Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Tulang Berongga Akibat Perbedaan Kuat Tarik Tulangan

Analysis of the Bending Capacity of Hollow Bone Concrete Beams Due to Differences in Tensile Strength of Reinforcements

Syahrul Sariman^{1*}, Rita Irmawaty²

*Email: syahrul.sariman@universitasbosowa.ac.id

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa

¹Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Diterima: 17 September 2021 / Disetujui: 24 Desember 2021

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menetapkan karakteristik lentur balok beton tulang berongga akibat perbedaan kuat tarik tulangan. Dalam penelitian ini digunakan balok beton bertulang dengan mutu beton $f'_c=27\text{Mpa}$ dan dimensi 150x350mm, Panjang 3300mm dengan tulangan pokok 3D16mm dengan kuat leleh $f_y=475\text{ Mpa}$ (type WS) dan $f_y=324\text{MPa}$ (type RM). Setiap balok dengan type tulangan yang berbeda terdiri dari 3 balok yang dibedakan menurut panjang rongganya dan diberi notasi BR3A, BR3B dan BR3C. dengan tinggi rongga tetap : 180mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rongga tidak mempengaruhi kapasitas setiap balok dalam memikul momen. Perbedaan kapasitas momen lentur disebabkan oleh perbedaan kuat tarik baja tulangan.

Kata Kunci: Kuat Tarik Baja Tulangan, Beton Bertulang, Rongga Botol Plastik

ABSTRACT

This study aims to determine the flexural characteristics of hollow reinforced concrete beams due to differences in the tensile strength of reinforcement. In this study used reinforced concrete beams $f'_c=26.85\text{ MPa}$ and dimensions 150x350mm, length 3300mm. Bar reinforcement of 3D16mm with $f_y=475\text{Mpa}$ (WStype) and $f_y=324\text{MPa}$ (RMtype). Each beam with a different type of reinforcement consists of 3 beams that are distinguished by the length of the hollow which is namely BR3A, BR3B and BR3C. with a fixed hollow height (180mm). The results showed that hollows variations did not affect the carrying capacity of the moment. Different of capacity bending moment is caused by the difference in the tensile strength of the reinforcement.

Keywords: Tensile Strength of Reinforcement, Reinforced Concrete, Plastic Bottle Hollows

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

A. PENDAHULUAN

Dasar pemikiran timbulnya struktur balok beton bertulang berongga diawali dengan perilaku struktur balok bertulang dalam memikul beban lentur. Akibat momen lentur serat atas akan tertekan dan serat bawah akan tertarik. Dalam kondisi seimbang, kekuatan tarik yang dipikul oleh

baja tulangan dibuat sama dengan kekuatan tekan yang dipikul oleh penampang beton diatas garis netral, dengan demikian ada bagian beton dibawah garis netral yang tidak diperhitungkan memikul gaya tekan, sehingga bagian tersebut dapat dihilangkan atau dibuat berlobang. Ilustrasi mengenai

mekanisme kerja balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 1

Gambar 1. Balok Beton Bertulang Yang Memikul Beban Lentur

Tujuan pemberian rongga pada balok beton bertulang adalah agar struktur menjadi lebih ringan, mereduksi produksi semen sebagai material dasar pembuatan beton, menyiapkan tempat untuk fasilitas utilitas dan dapat dimanfaatkan untuk penampungan limbah. Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan balok beton bertulang berongga antara lain dengan menggunakan pipa PVC, seperti yang dilakukan oleh Jain Joy, et al (2014), Aswathy S Kumar, et al (2015), Anju Varghese, et al (2016), Nibin Varghese et al (2016), Dhinesh.N.P, et al (2017) dan N Parthiban, et al (2017). Penelitian P. Sivaneshan, 2017, memanfaatkan bola Polythene daur ulang plastik, kemudian dimasukkan dalam campuran beton.

Bentuk lain dari pemanfaatan limbah produk plastik adalah dengan menempatkannya sebagai pembentuk rongga seperti pada penelitian Rahadyanto (2013). dengan tujuan khusus bagaimana

menempatkan botol pada saat pengecoran beton karena adanya sifat mengambang pada botol akibat tekanan keatas dari beton yang baru dicor, Penelitian dilakukan dengan menggunakan balok beton berongga botol plastic dengan mutu beton yang berbeda (K300 dan K400). Hasil test menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh rongga dan mutu beton terhadap kapasitas lentur balok uji.

Penelitian lainnya yang menyangkut pemanfaatan botol plastik sebagai pembentuk rongga pada balok, dilakukan oleh Mathew, I et al (2016) dengan menempatkan rangkaian botol plastik pada garis netral balok (N0B)), dibawah garis netral (N10B0), dan sekaligus dibawah garis netral dan pada garis netral (N10B10).

Tegangan tarik akibat beban yang timbul pada struktur beton bertulang sepenuhnya dipikul oleh tulangan baja. Dalam memikul tegangan tarik ada 4 daerah yang dibentuk dari hubungan tegangan regangan yang diperoleh dari pengujian tarik yakni a). daerah elastis, b). daerah plastis c). daerah strain hardening dan d) daerah necking. Karakteristik tulangan baja hasil uji Tarik yang dinyatakan dqlqm hubungqn tegangan – regangan dapat dilihat pada gambar 2

Gambar 2. Diagram Regangan dan Tegangan Hasil Uji Tarik Baja

Daerah elastis dimulai dari titik O sampai batas proporsional, yang merupakan kurva linier dengan peningkatan regangan berbanding lurus dengan kenaikan tegangan. Selanjutnya **daerah plastis** dari batas proporsional (titik leleh) ditandai dengan adanya peningkatan regangan tanpa adanya peningkatan tegangan yang berarti. Menurut Nasution, A (2009), Kelelahan terjadi karena adanya pergeseran internal pada material baja ditingkat atom. Selanjutnya daerah “*strain hardening*” ditandai dengan adanya peningkatan tegangan seiring dengan pertambahan regangan sampai kurva mencapai puncak, yang diakibatkan oleh berkurangnya luas penampang spesimen pada titik tertentu. Tegangan maksimum pada kurva disebut tegangan tarik batas atau kuat batas (*ultimate strength*). Selanjutnya memasuki daerah “*Necking*” yang diawali dari puncak kurva yang selanjutnya terjadi pertambahan regangan namun tegangan berkurang sampai akhirnya material putus.

Menurut Park & Paulay (1933), apabila beban bekerja pada balok maka kondisi seimbang antara tegangan – regangan akan lenyap dan diagram tegangan tekan pada penampang balok beton akan berbentuk setara dengan kurva tegangan – regangan tekan seperti terlihat pada gambar 3 :

Gambar 3. Diagram Regangan Dan Tegangan Balok Beton Bertulang

Pada kondisi plastis tegangan beton tekan akan membentuk kurva nonlinier.

Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan – Regangan Kondisi Plastis

Besar gaya-gaya dalam :

$$\text{Gaya Tekan : } C_c = 0,85 f'_c b a \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Gaya Tarik : } T_s = A_s f_y \dots\dots\dots (2)$$

dan keseimbangan gaya dalam $C_c = T_s$ memberikan hasil tinggi blok tegangan : a

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots (3)$$

$$\text{letak garis netral } c = a / \beta_1 \dots\dots (4)$$

Momen Nominal :

$$M_n = C (d - a/2) \text{ atau}$$

$$M_n = T (d - a/2) \dots\dots\dots (5)$$

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear. dan terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya rupture (Nawy, 1996). Hubungan beban – lendutan dapat diilustrasikan sebagaimana mana gambar 3 berikut

Gambar 5. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

Keterangan

- Daerah I : Taraf praretak, batang-batang strukturalnya bebas retak.
 Daerah II : Taraf pascaretak, batang-batang strukturalnya mengalami retak- terkontrol baik distribusinya maupun lebarnya.
 Daerah III : Taraf *pasca-serviceability*, tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.

Oleh karena bervariasinya kuat Tarik tulangan yang tersedia di pasaran maka perlu dilakukan penelitian yang berkaitan dengan kuat Tarik baja tulangan tersebut. Penelitian ini melanjutkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, khususnya

mengenai perilaku lentur balok bertulang dengan botol plastik sebagai pembentuk rongga yang ditempatkan pada penampang tarik. Untuk mengetahui pengaruh rongga terhadap kuat lentur balok beton bertulang, efektifitas rongga dan hubungan beban - lendutan pada balok beton tulang berongga yang berbeda kuat Tarik tulangnya dilakukan uji lentur dengan menggunakan 2 (dua) jenis tulangan baja dengan kuat Tarik yang berbeda. Karakteristik tulangan yang digunakan hasil pengujian kuat Tarik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian 2 Jenis Besi Tulangan WS dan MR

Jenis Tulangan	WS 16 SNI	RM 16 SNI
Berat Benda Uji, kg/L mm	0.4518	0.4422
Diameter benda Uji	15.62	15.6372
Luas Penampang, mm ²	191.63	192.0528
Beban Leleh, KN	91.13	62.3412
Beban Tarik Maks, KN	117.53	97.0707
Kekuatan Leleh, N/mm ²	475.58	324.5365
kekuatan Tarik Maks, N/mm ²	613.33	505.4552
Regangan kondisi leleh, %	0.0023	0.0016
Modulus Elastisitas (MPa)	203036.7697	200369.1598

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kapasitas memikul momen pada balok beton bertulang berongga akibat perbedaan kuat Tarik tulangan. efektifitas volume rongga terhadap kinerja balok beton bertulang yang menggunakan tulangan yang berbed dan perbandingan hubungan beban -lendutan pada balok beton bertulang rongga dengan perbedaan kuat Tarik tulangan.

B. METODE PENELITIAN

1. Dimensi Benda Uji Balok

Dimensi Balok dalam penelitian adalah : Lebar balok : $b = 150$ mm; tinggi balok : $h = 350$ mm ; tinggi efektif : $d = 307,5$ mm. Tulangan tarik 3 D16 mm dengan 2 variasi kuat tarik, yakni $f_y : 475$ MPa (type WS) dan $f_y : 325$ MPa. (Type RM). Tulangan bagi : $2\phi 8$ mm. Tulangan sengkang, di tumpuan : $\phi 8-100$ dan di lapangan $\phi 8-150$ mm Panjang balok : $L = 3300$ mm (bentang bebas : 3000 mm). Mutu beton $f'_c : 27$ MPa, Pada bagian tarik dibawah garis netral dipasang lapisan bekas kemasan botol minuman plastik dengan tinggi 3 lapis botol dan panjang yang bervariasi.

2. Desain Penelitian

Perhitungan kapasitas balok beton bertulang dalam memikul momen lentur dilakukan melalui diagram tegangan whitney sebagaimana Gambar 6. Sedangkan proses perhitungan kapasitas beban yang dapat dipikul oleh penampang dapat dilihat pada Tabel 2.

Gambar 6. Diagram Tegangan Whitney

Tabel 2. Perhitungan Kapasitas balok normal

URAIAN		JENIS BESI TULANGAN	
URAIAN	SATUAN	WS 16	MR 16
a Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen	mm	65.90	45.09
c Tinggi garis netral	mm	77.53	53.05
Z1 jarak titik berat pasangan baja - Beton	mm	291.05	301.46
Cc = Gaya tekan beton = $0.85 f'_c \cdot a \cdot b$	N	225593.51	154358.47
Z2 jarak titik berat pasangan baja - baja	mm	292.00	292.00
Ts = Gaya tarik baja tekan $C_s = A_{s2} \cdot f_y$	mm	47810.06	32625.97
Z jarak titik berat Gaya tarik dan tekan	mm	291.22	299.81
Tinggi Rongga max = $d - 80 - c$	mm	192.47	216.95
Mn = Momen ultimate = $C_c \cdot Z_1 + T_s \cdot Z_2$	Nmm	79619755.33	56058950.04
	kN m	79.62	56.06
P Beban batas = $(M_n \cdot 1.4033) / 0.6$	kN	130.36	91.09

3. Variabel dan Notasi sample

Nilai variable dan notasi sampel dapat dilihat apda Tabel 3 dibawah ini

Tabel 3. Notasi Benda Uji

NO	Panjang Rongga	Tinggi rongga	Kuat Tarik baja	Notasi Benda Uji	Jumlah Sampel
1	4 botol (880 mm)	3 lapis (180 mm)	475	BR1A WS	1
			324	BR1A RM	1
2	8 botol (1760 mm)	3 lapis (180 mm)	475	BR2A WS	1
			324	BR2A RM	1
3	12 botol (2640 mm)	3 lapis (180 mm)	475	BR3A WS	1
			324	BR3A RM	1

4. Sketsa Benda Uji

Sktrsa benda uji dapat dilihat apda Gambar 7 dibawah ini.

Gambar 7. Sketsa Variasi rongga

5. Pembuatan Benda Uji

Pengecoran dimulai dari dasar balok uji dan dihentikan pada tinggi 70 mm. Setelah itu botol plastik ditempatkan pada permukaan beton, sesuai dengan variasi tinggi dan panjang yang telah ditetapkan. Pengecoran kemudian dilanjutkan sampai bekisting penuh. Semua balok uji dirawat selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian lentur.

Gambar 8. Pengecoran Benda Uji

6. Set Up Pengujian

Beberapa alat pengukur regangan (strain gauges) ditempatkan pada tulangan memanjang dan tulangan geser. Strain gauge juga ditempatkan pada permukaan beton. Strain gauge digunakan untuk mengukur regangan baja dan beton. Lokasi penempatan strain gauge diperlihatkan pada Gambar 9

Gambar 10 menunjukkan pengaturan pembebanan benda uji. Semua balok diuji dengan 4 titik pembebanan menggunakan aktuator dengan beban maksimum 1500 kN. Suatu load cell dengan kapasitas 200

kN capacity digunakan untuk mengukur besarnya beban. Pemberian beban dilakukan 2 kN per step sampai terjadi retak pertama pada beton, pemberian beban selanjutnya dilakukan dengan 5 kN per step sampai beban maksimum. Tiga buah LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) digunakan untuk mengukur lendutan balok. Dua LVDT ditempatkan dibawah titik pembebanan, dan satu LVDT ditempatkan pada titik ditengah bentang. Semua data dicatat secara otomatis menggunakan *data logger*.

Gambar 9 Penempatan Strain Gauge

Gambar 10 Setup Pengujian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Beban dan Momen Lentur

Hasil penelitian mengenai beban dan momen lentur dapat dilihat pada Tabel 4. dimana menunjukkan data beban dan lendutan pada kondisi retak awal, pada saat

tulangan leleh dan pada kondisi beban ultimate, untuk setiap variasi panjang rongga dan perbedaan kuat tarik leleh tulangan.

Tabel 4. Data Kapasitas Lentur

Specimen	Kode Tulangan Balok	Beban Ultimate.	Momen Ultimate.
		Pu (kN)	Mn (kN) m
BR3A	WS	137.28	83.7713
	RM	105.77	64.8653
BR3B	WS	135.54	82.7273
	RM	102.96	63.1793
BR3C	WS	136.81	83.4893
	RM	107.09	65.6573

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas memikul beban lentur, tidak dipengaruhi oleh adanya rongga pada balok dengan tulangan WS dan balok Tulangan MR. Perbedaan kapasitas memikul beban dan momen lentur diakibatkan oleh adanya perbedaan kuat Tarik tulangan. Perbandingan kapasitas memikul beban dan lendutan juga dapat dilihat pada Gambar 11

Gambar 11. Perbandingan Kapasitas Memikul Beban Balok WS dan RM

2. Ratio Momen Dan Berat Balok

Ratio kapasitas momen dan berat balok beton bertulang menunjukkan tingkat efisiensi balok. Semakin besar Ratio

momen dan berat balok berarti semakin efisien balok tersebut. Tabel 5 dan Gambar 12 memperlihatkan Ratio momen dan berat balok untuk setiap jenis balok berongga dengan perbedaan jenis tulangan

Tabel 5. Ratio Momen dn Berat Balok

Specimen	Kode Tulangan Balok	Berat W	Momen Mu	Ratio Mu/ W
		kN	kN m	
BR3A	WS	3.7540	83.7713	22.32
	RM	3.7572	64.8653	17.26
BR3B	WS	3.4254	82.7273	24.15
	RM	3.4335	63.1793	18.40
BR3C	WS	3.0198	83.4893	27.65
	RM	3.0068	65.6573	21.84

Gambar 12. Grafik Ratio Momen Ultimate Vs Berat Balok

Gambar 12 menunjukkan bahwa ratio momen -berat balok cenderung meningkat. Pada balok BR3C WS meningkat 23.9 % terhadap balok BR3A WS. Sedangkan pada balok bertulangan baja BR3C RM meningkat 26,5 %. terhadap ratio momen – berat balok BR3A RM.

3. Hubungan Beban dan Lendutan

Hubungan beban dan lendutan dibagi atas 3 phase, yakni kondisi retak awal, kondisi tulangan Tarik leleh dan kondisi

beban ultimate. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6 yang kemudian dibuat grafiknya dalam Gambar 13. Pada kondisi retak awal, nilai beban pada semua specimen menunjukkan nilai yang sama. Semua bagian penampang masih dalam kondisi utuh. Pada kondisi tulangan leleh, terlihat bahwa Kapasitas beban balok rongga bertulangan WS lebih besar dibanding kapasitas balok berongga dengan tulangan RM. sementara lendutan pada balok bertulangan WS cenderung lebih besar dibanding balok bertulangan RM, walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada kondisi beban ultimate balok beton rongga yang menggunakan besi tulangan WS, mempunyai kapasitas beban yang lebih tinggi dibanding dengan balok bertulangan RM. nilainya cukup signifikan yakni rata-rata 29,72%.. Perbedaan yang cukup signifikan justru terjadi akibat perbedaan volume rongga. Terlihat bahwa pada balok BR3B terjadi peningkatan lendutan sebesar 9.5 % dibanding balok BR3A, sedangkan pada balok BR3C, peningkatan lendutan sebesar 55.5 % terhadap balok BR3A.

Tabel 6. Pengujian Beban Lendutan Varian Balok Pada 3 Tahap Pembebanan

Specimen	Kode Tulangan Balok	Retak awal		Tulangan Lelah		Beban Ultimate.	
		Per (kN)	Δcr (mm)	Py (kN)	Δy (mm)	Pu (kN)	Δu (mm)
BR3A	WS	12.93	0.41	120.62	12.59	137.28	22.09
	RM	12.60	0.81	88.03	9.955	105.77	20.56
BR3B	WS	9.56	0.5	116.62	13.26	135.54	22.31
	RM	11.26	1.105	97.36	10.8	102.96	24.37
BR3C	WS	10.2	0.49	114.89	13.34	136.81	30.94
	RM	11.06	0.82	95.56	11.02	107.09	35.39

Gambar 13. Hubungan Beban Lendutan Balok Bertulangan WS dan MR

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa perbedaan kemampuan memikul beban dan momen lentur pada semua varian rongga diakibatkan oleh perbedaan kuat tarik Baja tulangan Tipe WS dan tipe RM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi balok BR3C lebih baik dibanding balok BR3A dan BR3B, baik pada balok yang menggunakan tulangan type WS maupun pada balok bertulangan tipe RM. Perbedaan kuantitas rongga tidak mempengaruhi kemampuan balok memikul beban baik pada kondisi retak, kondisi tulangan leleh maupun pada saat beban ultimate. Perbedaan signifikan justru terjadi pada lendutan, Balok dengan rongga terpanjang menunjukkan nilai lendutan yang paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

Dhinesh.N.P, and Satheesh. S.V. (2017), "Flexural Behaviour of Hollow Square Beam, IJSEAS, Volume-3, Issue-3, March 2017, pp. 236 – 242.

- Djamaluddin, R, (2013), "Flexural Behaviour of External Reinforced Concrete Beams", Proceedings of the 2nd ICRMCE, Sebelas Maret Univ 2013.
- Irmawaty, R., Djamaluddin, R, Malim, Wa O. A. R, (2016), "Flexural Behavior Of Styrofoam-Filled Concrete, IJEsCA, vol. 3, 1, May 2016, hal. 9 – 14.
- Joy, J , Rajeev, R. (2014), "Effect of Reinforced Concrete Beam with Hollow Neutral Axis", IJSRD, Vol. 2, Issue 10, 2014. pp. 341 – 348
- Kumar,A.S, Joy, A (2015) "Experimental Investigation on Partial Replacement of Concrete Below Neutral Axis of Beam", IJSR, Vol. 4-- 8, Aug 2015, pp1670 – 1674.
- Mathew, I and Varghese S.M, (2016), "Experimental Study on Partial Replacement of Concrete in and Below Neutral Axis of Beam", IJIRT, Volume 3 Issue 4, September 2016, pp.188 - 192
- Park, R & Paulay, T. (1975), Reinforced concrete Structures, A Willey Interscience Publication, John Willey & Sons, New York
- Parthiban, N and Neelamegam, M (2017), "Flexural Behavior Of RC Beam With Hollow Core In Shear Section, IRJET, Volume: 04 Issue: 04 April -2017, pp, 2263 - 2274
- Rahardyanto,(2013),"Studi eksperimen tal balok berongga dengan limbah botol PET", Jurnal Penelitian FT UI.
- Sariman, S, and Nurdin, A.R, (2018), "Flexural Behaviour of T-Shaped RC Hollow Beam with Plastic Bottle Waste", IJCIET, Vol.9, Issue4, Apr. '18, pp.534–543,
- Syahrul Sariman, Herman Parung, Rudy Djamaluddin dan Rita Irmawaty, (2020) "Flexural characteristic of RC Beam with hollow core variation in Tension Area" Journal of Engineering & Applied Science (JEAS), ISSN 1816-949X, Vol. 15 Issue 6, January 2020, pp 1537 – 1543, Medwell Publications,
- Varghese, A Basil. M.J, (2016), "Experimental and Numerical Studies on Reinforced Concrete Hollowcore Sandwich Beams", IJRSET, Vol. 5, Issue 8, August 2016, pp.14730 – 14737.
- Varghese, N, Joy.A, (2016), Flexural Behaviour of RC Beam with Hollow Core at Various Depth, IJSR, Volume 5 Issue 5, May 2016, pp. 741 – 746.