok beton dengan lubang *hollow core* 7 cm x 10 cm x 60 cm, dan balok beton dengan lubang *hollow core* 9 cm x 10 cm x 60 cm. Perhitungan berat volume balok beton diperlihatkan pada Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 berikut:

Tabel 6. Analisa Berat Volume Balok Normal

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang m	Lebar m	Tinggi m	Volume m <sup>3</sup>	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
1	N/Ø8 - 200/1	226	2.4	0.2	0.2	0.096	2354.17
2	N/Ø8 - 200/2	212	2.4	0.2	0.2	0.096	2208.33
Berat Volume Rata-Rata							2281.3

Tabel 7. Analisa Berat Volume Balok *hollow core* 5 x 10 x 60 cm

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang m	Lebar m	Tinggi m	Volume m <sup>3</sup>	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
1	L5/Ø8 - 200/1	197	2.4	0.205	0.21	0.10332	1906.70
2	L5/Ø8 - 200/2	194	2.4	0.2	0.2	0.096	2020.83
Berat Volume Rata-Rata							1963.8

Tabel 8. Analisa Berat Volume Balok *hollow core* 7 x 10 x 60 cm

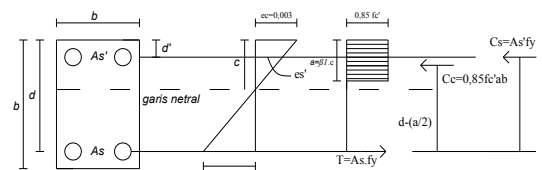
No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang m	Lebar m	Tinggi m	Volume m <sup>3</sup>	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
1	L7/Ø8 - 200/1	194	2.4	0.2	0.205	0.0984	1971.54
2	L7/Ø8 - 200/2	192	2.4	0.21	0.2	0.1008	1904.76
Berat Volume Rata-Rata							1938.2

Tabel 9. Analisa Berat Volume Balok *hollow core* 9 x 10 x 60 cm

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang m	Lebar m	Tinggi m	Volume m <sup>3</sup>	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
1	L9/Ø8 - 200/1	185	2.4	0.21	0.2	0.1008	1835.32
2	L9/Ø8 - 200/2	186	2.4	0.205	0.2	0.0984	1890.24
Berat Volume Rata-Rata							1862.8

**Kuat Lentur Teoritis**

Untuk perhitungan beban maksimum balok, dilakukan dengan perhitungan penampang baloknya dengan mempertimbangkan kuat lentur balok yang terjadi. Balok menggunakan tulangan tunggal, maka dari itu, berlaku keseimbangan gaya, yaitu gaya tarik = gaya tekan. Di mana gaya tarik (*tension* = T) diberikan oleh baja tulangan, sedangkan gaya tekan (*compression* = C) diberikan oleh beton didaerah tekan (*compression concrete* = Cc).



$$T = As \cdot fy \rightarrow T = (453) \cdot (311) = 14075 \text{ kg}$$

$$Cc = (0.85) \cdot f'c \cdot a \cdot b \rightarrow Cc = 0.85 \cdot (230.8) \cdot 200 \cdot a = 3923.6 a$$

$$Cc = T$$

$$3923.6a = 14075$$

$$a = 35.87 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c \rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{35.87}{0.85} = 42.20 \text{ mm}$$

dimana :

c = jarak serat tekan terluar ke garis normal  
 $\beta_1$  = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai  $\beta$  diambil 0,85 untuk  $f'c < 30$  Mpa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 Mpa maka harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 Mpa di atas 30 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0.65

Karena garis netral berada pada flens, maka perhitungan momen nominalnya menggunakan

perhitungan momen nominal balok persegi biasa.

Kontrol :

$$d = 168 \text{ mm}$$

$$d' = 32 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{168 - 42,2}{42,2} = 0,0089$$

Maka :

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa} = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

(Modulus Elastisitas Baja =  $2 \times 10^5$  Mpa)

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 0,0089 \cdot 200.000 = 1788,453 \text{ Mpa} > 311 \text{ Mpa (baja sudah leleh)}$$

$$C_c = 0,85 \cdot (23,08) \cdot (200) \cdot (42,20) = 14075 \text{ kg}$$

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 14075 \cdot \left(168 - \frac{42,2}{2}\right) = 21121423 \text{ Nmm} = 2112,142 \text{ kgm}$$

$$M_u = M_n$$

$$M_u = 2112,142 \text{ kgm}$$

$$R_a = M_u / l = 2112,142 \text{ kgm} / 0,6 \text{ m} = 3520,237 \text{ kg}$$

$$P_u = R_a \cdot 2 = 3520,237 \text{ kg} \cdot 2 = 7040,474 \text{ kg}$$

Perhitungan kapasitas lentur dapat dilihat pada Tabel 10

Tabel 10. Tabel Perhitungan Kapasitas Lentur Teoritis

Benda Uji Balok	M nominal Kgm	P Nominal Kg
Normal	2112.142	7040.474
Hollow Core 5 x 10 x 60 cm	2112.142	7040.474
Hollow Core 7 x 10 x 60 cm	2112.142	7040.474
Hollow Core 9 x 10 x 60 cm	2112.142	7040.474

### Kuat Lentur Eksperimen

Setelah didapatkan data beban maksimum dari hasil pengujian maka dapat dilakukan perhitungan momen yang terjadi pada benda uji. Perhitungan momen menggunakan analisis statis tertentu dengan perhitungan statika

gelagar sederhana. Berikut adalah perhitungan momen maksimum :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$(-R_B)(L) + 0,5P(l_1+l_2) + 0,5P(l_3) = 0$$

$$(-R_B)(2,2) + 0,5P(1,6) + 0,5P(0,6) = 0$$

$$R_B = \frac{0,5P(1,6+0,6)}{2,2}$$

$$R_B = 0,5P$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$R_A = P - 0,5P$$

$$R_A = 0,5P$$

Setelah didapat  $R_A$  dari statika sederhana yang tercantum di atas, maka perhitungan momen maksimum yang terjadi pada balok adalah :

$$M_{Maks} = R_A l_l$$

$$M_{Maks} = 0,5 P (0,6)$$

$$M_{Maks} = 0,3 P$$

Setelah itu, dilakukan perbandingan antara momen maksimum saat runtuh teoritis ( $M_u$  teoritis) dengan pengujian yang menggunakan *hydraulic jack* ( $M_u$  eksperimen). Momen maksimum teoritis didapat dari perhitungan. Momen maksimum dari hasil penelitian dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$M_u = 0,3 P$$

dengan :

$$M_u = \text{Momen maksimum}$$

$$P = \text{Beban maksimum}$$

Tabel 11. Tabel Perbandingan Berat Volume, P Maksimum dan Kuat Lentur Eksperimen dan Teoritis

Benda Uji	Berat Volume Rata-Rata Kg/m <sup>3</sup>	Perbandingan Selisih Berat Volume* %	P Maksimum	M Maksimum	Perbandingan Selisih P dan M Maksimum*
			Kg	Kgm	%
Normal	2281,3	0,0	8025	2407,5	0
L5	1963,8	-13,9	7625	2287,5	-4,98
L7	1938,2	-15,0	7000	2100	-12,77
L9	1862,8	-18,3	7225	2167,5	-9,97

\*Perbandingan Selisih terhadap balok normal

### Pembahasan

Tabel 11 menjelaskan bahwa balok beton bertulang normal sebagai balok kontrol memiliki berat volume sebesar 2281,3 kg/m<sup>3</sup> dan mampu menahan beban maksimum rata – rata sebesar 8025 kg, dengan momen



maksimum rata – rata sebesar 2407.5 kgm. Pada balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm memiliki berat volume sebesar 1963.8 kg/m<sup>3</sup> dan mampu menahan beban maksimum sebesar rata – rata 7625 kg dengan momen maksimum rata – rata sebesar 2287.5 kgm, dengan persentase pengurangan pada berat volume terhadap balok kontrol sebesar 13.9% dan persentase pengurangan kekuatan lentur sebesar 4.98%. Terjadinya pengurangan berat volume tersebut terjadi karena adanya pengurangan volume beton akibat lubang yang ada di dalam balok tersebut.

Hal ini juga terjadi pada balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* ukuran 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm yang memiliki berat volume rata – rata berturut – turut sebesar 1938.2 kg/m<sup>3</sup> dan 1862.8 kg/m<sup>3</sup>. Balok ini mampu menahan beban maksimum rata – rata sebesar 7000 kg untuk balok dengan lubang *hollow core* ukuran 7 x 10 x 60 cm dan 7225 kg untuk balok dengan lubang *hollow core* ukuran 9 x 10 x 60 cm, dengan momen maksimum rata – rata berturut – turut sebesar 2100 kgm dan 2167.5 kgm. Persentase pengurangan berat volume terhadap balok kontrol berturut – turut sebesar 15% dan 18.3%. Untuk persentase pengurangan kekuatan lentur berturut – turut sebesar 12.77% dan 9.97%. Dengan demikian terdapat perbedaan antara hasil pengujian dan hipotesa awal. Perbedaan ini hanya terdapat pada balok dengan lubang *hollow core* ukuran 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm.

Data menunjukkan bahwa presentase balok lubang *hollow core* 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm mempunyai perbedaan kekuatan nominal sebesar 12.77% dan 9.97%. Jika dilihat dari hipotesa awal, seharusnya tidak ada pengaruh besar penampang lubang terhadap kekuatan lentur balok dengan presentase perbedaan maksimum atau kesalahan relatif maksimum yang diperbolehkan sebesar 5%. Kemungkinan terdapat beberapa faktor yang berpengaruh ketika pelaksanaan dan perencanaan benda uji. Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya kesalahan ketika pelaksanaan antara lain, kondisi tempat penyimpanan pasir yang basah sehingga menyebabkan pasir terkena air sebelum dilakukan pengecoran, berpindahannya letak *styrofoam* dikarenakan pemasangan pengegang *styrofoam* yang kurang kuat,

kurang meratanya pemadatan yang dilakukan. Sedangkan faktor yang mempengaruhi terjadinya kesalahan ketika perencanaan yaitu gaya geser yang diterima oleh balok tidak sepenuhnya dapat ditahan oleh sengkang dan beton. Dari hasil pengujian yang dilakukan, terjadi perpindahan keretakan pada balok. Retak awal pada balok terjadi pada daerah lentur, tetapi keruntuhan struktural terjadi pada daerah geser.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengurangan berat volume beton akibat *hollow core* terhadap balok normal yaitu sebesar 13.9 %, 15% dan 18.3%, berturut – turut untuk balok dengan *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm, 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm.
2. Adanya perbedaan kekuatan lentur akibat adanya *hollow core* terhadap balok normal yaitu sebesar 4.98%, 12.77% dan 9.97%, berturut – turut untuk balok dengan *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm, 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm. Pada tinjauan pustaka, seharusnya tidak ada perbedaan kuat lentur nominal balok dengan *hollow core* dan balok normal. Perbedaan kekuatan lentur pada balok dengan *hollow core* 7 x 10 x 60 cm dan 9 x 10 x 60 cm ini dikarenakan oleh beberapa faktor yang terjadi. Faktor tersebut antara lain, perencanaan kapasitas tahanan geser balok yang tidak mencukupi sehingga membuat balok yang direncanakan mengalami keruntuhan lentur mengalami runtuh geser struktural terlebih dahulu sebelum mencapai batas maksimum, pemasangan pengikat *styrofoam* yang kurang kuat sehingga posisi *styrofoam* berpindah, penyimpanan pasir yang kurang baik sehingga pasir terkena air terlebih dahulu sebelum dilakukan

pengecoran, dan kurang meratanya pemadatan yang dilakukan.

### Saran

Dalam penelitian ini peneliti menyadari masih banyak kekurangan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan pengamatan terhadap diagram tegangan regangan geser dan lentur pada balok dengan lubang *hollow core*.
2. Perlu dilakukan pengikatan terhadap *styrofoam* yang dimasukkan ke dalam balok ketika pengecoran, agar *styrofoam* yang ditempatkan tidak berpindah-pindah.
3. Perlu memperhatikan perencanaan yang lebih teliti dalam menentukan ukuran balok yang akan diuji.
4. Perhatikan proses pencampuran semen, air, pasir, dan kerikil agar diperoleh campuran yang sesuai dengan perencanaan.
5. Proses pemadatan perlu diperhatikan guna menghindari rongga pada beton.

### DAFTAR PUSTAKA

- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Dipohusodo, Istimawan, *Struktur Beton Bertulang*, Badan LITBANG PU, 1993.
- Nurlina, Siti, *Struktur Beton*, Bargie Media, 2008.
- Khomsan, Ali. 2003. *Pangan dan Gizi Untuk Kesehatan*. PT Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- ACI *Manual of Concrete Practice*, part 1. 1993:213R-87
- Nugraha, Anthony, *Teknologi Beton*, 2007.

Nawy, E.G., *Prestressed Concrete-A Fundamental Approach*, Prentice Hall International, 1995

Wight, MacGregor, *Reinforce Concrete-Mechanics and Design*, Pearson Education, 2012

ACI 318

Muhammad, Yusuf, Amir., Sulisty, Djoko., Supriyadi, Bambang., Perilaku Lentur pada Keadaan Layan dan Batas Balok Bertulang Berlubang Memanjang, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 2011