

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang

Pengujian utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian yang menggunakan dua buah beban simetris yang diletakkan di atas balok uji. Dengan jarak 60 cm dari tumpuan, kanan dan kiri. Selain pengujian ini, dilakukan juga pengujian-pengujian pendukung untuk melengkapi data-data yang diperlukan.

4.1.1 Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Portland type 1 yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang umum digunakan untuk pelaksanaan pengecoran. Semen ini tidak perlu dilakukan pengujian.

4.1.2 Air

Air merupakan senyawa yang penting dalam pembentukan beton. Beton yang akan dibuat, merupakan campuran dari semen, air, pasir, dan kerikil. Untuk jumlah air yang digunakan, merupakan perbandingan antara semen dan air. Air yang digunakan untuk penelitian ini adalah air yang diambil dari keran yang ada di Laboratorium Struktur dan Bahan Kontruksi yang bersumber dari PDAM kota Malang.

4.1.3 Agregat Halus

Untuk agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari daerah Blitar, Jawa Timur. Setelah dilakukan pengujian, pasir ini masuk kedalam zona 2 ASTM, dan didapatkan hasil pada Tabel 4.1.

Tabel 1.1 Pengujian Agregat Halus

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

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.1.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang didapatkan dari daerah Ngantang, Kabupaten Malang. Dari hasil analisis gradasi ayakan agregat kasar ini masuk ke dalam zona agregat maksimal 10 mm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.2**

Tabel 1.2 Pengujian Agregat Kasar Kerikil

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

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian pada beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Yaitu dengan memasukkan campuran beton segar pada kerucut *Abram*. Campuran beton segar di masukkan dalam 3 tahapan, yaitu hingga 1/3 tinggi kerucut, 2/3 tinggi kerucut, dan setinggi kerucut. Lalu dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali pada setiap tahapannya dengan menggunakan tulangan $\phi 16\text{mm}$ sepanjang 50cm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.3**.





Tabel 1.3 Pengujian Slump

Pengecoran	FAS	Slump Cm
1	0.52	7.5
2	0.52	7.5
3	0.52	9
4	0.52	11
5	0.52	7.5
6	0.52	9
7	0.52	9
8	0.52	8
9	0.52	8
10	0.52	7.5
11	0.52	15
12	0.52	10
13	0.52	14
14	0.52	8.5
15	0.52	10
16	0.52	11

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan tabel hasil pengujian slump, didapatkan hasil slump setinggi cm. Hasil dari pengujian slump ini sesuai dengan PBI 1971.

Tabel 1.4 Nilai Standar Slump

Kegunaan	Maks	Min
Dinding		
Plat Pondasi	12,5	5
Pondasi Telapak Bertulang		
Pondasi Telapak tidak Bertulang		
Kaison	9	2,5
Konstruksi di bawah tanah		
Plat		
Balok	15	7,5
Kolom		
Dinding		
Pengerasan Jalan	7,5	5
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tekan beton, diambil 2 buah sampel dari tiap pengecoran. Benda uji dibuat 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 4.5**

Tabel 1.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berat rata-rata Kg	Volume rata-rata m ³	Berat Volume rata-rata kg/m ³	f'c N/mm ²
10,847	0,0053	2047,08	23,09

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

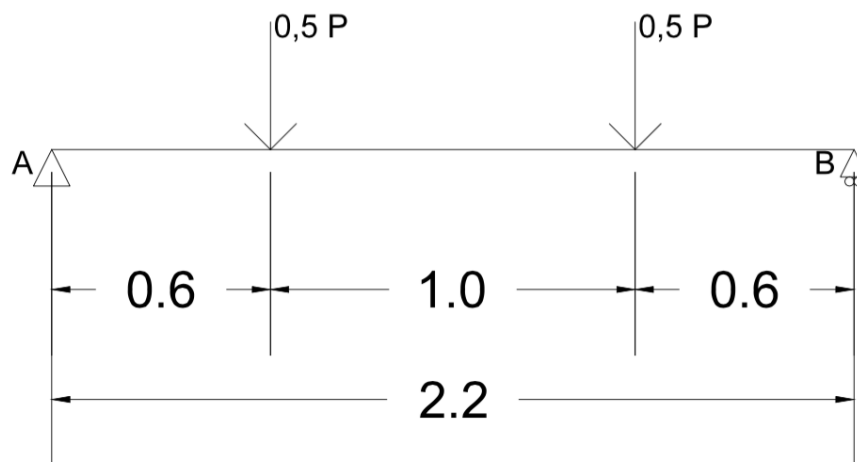
Dari hasil pengujian kuat tekan beton, didapat kuat tekan beton pada waktu 7 hari sebesar 15,007 MPa, sedangkan pada 28 hari menurut teoritis, sebesar 23.09 Mpa. Karena pengujian yang dilakukan hanya pada 7 hari, maka dilakukan kontroling pada benda uji, dengan dilakukan pula pengujian 2 benda uji yang berumur 28 hari, dan didapatkan hasil 22,76 Mpa. Dengan begitu hasil ini memenuhi rencana awal sebesar 22.0725 Mpa.

Untuk berat volume beton yang didapatkan, rata-rata sebesar 2047 kg/m³. Berat volume ini berada jauh dibawah berat beton normal menurut SNI yaitu sebesar 2400 kg/m³. Hal ini terjadi karena penggunaan agregat kasar dengan ukuran maksimum 5 mm.

4.4 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis

4.4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan agar dapat ditentukan Pu teoritis yang akan dapat ditumpu oleh balok beton bertulang. Balok ini diletakkan di atas 2 tumpuan, yaitu sendi dan rol. Beban yang bekerja berada pada 60 cm dari tumpuan, dan 60 cm dari tumpuan lainnya.



Gambar 1.1 Pemodelan Pembebanan Struktur

4.4.2 Kapasitas Geser Teoritis

Untuk perhitungan beban maksimum balok, dilakukan dengan perhitungan penampang baloknya dengan mempertimbangkan kuat geser yang terjadi. Dimana luas profil beton, mutu beton dan mutu baja tulangan sengkang mempengaruhi besar kecilnya beban maksimum suatu balok. Kuat geser balok beton bertulang merupakan penjumlahan dari kapasitas geser beton dengan kapasitas geser baja tulangan geser, yang dikalikan dengan faktor reduksi (Φ). Tahapan tahapan dalam perumusan kuat geser ditetapkan sebagai berikut:

- a. Kapasitas Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d$$

dengan V_c = kuat geser (N), f_c = kuat tekan beton (MPa), b_w = lebar badan balok (mm), d = jarak dari tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).

- b. Kapasitas Geser Beton Berlubang

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} (b - m) d$$

dengan V_c = kuat geser (N), f_c = kuat tekan beton (MPa), b = lebar badan balok (mm), m = lebar badan lubang (mm), d = jarak dari tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).

c. Kapasitas Geser tulangan Sengkang

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

dengan V_s = kuat geser (N), A_v = luas total tulangan sengkang (mm^2), f_y = Kuat tarik baja (Mpa), d = jarak dari tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm), dan s = jarak antar sengkang (mm).

Dari hasil perhitungan teoritis yang terlampir pada lampiran didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.6** berikut :

Tabel 1.6 Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Geser

No	Benda Uji	Pu maksimum Kg
1	N/ Φ 6 - 400	5850
2	L5/ Φ 6 - 400	4506
3	L7/ Φ 6 - 400	4506
4	L9/ Φ 6 - 400	4506

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan secara teoritis, P ultimate yang dapat ditahan dari 4 jenis balok berbeda antara balok normal dan balok Hollow Core, yaitu masing-masing sebesar 5850 kg dan 4506 kg. Hal ini dikarenakan terdapat lubang Hollow Core yang menyebabkan perhitungan V_c dari beton normal dan beton Hollow Core berbeda.

4.4.3 Kapasitas Tegangan Geser Teoritis

Untuk perhitungan tegangan geser maksimum balok, dilakukan dengan perhitungan penampang baloknya dengan mempertimbangkan gaya lintang yang terjadi. Dimana luas profil beton, momen inersia beton, dan lebar penampang beton mempengaruhi besar kecilnya tegangan geser maksimum suatu balok. Tahapan tahapan dalam perumusan kuat geser ditetapkan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{V}{Ib} \int_{y_0}^c y da$$

Dimana, τ = tegangan geser V = gaya geser

b = lebar penampang balok I = momen-area kedua $y da$ = momen-area pertama

Dari hasil perhitungan teoritis yang terlampir pada lampiran didapatkan hasil seperti pada

Tabel 4.7 berikut :

Tabel 1.7 Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Geser Pengaruh Momen Inersia

No	Benda Uji	Pu maksimum Kg
1	N/Ø6 - 400	4741
2	L5/Ø6 - 400	2695
3	L7/Ø6 - 400	2681
4	L9/Ø6 - 400	2679

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan secara teoritis, P ultimate yang dapat ditahan dari 4 jenis balok berbeda antara balok normal dan balok Hollow Core, yaitu masing-masing sebesar 4741 kg, 2695 kg, 2681 kg dan 2679 kg. Hal ini dikarenakan terdapat lubang Hollow Core yang menyebabkan perbedaan momen Inersia sehingga menyebabkan P ultimate yang berbeda di tiap-tiap penampang.

4.5 Berat Volume Balok Beton

Saat proses uji berat volume balok beton ini diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data tersebut adalah berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Data diperoleh saat balok berumur 28 hari. Berat balok diukur menggunakan 2 timbangan digital dengan kapasitas maksimum tiap timbangan 300 kg. Untuk panjang, lebar dan tinggi balok diukur menggunakan meteran.

4.5.1 Hasil Pengukuran Balok Beton

Setelah dilakukan pengukuran terhadap dimensi balok beton bertulang, data hasil pengukuran diperlihatkan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 1.8 Hasil Pengukuran Dimensi Balok Beton Aktual

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	N.1	197,41	2,4	0,2	0,2
2	N.2	194,02	2,4	0,2	0,2
3	L5.1	194	2,4	0,2	0,2
4	L5.2	192	2,4	0,2	0,2
5	L7.1	183,9	2,4	0,2	0,2
6	L7.2	185,2	2,4	0,2	0,2
7	L9.1	183	2,4	0,2	0,2
8	L9.2	184	2,4	0,2	0,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

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

4.5.2 Analisa Berat Volume Balok Beton

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 4.9**.

Tabel 1.9 Analisa Berat Volume Balok Uji

Berat Volume Balok Normal

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang M	Lebar M	Tinggi m	Volume m ³	Berat Volume Kg/m ³
1	N/Φ6 – 400/1	197,41	2,4	0,2	0,2	0,096	2056,35
2	N/Φ6 – 400/2	194,02	2,4	0,2	0,2	0,096	2021,04
Berat Volume Rata-Rata							2038,7

Berat Volume Balok Hollow Core Tinggi 5 cm

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang M	Lebar m	Tinggi m	Volume m ³	Berat Volume Kg/m ³
1	L5/Φ6 – 400/1	193	2,4	0,2	0,2	0,096	2010,42
2	L5/Φ6 – 400/2	191	2,4	0,2	0,2	0,096	1989,58
Berat Volume Rata-Rata							2000,0

Berat Volume Balok Hollow Core Tinggi 7 cm

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang M	Lebar m	Tinggi m	Volume m ³	Berat Volume Kg/m ³
1	L7/Φ6 – 400/1	183,9	2,4	0,2	0,2	0,096	1915,63
2	L7/Φ6 – 400/2	185,2	2,4	0,2	0,2	0,096	1929,17
Berat Volume Rata-Rata							1922,4

Berat Volume Balok Hollow Core Tinggi 9 cm

No	Benda Uji	Berat Kg	Panjang M	Lebar m	Tinggi m	Volume m ³	Berat Volume Kg/m ³
1	L9/Φ6 – 400/1	183	2,4	0,2	0,2	0,096	1906,25
2	L9/Φ6 – 400/2	184	2,4	0,2	0,2	0,096	1916,67
Berat Volume Rata-Rata							1911,5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan data **Tabel 4.9** diketahui rata - rata berat volume balok beton normal 2038,7 kg/m³, sedangkan rata-rata berat volume pada balok beton dengan lubang *hollow core* 5 x 10 x 60 cm, 7 x 10 x 60 cm, 9 x 10 x 60 cm masing- masing 2000 kg/m³, 1922,4 kg/m³, dan 1911,5 kg/m³.

Tabel 1.10 Perbandingan Berat Volume Terhadap Balok Hollow Core

No	Benda Uji	Berat Volume Rata-Rata	Perbandingan Selisih
		Kg/m ³	%
1	Normal	2038,7	0,0
2	L5	2000,0	-1,9
3	L7	1922,4	-5,7
4	L9	1911,5	-6,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada **Tabel 4.10** bisa dilihat bahwa adanya *hollow core* pada balok beton bertulang menambah berat volume balok beton bertulang sebanyak 1,9 % untuk lubang *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm, 5,7 % untuk lubang *hollow core* ukuran 7 x 10 x 60 cm, dan 6,2 % untuk lubang ukuran 9 x 10 x 60 cm.

4.6 Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Pengujian kuat geser dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jack* dan dibebani dengan 2 buah beban simetris terpusat. Balok berdimensi 20 cm x 20 cm x 240 cm, yang telah berumur 28 hari diletakan di atas tumpuan. Kemudian dilakukan *setting* alat pengujian. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah beban maksimum yang mampu diterima oleh balok uji hingga mengalami keruntuhan geser :



Gambar 1.2 Pembebanan Balok

4.6.1 Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji

Setelah dilakukan pengujian balok beton terhadap beban vertikal, didapatkan data lendutan dan beban maksimum yang berkerja pada balok beton. Lalu dilakukan

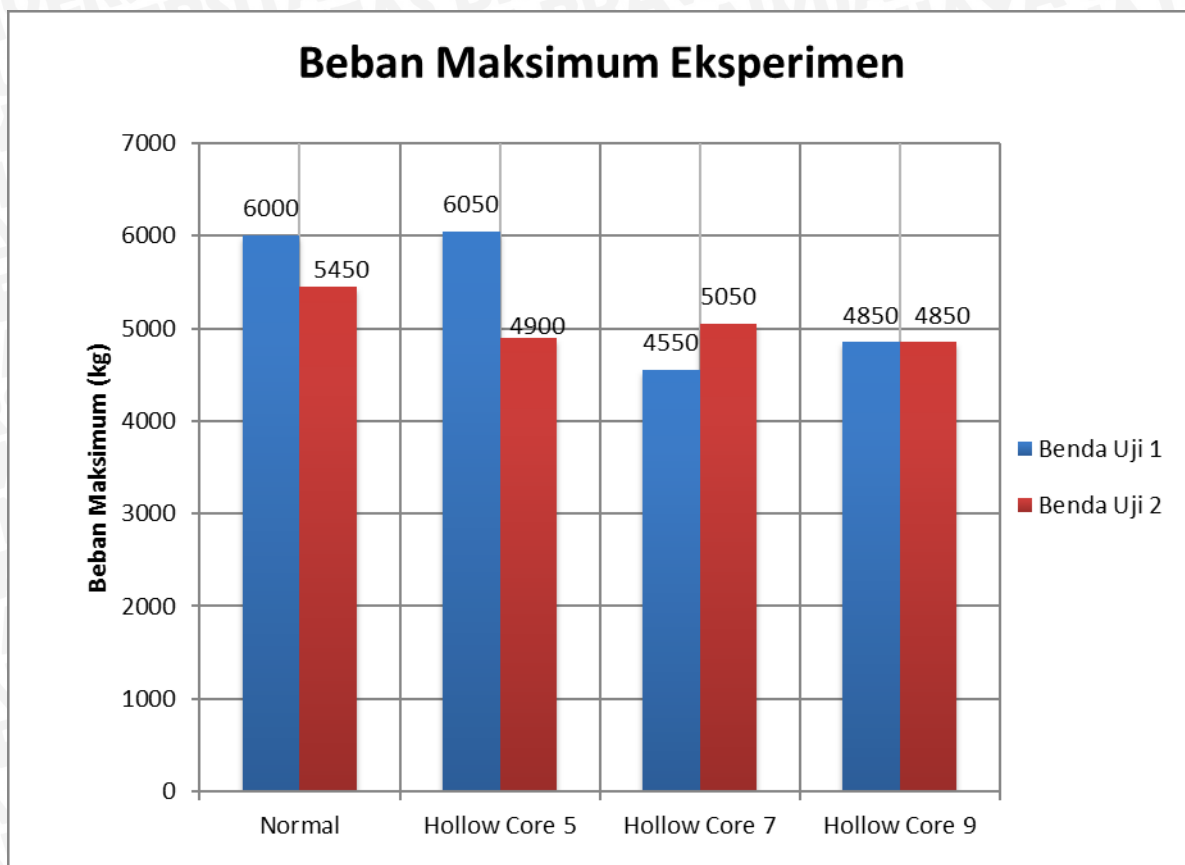
perbandingan antara beban saat balok mencapai beban maksimum teoritis (P_u teoritis) dengan beban pengujian yang menggunakan *hydraulic jack* (P_u eksperimen) diperlihatkan pada **Tabel 4.11**.

Tabel 1.11 Perbandingan Beban Maksimum Hasil Pengujian dan Teoritis

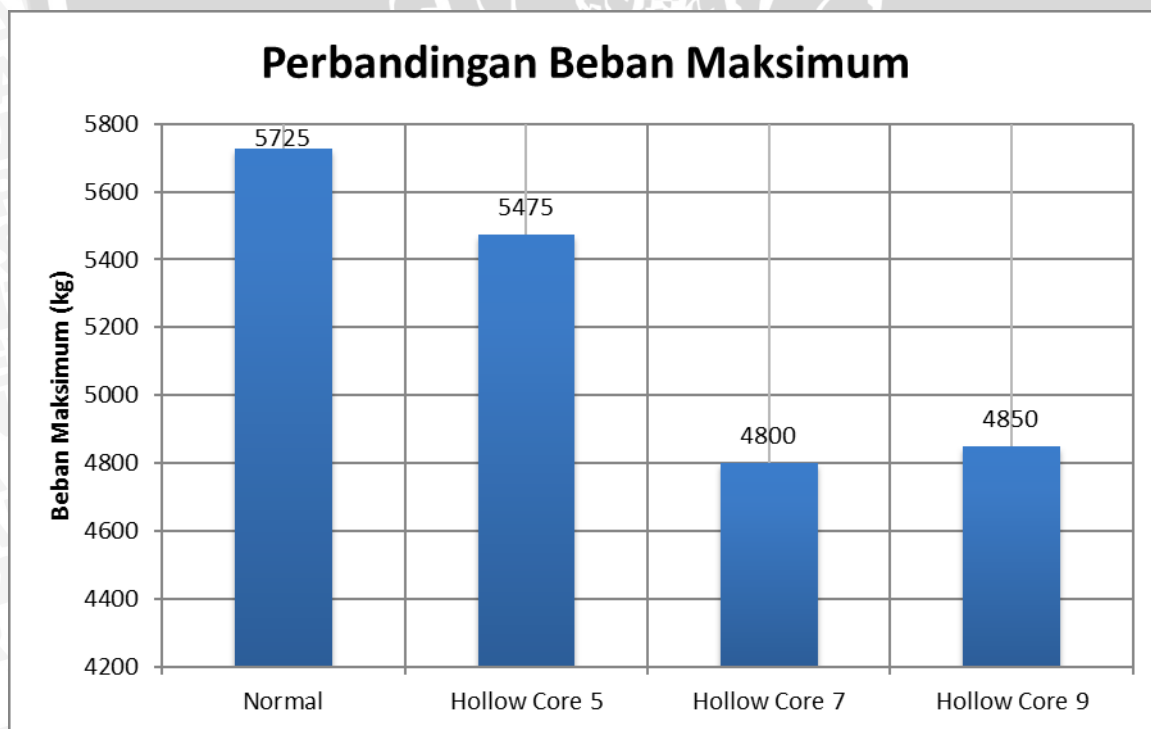
No	Benda Uji	Pu		Perbandingan Selisih %	Rata-Rata Kg
		Eksperimen Kg	Pu Teoritis Kg		
1	N/Φ6 - 400/1	6000	4741	26,55558	5725
2	N/Φ6 - 400/2	5450	4741	14,95465	
3	L5/Φ6 - 400/1	6050	2695	124,4898	5475
4	L5/Φ6 - 400/2	4900	2695	81,81818	
5	L7/Φ6 - 400/1	4550	2681	69,71279	4800
6	L7/Φ6 - 400/2	5050	2681	88,36255	
7	L9/Φ6 - 400/1	4850	2679	81,0377	4850
8	L9/Φ6 - 400/2	4850	2679	81,0377	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

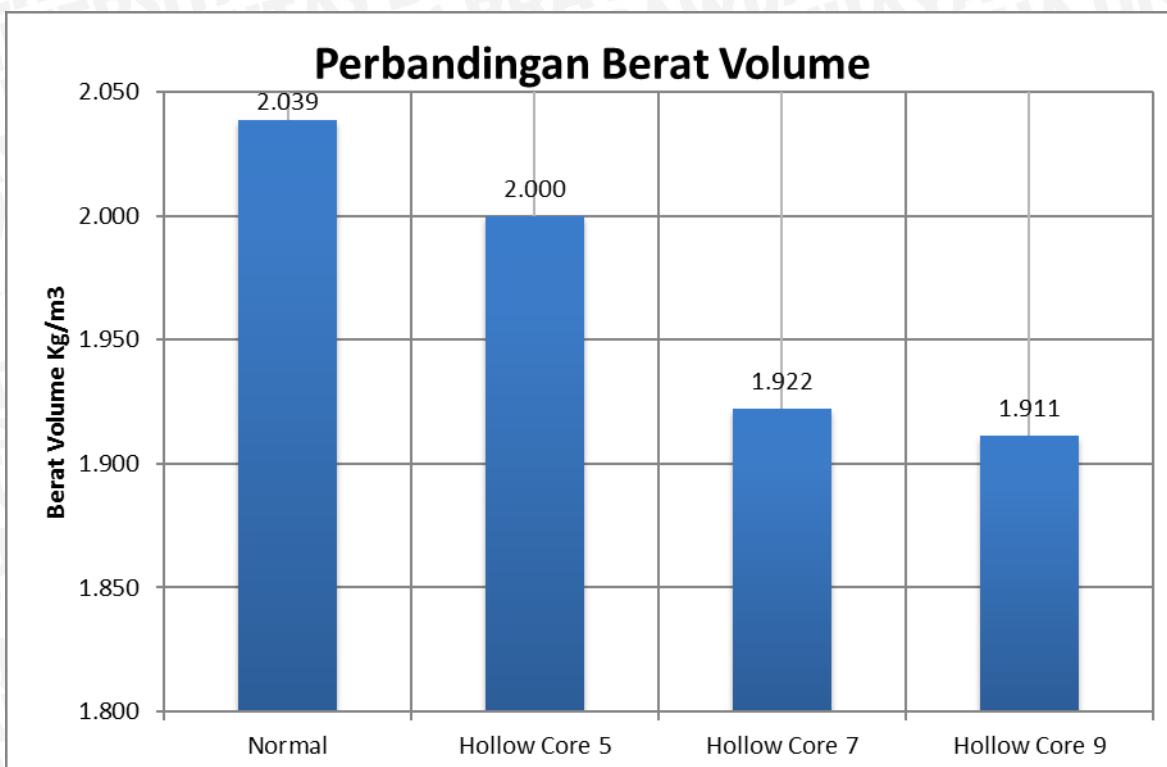
Berdasarkan **Tabel 4.11** dapat diketahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh masing – masing balok. Balok normal mampu menahan beban yang plp-aling besar yaitu rata – rata sebesar 5725 kg. Sedangkan balok *hollow core* 5 x 10 x 60 cm, 7 x 10 x 60 cm, dan 9 x 10 x 60 cm mampu menahan beban maksimum masing-masing dengan rata-rata sebesar 5475 kg, 4800 kg, 4850 kg lebih rendah dibandingkan dengan balok normal.



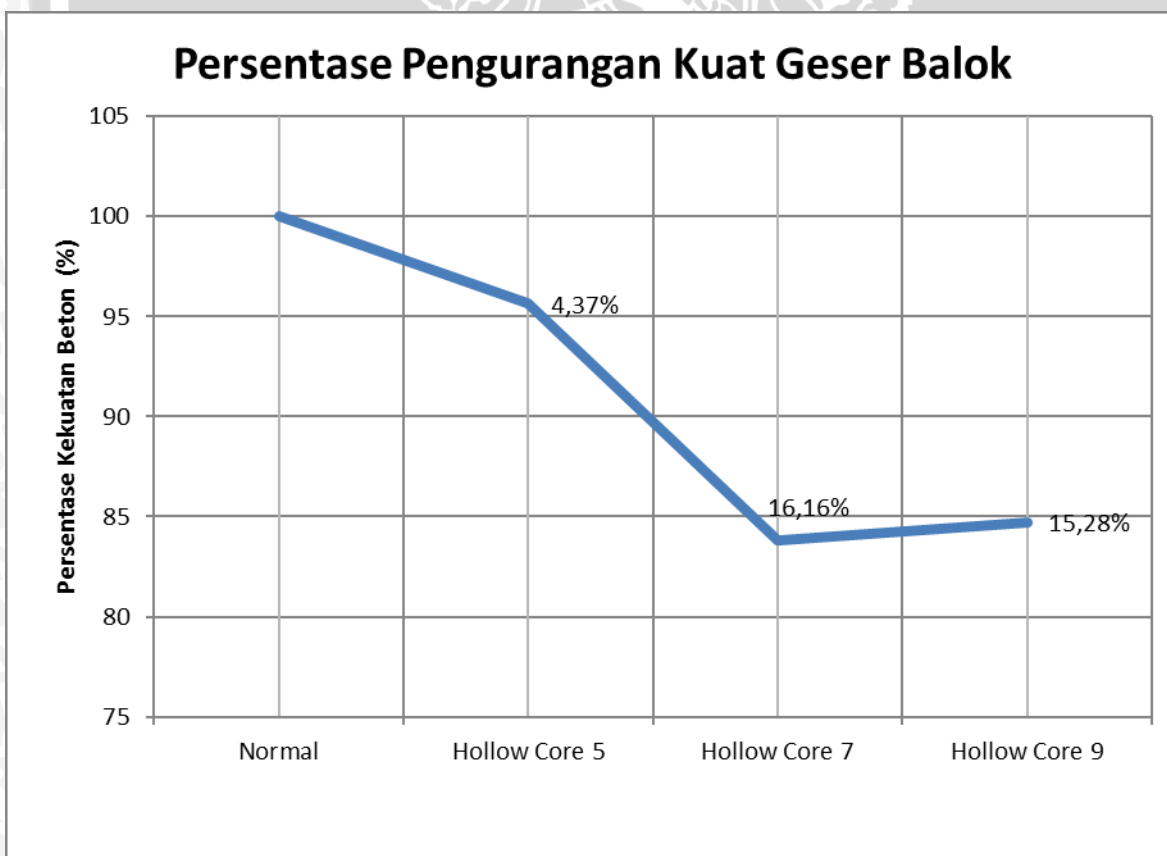
Gambar 1.3 Grafik Pu Eksperimen Balok Beton Uji



Gambar 1.4 Grafik Pu rata-rata Balok Beton Uji



Gambar 1.5 Grafik Perbandingan Berat Volume Balok Beton Uji



Gambar 1.6 Grafik Presentase Pengurangan Kuat Geser Balok

Tabel 1.7 Perbandingan Beban Maksimum dan Berat Volume

No	Benda Uji	Pu		Perbandingan Selisih %	Rata- Rata Kg	Berat Volume Rata-Rata Kg/m ³
		Eksper imen Kg	Pu Teoritis Kg			
1	N/Φ6 - 400/1	6000	4741	21	5725	2038,7
2	N/Φ6 - 400/2	5450	4741			
3	L5/Φ6 - 400/1	6050	2695	103	5475	2000,0
4	L5/Φ6 - 400/2	4900	2695			
5	L7/Φ6 - 400/1	4550	2681	79	4800	1922,4
6	L7/Φ6 - 400/2	5050	2681			
7	L9/Φ6 - 400/1	4850	2679	81	4850	1911,5
8	L9/Φ6 - 400/2	4850	2679			

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada **Tabel 4.11** dijelaskan bahwa balok beton bertulang normal sebagai balok kontrol memiliki berat volume sebesar 2038,7 kg/m³ dan mampu menahan beban maksimum rata – rata sebesar 5725 kg. Pada balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* ukuran 5 x 10 x 60 cm memiliki berat volume sebesar 2000 kg/m³ dan mampu menahan beban maksimum sebesar rata – rata 5475 kg dengan persentase pengurangan pada berat volume terhadap balok kontrol sebesar 1,9 % dan persentase pengurangan kekuatan geser sebesar 4,37 %. Terjadinya pengurangan berat volume dan kekuatan geser 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 masing-masing sebesar 1922,4 kg/m³ dan 1911,5 kg/m³. Balok ini mampu menahan beban maksimum rata – rata sebesar 4800 kg untuk balok dengan lubang *hollow core* ukuran 7 x 10 x 60 cm dan 4850 kg untuk balok dengan lubang *hollow core* ukuran 9 x 10 x 60 cm. Persentase pengurangan berat volume terhadap balok kontrol masing – masing sebesar 5,7% dan 6,2% . Untuk persentase pengurangan kekuatan geser masing – masing sebesar 16,16% dan 15,28%. Dengan demikian dapat dilihat bahwa pengaruh pengurangan volume beton pada balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* dapat mengurangi kekuatan balok untuk menahan kuat geser yang terjadi.

