

Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang dengan Styrofoam Sebagai Pengganti Agregat Kasar

I Wayan Suarnita *

Abstract

Requirement of concrete for structure in civil works increase in recent years, that is need more concrete technology. Mixing aggregate with Styrofoam, will produce lightweight concrete which is mixed with aggregate, concrete light in weight. With low density of concrete, the weight of structure can be reduced which will reduce the basic seismic force of the structure; the such sophisticate will minimized the effect of earthquake's damage. Result from tests of concrete give average value of compression strength of concrete cylinder (f_c') = 1.6 MPa, modulus of elasticity (E_c) = 443 MPa, and specific gravity = 727. The average yield stress (f_y) of the 16 mm deformed steel bar and the 8 mm non deformed steel bars were 512 MPa and 370 MPa, respectively. The analyzs shows that nominal moment capacity (M_n) of the beams is not increased along with the addition of tension reinforcement since the failure of the beam was caused by bond failure between shear reinforcement bars and the surrounding concrete. The existing crack contour is the shear crack is focusing at the areas that have an initial crack. This crack becomes wide along increasing loading up to failure of the beam.

Keywords: lightweight concrete, Styrofoam, flexural capacity.

Abstrak

Kebutuhan beton untuk struktur dalam bidang teknik sipil khususnya, saat ini terus bertambah, sehingga menuntut teknologi beton yang lebih baik. Mencampur agregat dengan Styrofoam akan menghasilkan beton yang ringan. Dengan beton berberat jenis ringan berat struktur akan berkurang sehingga terjadi pengurangan gaya gempa dasar pada bangunan. Kondisi ini akan membantu memperkecil kerusakan bangunan akibat gempa. Dari hasil dari pengujian diperoleh nilai rata-rata kuat tekan silinder beton (f_c') = 1.6 Mpa, modulus elastisitas (E_c) = 443 MPa, dan berat jenis = 727. Tegangan leleh rata-rata untuk baja tulangan ulir diameter 16 mm adalah 512 Mpa, sedangkan untuk baja tulangan polos diameter 8 mm adalah 370 Mpa. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas momen nominal (M_n) balok tidak meningkat seiring dengan penambahan tulangan tarik dikarenakan keruntuhan pada balok ditentukan oleh kegagalan rekatan antara tulangan geser dengan beton disekelilingnya. Pola retak yang terjadi umumnya adalah retak yang terfokus pada satu daerah di mana terjadi retak awal. Retak ini makin melebar seiring dengan penambahan beban sampai pada keruntuhan balok.

Kata kunci: beton ringan, styrofoam, kapasitas lentur

1. Pendahuluan

Kebutuhan beton untuk struktur dalam bidang teknik sipil khususnya, saat ini terus bertambah, sehingga menuntut teknologi beton yang lebih baik. Banyak penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk memvariasikan bahan-bahan beton yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Salah satu tujuan tersebut adalah menurunkan berat total bangunan dan strukturnya, dengan

cara penggunaan bahan bangunan yang mempunyai massa rendah. Seperti telah diketahui bahwa penggunaan bahan bangunan dengan massa rendah akan menjadikan berat struktur menurun yang akan membawa berbagai macam keuntungan. Pemakaian agregat ringan dalam pembuatan beton merupakan salah satu upaya untuk memenuhi keinginan tersebut di atas. Dengan berat jenis beton yang rendah, maka berat struktur

* Staf Pengajar Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

secara keseluruhan akan menjadi berkurang.

Pada penelitian ini dipakai beton *styrofoam* ringan pada balok beton bertulang, untuk diteliti sifat mekanikanya. Pemakaian *styrofoam* ini dipilih karena bahan ini mempunyai berat sendiri yang relatif sangat ringan bila dibandingkan dengan jenis bahan beton ringan lainnya. Sifat mekanika beton *styrofoam* ringan yang diaplikasikan pada balok beton bertulang belum pernah diteliti. Sifat mekanika yang dimaksud adalah kapasitas lentur balok, kapasitas geser balok, kuat lekat tulangan dengan beton, serta pola retak. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sifat-sifat mekanika beton bertulang dengan memakai *styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton (f_c') dihitung berdasarkan besarnya beban persatuan luas, menurut Persamaan 1:

$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A_c} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

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

2.2 Kuat Tarik Baja

Tegangan baja dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2:

$$f_y = \frac{P_y}{A_s} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- f_y = tegangan tarik baja, N
- P_y = besarnya gaya tarik pada saat leleh, MPa
- A_s = luas tulangan, mm²

3. Metode Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dikelompokkan dalam beberapa tahap, yaitu tahap persiapan bahan dan peralatan

penelitian , tahap pembuatan benda uji dan tahap pelaksanaan/pengujian.

3.1 Persiapan bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan beton bertulang adalah:

- a. Pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir dari Kali Krasak. Pasir tersebut mempunyai bentuk yang bulat, bersih dan mempunyai butir-butir yang halus.
- b. Semen. Semen yang digunakan adalah semen portland type I, merk dagang Semen Nusantara yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong dengan berat 50 kg/zak.
- c. Air. Air yang dipakai untuk pembuatan beton dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

d. Baja tulangan. Tulangan yang digunakan adalah tulangan deform D16 mm untuk tulangan utama dan tulangan polos D8 mm untuk tulangan sengkang. Tulangan diperoleh dari salah satu toko bahan bangunan yang ada di Yogyakarta.

e. Styrofoam. *Styrofoam* yang digunakan mempunyai berat jenis 15 kg/m³, dengan diameter butiran 1 – 4 mm. *Styrofoam* ini diperoleh dari salah satu toko yang ada di Yogyakarta

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan dan pengujian benda uji pada penelitian ini adalah:

- a. alat pengaduk beton dan cetakan benda uji,
- b. *load frame* (dilengkapi dengan rangka untuk tumpuan, perata beban),
- c. *hidraulik jack* (kapasitas 60 ton),
- d. *load cell + transducer* (kapasitas 60 ton),
- e. *dial gauge*,
- f. alat uji kuat tarik baja , kuat tekan beton dan uji kuat lekatan

3.2 Silinder beton

Silinder beton yang dibuat diambil dari campuran beton yang akan digunakan dalam balok benda uji.

Diharapkan kuat tekan silinder beton dapat mewakili kekuatan beton pada benda uji. Jumlah sampel sebanyak 3 buah. Prosedur uji tekan dilaksanakan berdasarkan SNI : 03 - 1974 - 1990, benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris, dan mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm² perdetik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur.

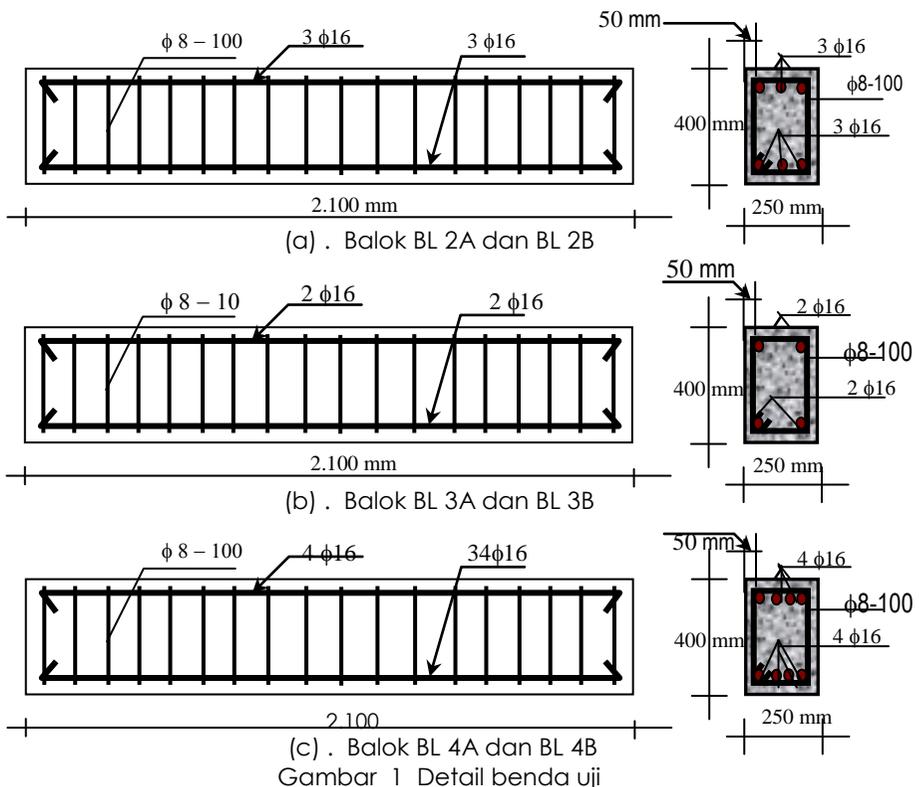
3.3 Pembuatan benda uji balok

Balok beton *styrofoam* yang diteliti pada penelitian ini dibuat dengan proporsi campuran antara : semen ; pasir ; styrofoam dan air, adalah : 350 kg semen, 200 kg pasir, 15 kg styrofoam (1 M³) dan air sebanyak 157,5 liter (nilai fas = 0,45).

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 6 buah dengan variasi tulangan, seperti nampak pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1 : Bentuk dan ukuran benda uji

No.	Nama	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Tulangan Sengkang	Jumlah Tulangan Tekan/Tarik
1	BL 2A	250	400	2.100	D8 - 100	2D16/2D16
2	BL 2 B	250	400	2.100	D8 - 100	2D16/2D16
3	BL 3 A	250	400	2.100	D8 - 100	3D16/3D16
4	BL 3 B	250	400	2.100	D8 - 100	3D16/3D16
5	BL 4 A	250	400	2.100	D8 - 100	4D16/4D16
6	BL 4 B	250	400	2.100	D8 - 100	4D16/4D16

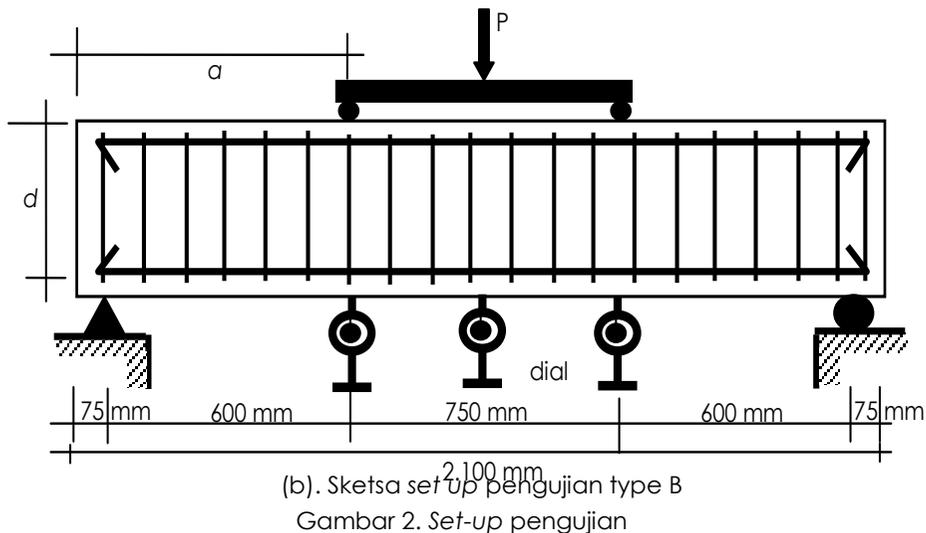
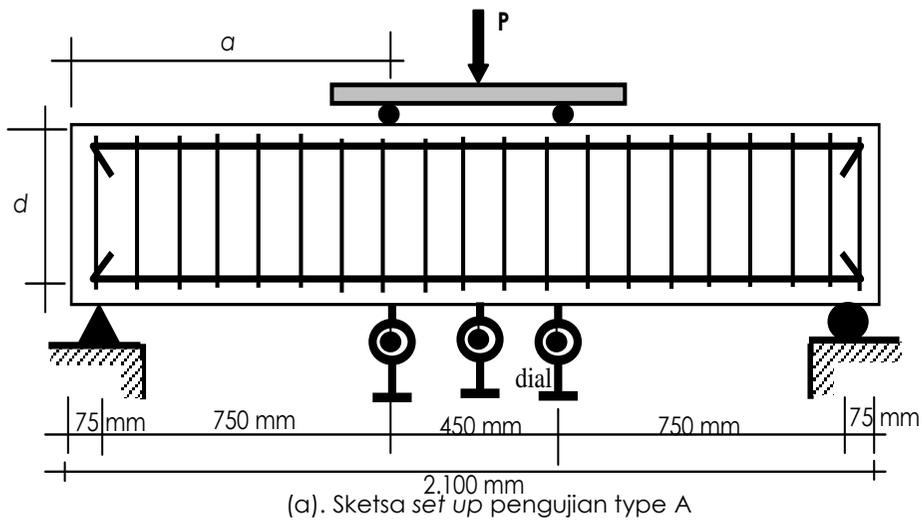


3. 4 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan setelah benda uji berumur lebih dari 28 hari. Setelah benda uji siap maka balok benda uji ditempatkan pada *loading frame* yang kuat dan ditumpu sendi – rol pada kedua ujungnya. Bentang bersih balok 1.950 mm. Untuk mengetahui apakah pada balok beton *styrofoam ringan* ada pengaruh dari perbandingan bentang geser (a) dengan tinggi efektif (d), maka pembebanan pada balok dilaksanakan *set up* pengujian dengan dua macam type pembebanan, yaitu :

- a. *Set Up* pengujian type A, beban P simetris pada titik-titik sejauh 750 mm dari masing-masing tumpuan, dengan jarak beban $P = 450$ mm. ($a/d > 2$).
- b. *Set Up* pengujian type B, beban P simetris pada titik-titik sejauh 600 mm dari masing-masing tumpuan, dengan jarak beban $P = 750$ mm. ($a/d < 2$).

Untuk mengetahui pola retak yang terjadi pada benda uji, permukaannya akan dilapisi cat putih. Untuk lebih jelasnya lihat *set up* pengujian pada Gambar 2



Gambar 2. *Set-up* pengujian

Pembebanan dilakukan dengan bantuan *hydraulic jack* yang mempunyai kapasitas 60 ton dan *load cell* yang mempunyai kapasitas 60 ton. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan interval kenaikan sebesar 500 kg. Pembebanan akan dihentikan apabila defleksi yang terjadi sudah cukup besar. Data yang akan dicatat 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 benda uji tersebut akibat pembebanan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Silinder beton

Benda uji silinder beton diuji setelah berumur 28 hari. Setelah dilakukan koreksi pada data hasil uji silinder beton dan kurva hubungan tegangan-regangan beton dikoreksi dengan persamaan (Carreira dan Chu), maka diperoleh grafik tegangan - regangan beton seperti Gambar 3.

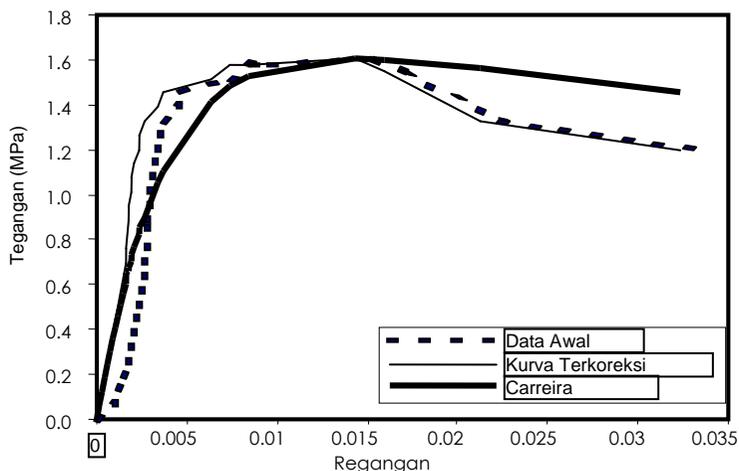
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata dari silinder adalah 1.60 MPa dengan besarnya regangan pada saat tegangan maksimum rata-rata adalah sebesar 0.0143. Modulus beton (E_c) yang diperoleh dari kemiringan garis pada kurva daerah elastis ($1/2 f_c'$) adalah sebesar 443 MPa. Berat silinder rata-rata 3.9 kg, volume rata-rata 0.005359 m³, sehingga berat satuan beton styrofoam = 727 kg/m³.

4.2 Kuat Tarik Tulangan

Dari hasil uji tarik baja tulangan *deform D16 mm*, diperoleh gambar grafik seperti Gambar 4.

Dari gambar 4 tersebut , dapat dilihat bahwa baja tulangan D16 mm mempunyai tegangan leleh (f_y) = 512 MPa, tegangan tarik maksimum (f_u) = 653 MPa, regangan pada saat leleh (ϵ_y) = 0.0026 sampai 0.0154. Regangan putusnya = 0.1807.

Sedangkan untuk baja polos D8 mm diperoleh grafik seperti pada Gambar 4. Dari grafik tersebut dapat di lihat bahwa baja tulangan D8 mm polos, mempunyai tegangan leleh (f_y) = 370 MPa, tegangan tarik maksimum (f_u) = 522 MPa, regangan pada saat leleh = 0.00185 sampai 0.0146. Regangan putusnya = 0.1897.



Gambar 3 Hubungan tegangan regangan silinder beton

4.3 Perhitungan Teoritis Kapasitas Beban Balok

Analisis kapasitas beban lentur balok beton styrofoam bertulang dihitung dengan analisis balok bertulangan rangkap dengan metode pias. Kapasitas geser balok beton dengan tulangan sengkang D8 – 100 mm, dihitung sesuai SK SNI T –15-1991-03 pasal 3.4.1, dengan koefisien untuk beton ringan (α)= 0.75. Hasil yang diperoleh seperti dalam Tabel 2.

4.4 Hasil pengujian balok

Kemampuan balok beton styrofoam bertulang dalam menahan beban dan besarnya lendutan yang terjadi untuk benda uji balok, dapat dilihat dalam Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.

Data hasil pengujian balok beton styrofoam bertulang dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 2 Kapasitas balok hasil analisis

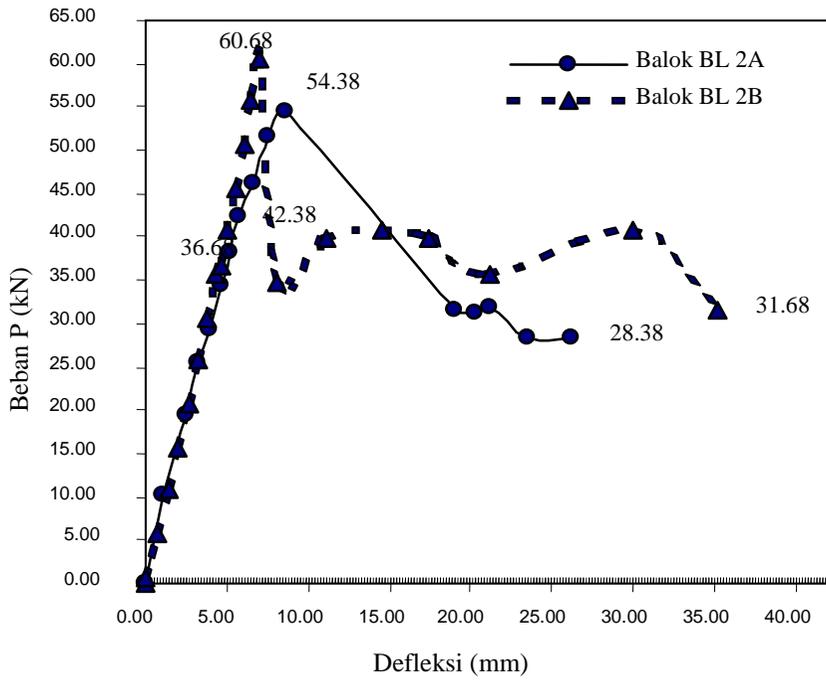
Kapasitas	Nama Balok					
	BL 2A	BL 2B	BL 3A	BL 3B	BL 4A	BL 4B
$\square M_n$ (kN m)	59.94	59.79	89.58	89.69	119.24	119.35
V_n (kN)	68.80	67.99	67.99	68.98	69.35	68.98
P_{Mn} (kN)	159.84	199.30	238.88	298.97	317.97	397.83
P_{Vn} (kN)	137.60	135.98	135.98	137.95	138.70	137.95

Tabel 3. Data hasil pengujian balok

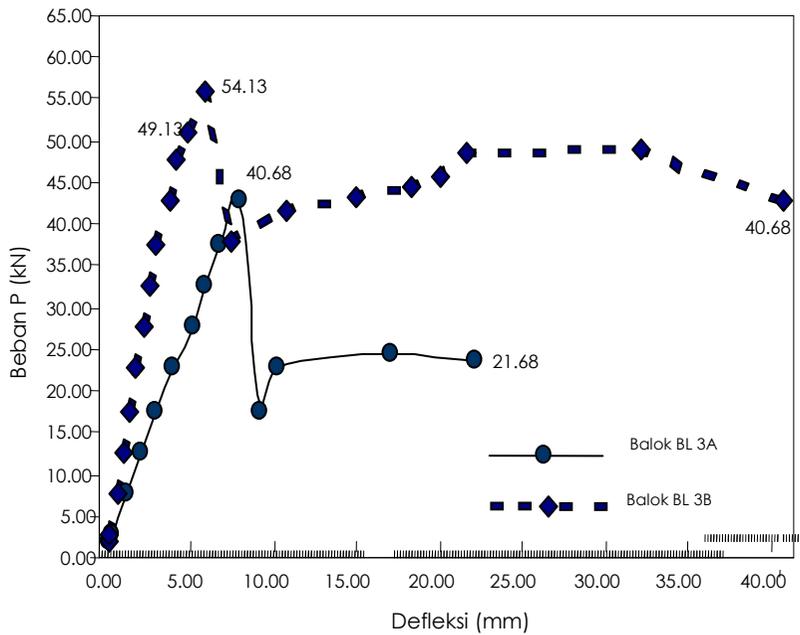
No.	Nama Balok	Dimensi Balok			Jarak tumpuan (m)	Jarak P dari tump. (m)	Hasil Pengujian		Jarak retak dari tump. (m)	Lendutan yang terjadi saat	
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang g (mm)			P_{Retak} (kN)	P_{Maks} (kN)		P_{Retak} (mm)	P_{Maks} (mm)
1	BL 2A	253.0	400.0	2105.0	1.95	0.75	44.23	56.23	0.63	6.65	8.67
2	BL 2B	250.0	400.0	2100.0	1.95	0.60	35.68	60.68	0.56	4.22	6.99
3	BL 3A	250.0	400.0	2100.0	1.95	0.75	40.68	40.68	0.55	7.92	7.92
4	BL 3B	250.0	405.0	2107.5	1.95	0.60	50.93	52.93	0.55	4.28	4.85
5	BL 4A	255.0	400.0	2103.5	1.95	0.75	35.68	60.68	0.53	2.75	6.84
6	BL 4B	250.0	405.0	2105.0	1.95	0.60	51.93	51.93	0.45	6.78	6.78

Tabel 4 Perbandingan beban analisis metode pias dengan beban pengujian

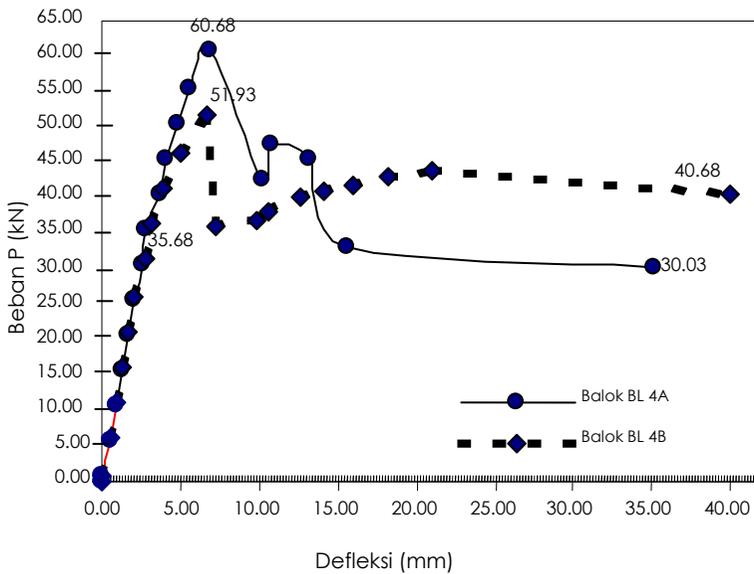
No.	Nama Balok	Teoritis		Pengujian P_{maks} (kN)	Pengujian/Teoritis	
		Metode Pias P_{Lentur} (kN)	Metode SNI $P_{Geser} \alpha=0.75$ (kN)		P_{Maks}/P_{Lentur} (%)	P_{Maks}/P_{Geser} (%)
1	Balok BL 2A	159.30	137.60	56.27	35.32	40.89
2	Balok BL 2B	199.30	135.98	60.68	30.45	44.62
3	Balok BL 3A	238.88	135.98	40.68	17.03	29.92
4	Balok BL 3B	298.97	137.95	52.93	17.70	38.37
5	Balok BL 4A	317.97	138.70	60.68	19.08	43.75
6	Balok BL 4B	397.83	137.95	51.93	13.05	37.64



Gambar 5. Hubungan beban dan defleksi balok BL 2A dan BL 2B



Gambar 6. Hubungan beban dan defleksi balok BL 3A dan BL 3B



Gambar 7. Hubungan beban dan defleksi balok BL 4A dan BL 4B

Tabel 4 Perbandingan beban analisis metode pias dengan beban pengujian

No.	Nama Balok	Teoritis		Pengujian	Pengujian/Teoritis	
		Metode Pias P_{Lentur} (kN)	Metode SNI $P_{Geser \alpha=0.75}$ (kN)	P_{maks} (kN)	P_{Maks}/P_{Lentur} (%)	P_{Maks}/P_{Geser} (%)
1	Balok BL 2A	159.30	137.60	56.27	35.32	40.89
2	Balok BL 2B	199.30	135.98	60.68	30.45	44.62
3	Balok BL 3A	238.88	135.98	40.68	17.03	29.92
4	Balok BL 3B	298.97	137.95	52.93	17.70	38.37
5	Balok BL 4A	317.97	138.70	60.68	19.08	43.75
6	Balok BL 4B	397.83	137.95	51.93	13.05	37.64

Tabel 5. Perbandingan beban geser balok dengan $\alpha = 0.30$

No.	Nama Balok	$P_{geser \text{ dgn } \alpha=0.30}$	$P_{maks \text{ pengujian}}$	Pengujian/Teoritis (%)
		(kN)	(kN)	
1	Balok BL 2A	55.04	56.27	102.23
2	Balok BL 2B	54.39	60.68	111.56
3	Balok BL 3A	54.39	40.68	74.79
4	Balok BL 3B	55.18	52.93	95.92
5	Balok BL 4A	55.48	60.68	109.37
6	Balok BL 4B	55.18	51.93	94.11

4.5 Perbandingan hasil analisis teoritis dan pengujian

Dengan data beban pengujian pada Tabel 3 di atas, kemudian

dibandingkan dengan beban analisis metode pias (Tabel 2), maka nampak seperti dalam Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa beban balok hasil pengujian jauh di bawah beban teoritis, karena terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan ini diakibatkan oleh terjadinya retak geser (retak miring) pada saat beban maksimum tercapai. Sesaat setelah beban maksimum, sebagian besar beban ditahan oleh tulangan, tetapi retak geser mengakibatkan terjadi selip

antara tulangan dan beton sehingga terjadi keruntuhan balok.

Analisis kapasitas geser balok beton styrofoam ringan bertulang yang menggunakan koefisien (α) untuk beton ringan sebesar 0,75 (sesuai SNI), tidak relefan digunakan. Berdasarkan hasil pengujian, dapat dihitung besarnya koefisien (α) untuk beton ini adalah :

$$\alpha = \frac{P_{\text{pengujian}}}{P_{\text{geser}}}$$

$$\text{Dimana : } P_{\text{pengujian rata-rata}} = \frac{56.27 + 60.68 + 40.68 + 52.93 + 60.68 + 51.93}{6}$$

$$= 53.86 \text{ kN}$$

$$P_{\text{geser rata-rata}} = \frac{137.60 + 136.3 + 136.3 + 137.88 + 138.48 + 137.88}{6(0.75)}$$

$$= 183.21 \text{ kN}$$

$$\alpha = \frac{53.86}{183.21} = 0.30$$

Kapasitas Geser (V_n) dari balok BL 2A adalah:

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{dan } V_c = 0.30 \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) b_w d = 0.30 \left(\frac{1}{6} \sqrt{1.6} \right) 253 (344)$$

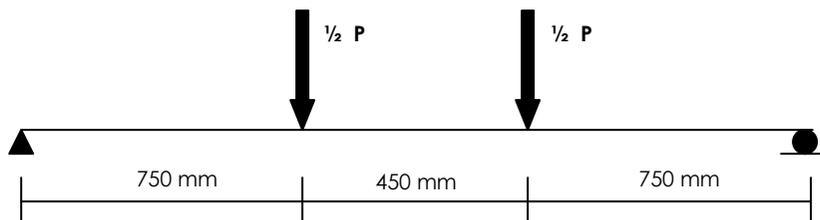
$$= 5504.39 \text{ N} = 5.50 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ maks}} = 0.30 \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d = 0.30 \frac{2}{3} \sqrt{1.6} (253) 344$$

$$= 22017.55 \text{ N} = 22.02 \text{ kN}$$

$$\text{maka: } V_n = 5.50 + 22.02 = 27.52 \text{ kN}$$

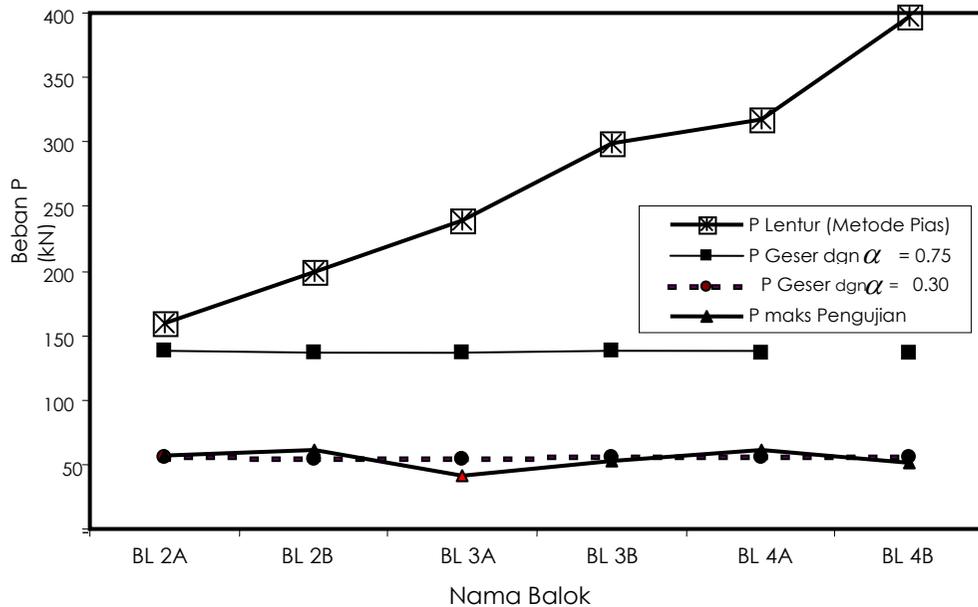
Kebutuhan gaya P untuk geser (P_{Vn}) lihat Gambar 8



Gambar 8. Kondisi pembebanan balok beton

$$P_{Vn} = 2 V_n$$

$$= 2 (27.52) = 55.04 \text{ kN}$$



Gambar 9 Kapasitas Kuat Lentur Balok

4. 6 Pola retak balok

Retak awal yang terjadi pada balok adalah retak geser (retak halus) yang terjadi pada daerah bentang geser. Seiring dengan penambahan beban, retak halus merambat miring menuju titik pembebanan pada sisi tekan beton (retak geser). Setelah beban maksimum, retak geser tadi melebar diikuti dengan lendutan balok yang cukup besar sehingga beban hidraulik turun dengan drastis. Retak hanya terfokus pada satu tempat, yaitu pada daerah retak awal tadi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis teoritis dan pengujian yang dilakukan padat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian silinder beton styrofoam menghasilkan kuat tekan beton rata-rata (f_c') = 1.60 MPa, modulus elastisitas rata-rata beton styrofoam (E_c) = 443 MPa, regangan ultimate rata-rata beton styrofoam (ϵ_c') = 0.0143, dengan berat jenis rata-rata = 727 kg/m³.
2. Beton styrofoam bersifat daktail, sehingga analisis kapasitas momen

nominal balok (M_n) teori beton normal (SNI) yang mengasumsikan regangan beton (ϵ_c') = 0.003 tidak relevan digunakan.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, penambahan tulangan tarik tidak menaikkan kapasitas momen nominalnya, karena pada balok terjadi keruntuhan geser.
4. Untuk mengalisis kapasitas geser balok beton styrofoam ringan bertulang digunakan koefisien (α) = 0,30
5. Pengaruh dari perbandingan bentang geser (a) dengan tinggi efektif (d), tidak nampak secara signifikan pada balok beton styrofoam ringan ini.
6. Pola retak yang terjadi umumnya adalah retak yang terfokus pada satu daerah di mana terjadi retak awal. Retak ini makin melebar seiring dengan penambahan beban sampai pada keruntuhan balok.

5.2 Saran

Dari penelitian ini saran yang dapat diberikan adalah :

1. Styrofoam yang digunakan dalam membuat beton ringan, perlu

- diperhatikan berat jenis dan ukuran butirannya.
2. Perlu diadakan studi lanjut tentang beton styrofoam ringan ini, terutama untuk menaikkan kuat tekan beton, ketahanan terhadap api, zat kimia dan lain sebagainya.
- 6. Daftar Pustaka**
- Cowd. M.A., 1991, *Kimia Polimer*, Penerbit ITB, Bandung
- Dipohusodo. I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, PT, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Nawy Edward. G, 1998, *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar*, Cetakan II, P.T. Aditama, Bandung,
- Park. R and Paulay. T, 1975, *Reinforced Concrete Structures*, A Wiley - Interscience Publication, New York - London - Sydney - Toronto
- Tjokrodimuljo. K., 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta,
- Wahyudi. L dan Rahim. S. A., 1999, *Struktur Beton Bertulang*, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta
- Wang, Chu-Kia and Salmon .C.G, 1985, *Disain Beton Bertulang*, Jilid I, Edisi IV, Erlangga, Jakarta,
- Winter. G. dan Nilson. A.H.,1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta