

ANALISIS KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN VARIASI PANJANG RONGGA PADA PENAMPANG TARIK

Syahrul Sariman¹, Herman Parung², Rudy Djamaluddin³ dan Rita Irmawaty⁴

¹ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: syahrul_sariman@yahoo.co.id

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: parungherman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: rudi_djamaluddin@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: rita_irmaway@yahoo.co.id

ABSTRAK

Prinsip perhitungan suatu struktur balok diatas 2 tumpuan sederhana dalam memikul beban lentur, bagian tekan dipikul oleh penampang beton sedangkan bagian tarik sepenuhnya dipikul oleh besi tulangan, dengan demikian ada penampang beton pada bagian tarik dibawah garis netral yang tidak diperhitungkan memikul beban. Bagian penampang tersebutlah yang diisi dengan botol plastik, agar diperoleh struktur yang lebih ringan, mengurangi volume beton/semen dan reduksi pencemaran lingkungan. Dalam penelitian ini digunakan balok beton bertulang dengan mutu beton $f'_c = 25$ Mpa dan dimensi $150 \times 350 \times 3300$ mm, dengan tulangan pokok 3D16 mm dengan kuat leleh $f_y = 450$ MPa. Benda Uji terdiri dari 3 (tiga) type balok berongga dengan tinggi tetap yakni 180 mm (3 lapis botol) dan dibedakan menurut panjangnya yakni 880 mm (4 botol) - BR3A, 1760 mm (8 botol) - BR3B dan 2640 mm (12 botol) - BR3C yang dipasang pada tengah bentang, dan 1 balok uji utuh sebagai balok kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kapasitas memikul beban lentur untuk kesemua varian balok, relatif sama. Hubungan beban - lendutan sampai pada kondisi tulangan leleh relatif sama, namun terlihat bahwa ratio beban lendutan balok normal tidak berbeda jauh dengan BR3A (98,32 %), tetapi ratio beban lendutan BR3B = 90,29 % dan BR3C = 88,41 % dari balok normal. Hal ini menunjukkan bahwa rongga pada daerah momen lentur murni memberikan kekakuan yang relatif sama dengan kekakuan balok normal, namun kekakuan balok yang panjang rongganya melewati daerah lentur murni memberikan perbedaan nilai yang cukup signifikan terhadap kekakuan balok normal. Pola retak menunjukkan bahwa retak awal terkonsentrasi pada area rongga, baru kemudian menyebar keluar area rongga seiring pertambahan beban.

Kata kunci: balok beton bertulang , rongga botol plastik, uji lentur

1. PENDAHULUAN

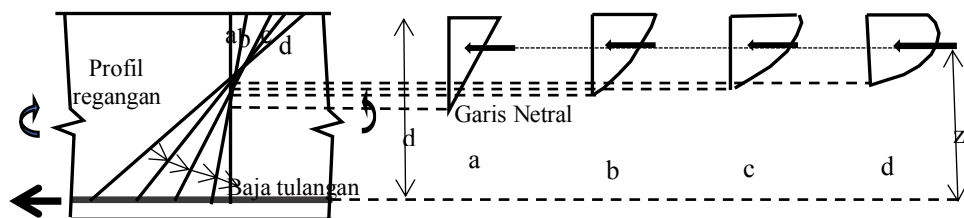
Prinsip perhitungan struktur balok beton bertulang yang memikul momen lentur sebagaimana halnya girder jembatan beton bertulang adalah tegangan tekan dipikul oleh penampang beton sedangkan pada bagian tarik beton sama sekali tidak diperhitungkan untuk menyumbangkan kekuatan, tegangan tarik yang terjadi sepenuhnya dipikul oleh baja tulangan. dengan demikian ada penampang beton pada bagian tarik dibawah garis netral yang tidak diperhitungkan memikul beban. Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan karakteristik lentur tersebut antara lain dengan pembuatan balok beton berlapis, sesuai penelitian Wikana, dkk (2007), Djamaluddin, R (2013), Irmawaty R, dkk (2016), dan Varghese, A. et al (2016), pembuatan lubang pada bagian-bagian tertentu sesuai penelitian, Amir, M.Y, (2010), Noorhidana V.A.dkk (2011) dan Satheesh et al (2017). Balok berongga menggunakan pipa PVC, sesuai penelitian Dhinesh et al, (2017), Joy It al (2014), Parthiban et al (2017) dan Varghese, N, et al (2016). Penelitian Kunal J, et al (2017) menggunakan bola plastik sebagai pembentuk rongga dengan memasukkan bola plastik ke dalam campuran beton pada saat pengecoran balok beton bertulang. Bentuk lain dari balok berongga adalah dengan pemanfaatan limbah botol plastik sebagai pembentuk rongga seperti pada penelitian Rahardyanto (2013), dengan tujuan khusus memperoleh cara yang mudah dalam pembuatan

rongga pada balok, Penelitian ini dilakukan terhadap 6 (enam) balok hollow uji berukuran 200x400x3850 mm dengan mutu beton yang berbeda yaitu K-300 dan K-400, dengan 3 botol plastik yang disusun pada tengah bentang. 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). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku lentur relatif sama untuk semua balok. Bila dibandingkan kemampuan balok dengan pengurangan berat sendiri setiap balok uji, maka balok N10B0 yang paling efektif kemudian balok N10B10. Penelitian S. Sariman, dkk, (2018), menggunakan balok T berongga botol plastik dengan variasi lebar manfaat, juga menunjukkan perilaku lentur yang relatif sama untuk kesemua varian balok uji. Penelitian ini melanjutkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, khususnya mengenai perilaku lentur balok beton bertulang menggunakan botol plastik sebagai pembentuk rongga yang diletakkan pada penampang tarik. Panjang rongga dibuat dalam 3 (tiga) variasi dengan tinggi tetap, kemudian diteliti kemampuan memikul beban untuk setiap variasi panjang rongga dan dibandingkan dengan balok normal. Pengujian lentur dilakukan dengan metode 4 titik tumpu, agar dapat diketahui perbedaan kekakuan balok khususnya pada kondisi lentur.

2. LANDASAN TEORI

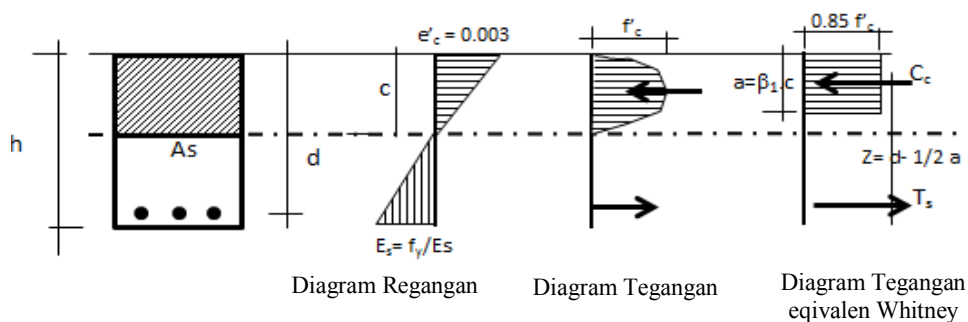
Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Menurut Park & Paulay (1933), apabila suatu 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 1. berikut :



Gambar 1. Diagram regangan dan tegangan balok beton bertulang kondisi seimbang

Pada kondisi plastis tegangan beton tekan akan membentuk kurva nonlinier. Kurva tegangan di atas garis netral berbentuk sama dengan tegangan– regangan beton. Kurva tegangan non linier tersebut kemudian disederhanakan oleh Whitney sebagaimana Gambar 2. berikut :



Gambar 2. Grafik hubungan tegangan – regangan kondisi plastis

Besar gaya-gaya dalam :

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

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

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

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

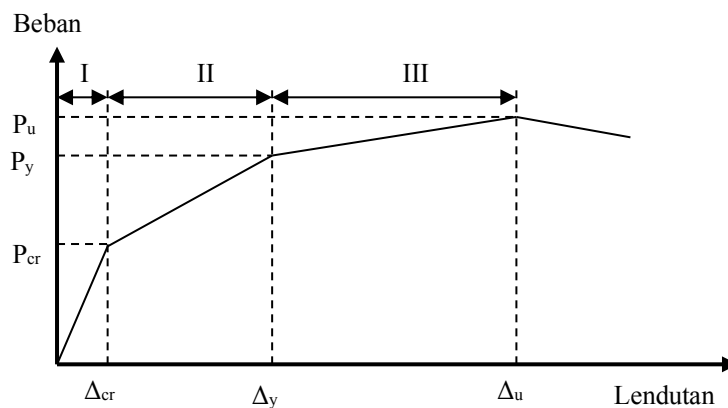
letak garis netral $c = a / \beta_1$ (4)

Momen Nominal: $M_n = C (d - a/2)$ (5)

atau $M_n = T (d - a/2)$ (6)

Hubungan Beban Lendutan

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulangan pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture* (Nawy, 1996), sebagaimana Gambar 3. berikut :



Gambar 3. Grafik hubungan beban dan lendutan

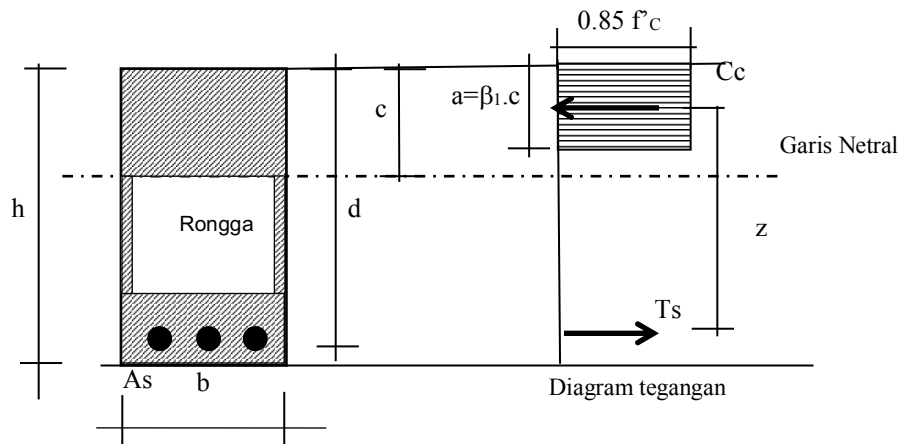
Daerah I : Taraf praretak, batang-batang strukturalnya bebas retak.

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.

Balok Beton Bertulang Berongga

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. Mekanisme terbentuknya momen lawan pada balok berongga dapat dilihat pada Gambar 4. berikut :



Gambar 4. Penampang balok berongga

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan adanya rongga pada penampang tarik:

- Struktur menjadi lebih ringan
- Mereduksi produksi semen sebagai material dasar pembuatan beton.
- Menyiapkan tempat untuk fasilitas utilitas
- Dapat dimanfaatkan untuk penampungan limbah

3. METODE PENELITIAN

Dimensi Benda Uji Balok

Dimensi Balok dalam penelitian ini menggunakan penampang balok jembatan standar Bina Marga skala 1 : 3 sebagai berikut : Lebar balok : $b = 150 \text{ mm}$; tinggi balok : $h = 350 \text{ mm}$; tinggi efektif : $d = 307,5 \text{ mm}$. Tulangan tekan 2D22 mm, Tulangan bagi : 2 ϕ 8 mm. Tulangan sengkang, di tumpuan : ϕ 8–100 dan pada daerah lentur murni = ϕ 8– 200 mm, Panjang balok : $L = 3300 \text{ mm}$ (bentang bebas : 3000 mm)

Mutu beton $f'_c : 25 \text{ MPa}$, Mutu baja tulangan $f'_c = 470 \text{ Mpa}$

Pada bagian tarik dibawah garis netral dipasang lapisan bekas kemasan botol minuman plastik dengan tinggi tetap dan panjang yang bervariasi.

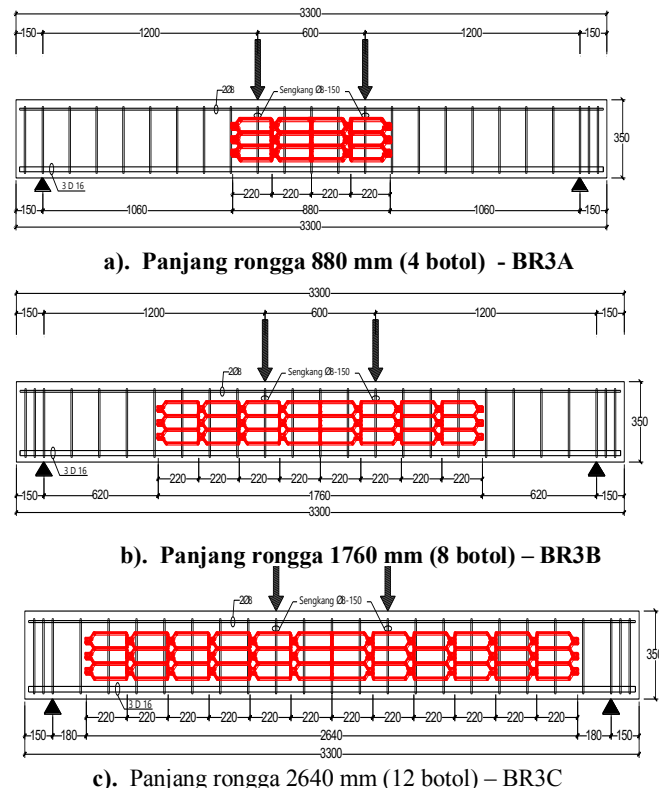
Variabel dan Notasi Benda Uji

Benda uji terdiri 3 (tiga) buah balok normal dan sembilan balok yang terdiri dari masing-masing 3 spesimen untuk setiap variasi panjang rongga. Dalam pengujian ini digunakan botol plastik bekas kemasan air minum 600 ml, dengan panjang 22 cm dan diameter 60 mm. Tabel 1. berikut memberikan gambaran mengenai data spesimen.

Tabel 1. Data variasi, notasi dan jumlah benda uji

NO	Panjang Rongga	Tinggi rongga	Notasi Benda Uji	Banyaknya Benda Uji
1	0 mm	0	BN	1
2	4 botol (880 mm)	3 lapis (180 mm)	BR3A	1
3	8 botol (1760 mm)	3 lapis (180 mm)	BR3B	1
4	12 botol (2640 mm)	3 lapis (180 mm)	BR3C	1

Sketsa Variasi Benda Uji



Gambar 5. Sketsa Variasi luas penampang rongga

Pembuatan Benda Uji

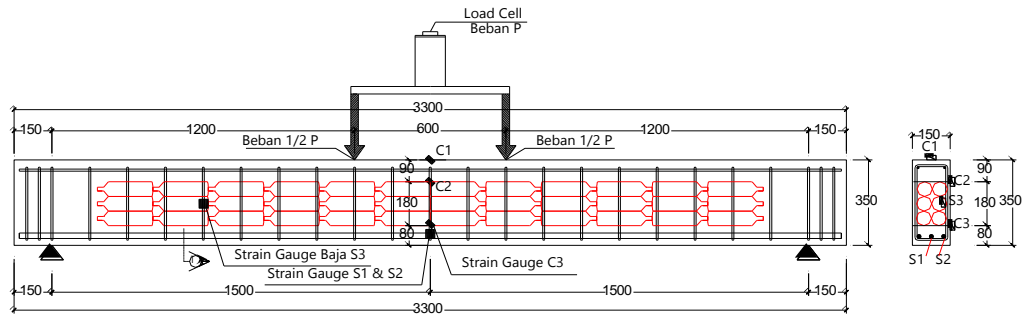
Gambar 6. memperlihatkan pengecoran balok uji. Pengecoran dimulai dari dasar balok uji dan dihentikan pada tinggi 70 mm. Setelah itu botol plastik ditempatkan pada permukaan beton, sesuai dengan variasi tinggi dan panjang yang telah ditetapkan. Pengecoran kemudian dilanjutkan sampai bekisting penuh. Semua balok uji dirawat selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 6. Pengecoran benda uji

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 7.



Gambar 7. Lokasi *Strain Gauge*



Gambar 8. Setup Pengujian

Gambar 8. 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 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*.

4. Hasil dan Pembahasan

Berat dan Beban Maksimum

Hasil pengukuran berat dan pengujian beban maksimum disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Berat dan Kemampuan memikul beban

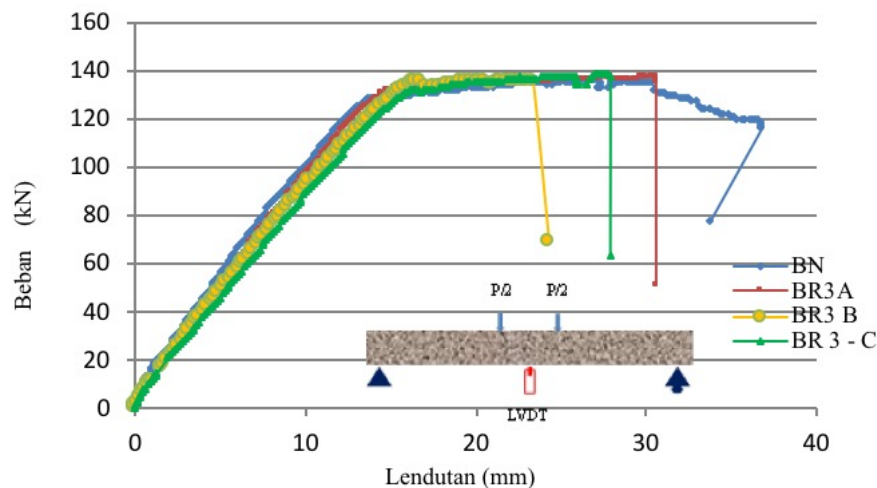
Benda Uji	Berat (kN)	Kapasitas beban (kN)	Keterangan
BN	425.5	136.079	Gagal Lentur
BR3A	383.5	137.280	Gagal Lentur
BR3B	350.5	135.544	Gagal Lentur
BR3C	313	138.411	Gagal Lentur

Berat benda uji menunjukkan perbedaan yang signifikan. Berat balok uji BR3A yang hanya terdiri dari satu lapis botol plastik mempunyai berat 383.5 kN atau sebesar 89.1 % terhadap berat balok normal, BR3B (panjang 8 deret botol) dan BR3C (panjang 12 deret botol) beratnya berturut 82.4% dan 73.6%

terhadap balok Normal yang beratnya 425.5 kN. Walaupun terjadi penurunan berat yang cukup signifikan sesuai dengan panjang deretan botol yang dipasang, namun kapasitas memikul beban maksimum pada setiap varian balok tidak berbeda signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa balok berongga cukup efektif digunakan pada struktur yang memerlukan berat yang tidak terlalu besar.

Hubungan Beban – Lendutan

Hubungan antara beban dan lendutan pada tengah bentang disajikan pada Gambar 9.



Gambar 7. Grafik hubungan beban - lendutan

Tabel 3. Hubungan Beban dan Lendutan pada setiap kondisi

Specimen	Retak awal		Tulangan Lelah		Beban Ultimate.	
	P _{cr} (kN)	Δ _{cr} (mm)	P _y (kN)	Δ _y (mm)	P _u (kN)	Δ _u (mm)
BN	12.60	0.50	120.68	12.39	136.08	27.11
BR3A	12.93	0.41	120.62	12.59	137.28	22.09
BR3B	9.56	0.50	116.620	13.26	135.54	22.31
BR3C	10.20	0.49	114.89	13.34	136.81	30.94

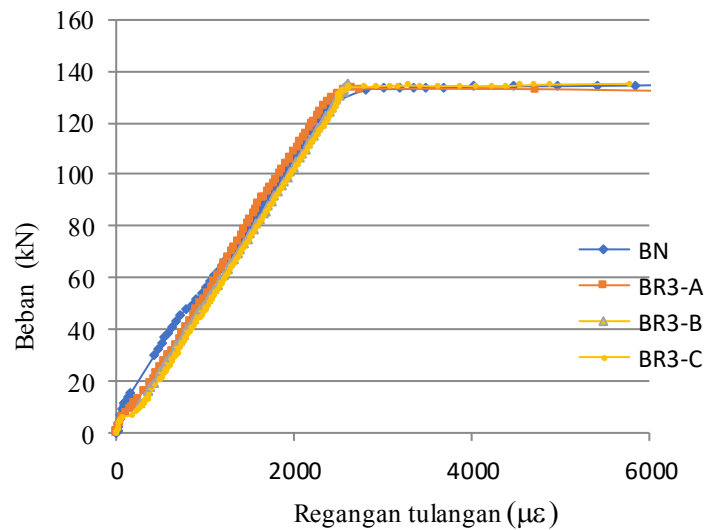
Dari tabel 3 dan Gambar 9, memperlihatkan kemampuan memikul beban dan lendutan yang terjadi pada setiap kondisi. Setelah retak pertama terjadi maka tegangan akibat beban luar berangsur-angsur ditransfer ke tulangan tarik balok beton bertulang.

Pada kondisi retak awal, pada balok Normal (BN) terjadi pada beban 12,60 kN dan pada balok BR3A retak awal terjadi pada beban sebesar 12.93 kN, menunjukkan nilai yang hampir sama dengan balok Normal. Sedangkan pada balok BR3B beban pada kondisi retak awal nilainya 9.56 kN atau 71.50 % dari beban retak awal balok normal dan balok BR3C sebesar 10.20 kN atau 76.30 % dari balok normal.

Pada kondisi tulangan lelah, beban pada balok BR3A sebesar 120,62 kN kurang lebih sama dengan beban tulangan lelah pada balok Normal (BN) sebesar 120.68 kN. Sedangkan beban pada kondisi tulangan lelah balok BR3B sebesar 116,62 kN dan BR3C sebesar 114.89 kN menunjukkan penurunan yang cukup signifikan terhadap Balok Normal. BR3A merupakan spesimen balok uji dengan rongga yang terletak dalam area momen murni, sedangkan BR3B dan BR3C merupakan balok dengan rongga yang melewati area momen murni.

Namun demikian pada semua varian balok uji, menunjukkan bahwa kapasitas memikul beban maksimum tidak memberikan perbedaan yang signifikan.

Beban dan Regangan



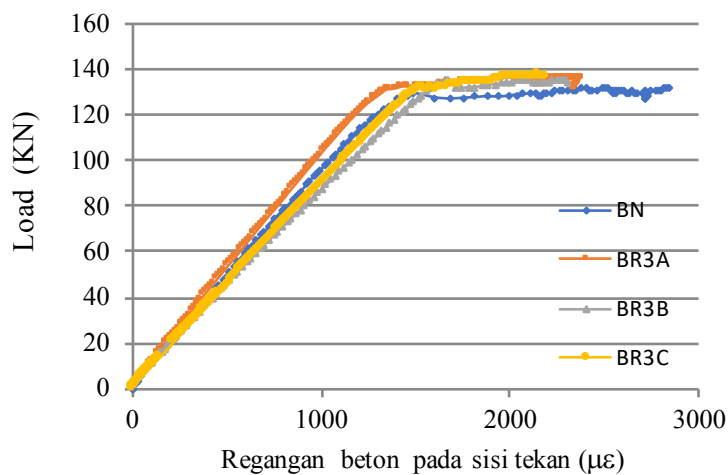
Gambar 10. Hubungan beban dan regangan tulangan

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara beban dan regangan tulangan. Regangan tulangan terlihat melampaui nilai 2100×10^6 pada setiap benda uji yang mengindikasikan bahwa tulangan telah leleh.

Hubungan antara beban dan regangan beton dikemukakan pada Tabel 4 dan Gambar 11.

Tabel 4. Regangan beton pada beban ultimate

No	Specimen	Pu	ϵ_c
		kN	$\mu\epsilon$
1	BN	136.079	2520.2
2	BR3A	137.278	2364.4
3	BR3B	135.546	2245.2
4	BR3C	138.411	2255.8



Gambar 11. Hubungan beban dan regangan beton pada sisi atas balok

Nilai regangan beton pada beban ultimate sebagaimana Tabel 4. diatas menunjukkan bahwa nilai regangan paling besar terjadi pada balok Normal ($2520 \mu\epsilon$), sedangkan regangan beton pada spesimen lainnya lebih kecil. Demikian pula halnya pada kurva hubungan beban dan regangan beton yang menunjukkan bahwa puncak kurva terletak pada nilai $< 2000 \mu\epsilon$. Hal ini mengidentifikasi bahwa regangan beton belum mencapai regangan lelehnya, artinya keruntuhan dari keempat benda uji merupakan keruntuhan tulangan tarik (*under reinforced failure*).

Pola Retak

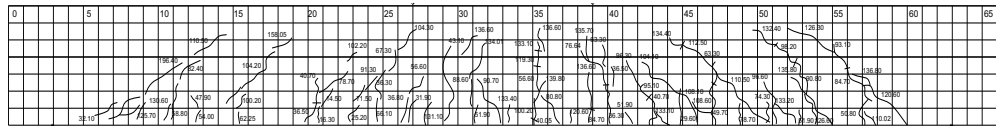


Fig 10 a). Pola retak Balok Uji BN

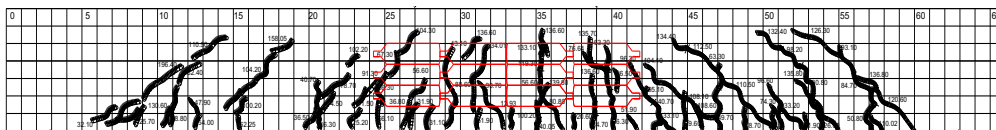


Fig. 10 b). Pola retak Balok Uji BR3A

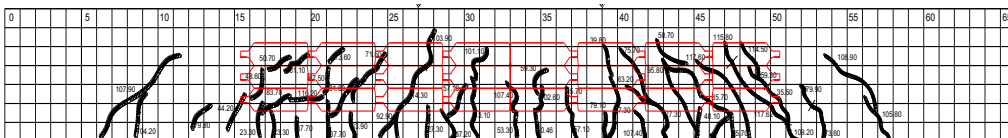


Fig 10 c). Pola retak Balok Uji BR3B

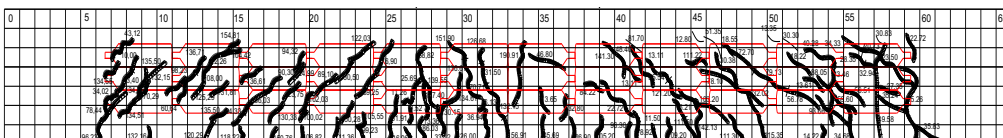


Fig 10 d). Pola retak Balok Uji BR3C

Gambar 12. Pola Retak Balok Uji

Gambar 12. menunjukkan tipikal pola retak pada setiap balok uji. Balok Uji BN mengindikasikan pola retak pada balok dengan tulangan lemah. Dengan penambahan beban secara bertahap, setelah munculnya retak awal diikuti retakan lain dengan penyebaran retakan yang ada. Penyebaran retakan bergerak menuju ke area beton tekan. Pada balok rongga retakan panjang cenderung terkonsentrasi pada daerah rongga.

Secara umum keretakan menunjukkan bahwa tipe kegagalan adalah retak diagonal yang polanya relatif sama pada semua spesimen. Pada awalnya retak terkonsentrasi pada area rongga baru kemudian menyebar pada area di luar rongga.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Kapasitas lentur balok beton bertulang dengan rongga menggunakan botol plastik hampir sama dengan kapasitas lentur balok normal. Selain itu pengaruh panjang rongga juga tidak signifikan pada kapasitas lentur, balok dengan rongga yang lebih panjang menunjukkan kapasitas lentur yang hampir sama dengan balok dengan rongga yang lebih pendek.

2. Kekakuan balok beton bertulang dengan rongga yang lebih panjang cenderung lebih kecil dibanding balok beton dengan rongga yang lebih pendek, walaupun berdasarkan kurva beban – lendutan kekakuannya tidak berbeda signifikan.
3. Pola retak balok Normal (BN) menunjukkan pola retak yang merata sepanjang balok, sedangkan pada balok berongga, pola retak pada awalnya cenderung terkonsentrasi pada area rongga, selanjutnya baru menyebar keluar area rongga.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, M.Y., Sulisty D, dan Supriyadi B. (2011). Perilaku Lentur Pada Keadaan Layan dan Batas Balok beton Bertulang Berlubang Memanjang, *Semesta teknika*, vol. 14, no. 1, hal. 41-51.
- Dhinesh N.P, and Satheesh. S.V. (2017). Flexural Behaviour of Hollow Square Beam, *IJSEAS*, Volume-3, Issue-3, pp. 236 – 242.
- Djamaluddin, R, (2013). Flexural Behaviour of External Reinforced Concrete Beams”, *Proceedings of the 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*, Sebelas Maret University.
- Irmawaty, R. Djamaluddin, R. Malim, dan Wa O. A. R, (2016). Flexural Behavior Of Styrofoam-Filled Concrete, *IJECA*, vol. 3, 1, hal. 9 – 14.
- Joy, J ,Rajeev, R. (2014). Effect of Reinforced Concrete Beam with Hollow Neutral Axis, *IJSRD*, Vol. 2, Issue 10, pp. 341 – 348.
- Kumar, A.S. and Joy, A (2015). Experimental Investigation on Partial Replacement of Concrete Below Neutral Axis of Beam, *IJSR*, Volume 4 Issue 8, pp1670 – 1674.
- Kunal, J, Angalekar, S.S, and Taware, A.A. (2017). Study on Influence of Polyethylene Teraphthalate (PET) Bottles in Concrete Section, *IJSETR*. Volume 06, Issue 7, pp. 1178 – 1181.
- 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, pp.188 – 192.
- Noorhidana, V dan Purwanto, E. (2011). Pengaruh pelubangan pada badan balok beton bertulang terhadap kapasitas beban lentur, *Jurnal Rekayasa* Vol.15 No.2, hal. 151 – 162.
- 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: pp, 2263 – 2274.
- Rahardyanto, (2013). Studi eksperimental balok berongga dengan pemanfaatan limbah botol PET, *Jurnal Penelitian FT UI*.
- Satheesh, V.S and Nyosu, B, (2017). Flexural Behavior of Hollow RC beam using Glass Fiber, *IJSTE*, Volume 3, Issue 09, March 2017, pp.347 – 356.
- Sariman, S, and Nurdin, A.R. (2018). Flexural Behaviour of T Shaped RC Hollow Beam with Plastic Bottle Waste, *IJCIET*, Volume 9, Issue 4, April 2018, pp. 534–543.
- Wikana, I dan Widayat, Y, (2007). Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beton Yang Berbeda, *Majalah Ilmiah UKRIM*, Edisi 2 th XII/2007.
- 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.