

Hubungan Beban Dan Lendutan Terhadap Balok Beton Bertulang Berongga

Rismawati Razak¹, Syahrul Sariman², Eka Yuniarto³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

E-mail: rismawati2763@gmail.com

Artikel info

Artikel history:

Diterima: 06-01-2025

Direvisi: 02-05-2025

Disetujui: 30-09-2025

Abstract. When a beam structure is loaded, it is held in compression by concrete while the tension area is fully carried by reinforcing steel, so that the concrete cross-section in the tension section below the neutral line is not considered to be carrying the load. So in the concrete tension area filled with plastic bottles, in order to obtain a lighter structure, reduce the volume of concrete/cement and reduce environmental pollution. In this study used reinforced concrete beams with dimensions of 175 x 350 x 3200 mm. The test object consists of 3 (three) namely 1 normal beam and 2 hollow beams with the same length, namely 2640 mm and differentiated according to height, namely 120 mm (2 layers of bottles)-BR2 and 180 mm (3 layers of bottles)-BR3. The test results show that the load-deflection relationship is relatively the same. This shows that the voids in the pure bending moment area provide relatively the same stiffness as the normal beam stiffness. The crack patterns for all test results show that normal and hollow beams experience flexural failure..

Abstrak. Suatu struktur balok pada saat mendapatkan beban, di daerah tekan ditahan oleh beton sedangkan daerah tarik sepenuhnya dipikul oleh besi tulangan, sehingga pada penampang beton pada bagian tarik dibawah garis netral yang tidak diperhitungkan memikul beban. Maka di daerah tarik beton yang diisi dengan botol plastik, agar diperoleh struktur yang lebih ringan, mengurangi volume beton/semen dan mengurangi pencemaran lingkungan. Dalam penelitian ini digunakan balok beton bertulang dengan dimensi 175 x 350 x 3200 mm. Benda Uji terdiri dari 3 (tiga) yaitu 1 balok normal dan 2 balok berongga dengan panjang yang sama yaitu 2640 mm dan dibedakan menurut tingginya yakni 120 mm (2 lapis botol)-BR2 dan 180 mm (3 lapis botol)-BR3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Hubungan beban – lendutan sampai pada kondisi relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa rongga pada daerah momen lentur murni memberikan kekakuan yang relatif sama dengan kekakuan balok normal. Pola retak untuk semua hasil pengujian menunjukkan balok normal dan berongga mengalami keruntuhan lentur.

Keywords:

Beton Bertulang Berongga,
Lendutan, Lentur, Retak Beton

Coresponden author:

Email: rismawati2763@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang telah dikenal dan digunakan secara luas oleh masyarakat sejak lama. Keberadaannya menjadi elemen fundamental dalam konstruksi modern, baik untuk bangunan gedung, jembatan, jalan raya, maupun infrastruktur publik lainnya. Tingginya tingkat penggunaan beton didorong oleh berbagai keunggulan yang dimilikinya dibandingkan dengan material konstruksi lain. Di antara keunggulan tersebut adalah harga yang relatif ekonomis, kemudahan dalam proses pengerjaan dan pemeliharaan, kemampuan dibentuk sesuai kebutuhan desain, ketahanan terhadap cuaca ekstrem, resistansi terhadap korosi, serta sifat yang relatif lebih tahan api. Oleh karena itu, beton memiliki peranan strategis dalam menunjang pembangunan dan secara tidak langsung mempengaruhi kualitas serta suasana hidup masyarakat.

Secara teknis, beton terbentuk melalui campuran semen, air, dan agregat yang mengalami proses pengerasan akibat reaksi kimia hidrasi. Semen berfungsi sebagai pengikat utama yang, bersama dengan air, membentuk pasta untuk merekatkan agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh proporsi campuran, kualitas material penyusun, serta metode pencampuran dan pemasakan yang digunakan.

Seiring dengan percepatan pembangunan infrastruktur, kebutuhan akan beton meningkat secara signifikan. Peningkatan ini menyebabkan eksplorasi sumber daya alam secara intensif, khususnya agregat alam seperti pasir dan kerikil. Pengambilan material yang berlebihan dari lingkungan tanpa mempertimbangkan daya dukung ekosistem dapat memicu kerusakan lingkungan, erosi, hilangnya habitat biota, serta gangguan terhadap keseimbangan alam. Selain itu, produksi semen sebagai komponen utama beton menimbulkan permasalahan

lingkungan yang kompleks.

Industri semen umumnya menggunakan bahan bakar fosil dalam jumlah besar, yang berkontribusi pada emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO₂), salah satu penyebab utama pemanasan global. Proses pembakaran klinker pada suhu tinggi tidak hanya memancarkan emisi, tetapi juga memicu dampak fisik langsung bagi lingkungan sekitar pabrik, seperti tingkat kebisingan tinggi dan getaran mekanis dari peralatan industri. Gangguan tersebut dapat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan pekerja maupun masyarakat di sekitar area produksi. Oleh karena itu, keberlanjutan pemanfaatan beton perlu mempertimbangkan dua aspek krusial, yaitu durability (keawetan) beton itu sendiri dan dampak lingkungan dari proses produksinya.

Meskipun beton memiliki banyak keunggulan, material ini juga memiliki kelemahan mendasar, salah satunya adalah kuat tarik yang rendah. Kelemahan ini umumnya diatasi dengan menambahkan baja tulangan sehingga terbentuk beton bertulang, yang mampu menahan gaya tarik sekaligus memanfaatkan keunggulan beton dalam menahan gaya tekan. Selain itu, beton memiliki berat jenis yang relatif tinggi, sehingga elemen struktural yang terbuat dari beton cenderung memiliki beban mati yang besar. Hal ini menuntut adanya inovasi desain untuk mengurangi berat sendiri struktur tanpa mengorbankan kekuatan dan kestabilan.

Salah satu pendekatan yang telah dikembangkan adalah penggunaan elemen beton bertulang dengan rongga di dalamnya. Struktur berongga memungkinkan pengurangan volume beton yang digunakan, sehingga mengurangi berat total elemen struktur. Pengurangan berat ini dapat memberikan berbagai keuntungan, antara lain menurunkan beban mati bangunan, mengurangi dimensi fondasi, serta meningkatkan efisiensi penggunaan material. Untuk membentuk rongga tersebut, diperlukan material pengisi yang ringan, tidak bereaksi dengan beton, dan memiliki biaya yang ekonomis.

Dalam konteks keberlanjutan dan pengelolaan limbah, plastik menjadi salah satu masalah lingkungan yang serius. Limbah plastik, khususnya yang berbasis Polyethylene Terephthalate (PET), banyak dihasilkan dari botol minuman sekali pakai. Plastik PET bersifat anorganik buatan dengan struktur kimia yang sangat stabil, sehingga sulit terurai secara alami. Waktu yang dibutuhkan untuk degradasi plastik di lingkungan dapat mencapai ratusan tahun. Kondisi ini menjadikan limbah plastik sebagai ancaman signifikan terhadap ekosistem darat maupun perairan.

Pemanfaatan kembali limbah botol plastik PET sebagai material pengisi rongga pada beton bertulang berongga menjadi salah satu inovasi yang menjanjikan. Selain mengurangi beban mati struktur, penggunaan limbah plastik sebagai void former juga berpotensi mengurangi jumlah limbah plastik yang mencemari lingkungan. Secara teknis, botol plastik PET dapat diposisikan pada cetakan beton sebelum proses pengcoran, sehingga membentuk rongga permanen setelah beton mengeras. Pemilihan plastik PET didasari oleh sifatnya yang ringan, tahan terhadap degradasi kimia, dan tidak bereaksi dengan pasta semen.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk memahami kinerja struktural balok beton bertulang berongga yang memanfaatkan limbah botol plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai pembentuk rongga, khususnya dalam kaitannya dengan hubungan antara beban dan lendutan. Struktur beton berongga menawarkan keunggulan berupa pengurangan berat sendiri elemen, namun modifikasi ini berpotensi memengaruhi perilaku deformasi dan kekakuan di bawah pembebaan. Analisis hubungan beban-lendutan menjadi penting untuk memastikan bahwa pengurangan berat tidak mengorbankan kekuatan, keamanan, maupun durabilitas struktur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi secara kuantitatif respon balok beton bertulang berongga terhadap pembebaan, membandingkannya dengan balok beton padat, serta menilai sejauh mana pemanfaatan limbah plastik PET dapat diaplikasikan secara teknis dan berkelanjutan dalam desain struktur beton.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan dilaboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

2.2. Tahapan Pengumpulan Data

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, maka perlu direncanakan tahapan pelaksanaan. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah:

1. Uji kuat lentur

Pada pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengetahui perilaku lentur penampang yaitu hubungan beban-lendutan, kekakuan dan daktilitas pada balok beton bertulang berongga. sesuai dengan tujuan penelitian

2. Pengamatan dan penggambaran pola retak di balok uji yang dilakukan setiap tahap pembebaan.

2.3. Notasi Dan Jumlah Sampel

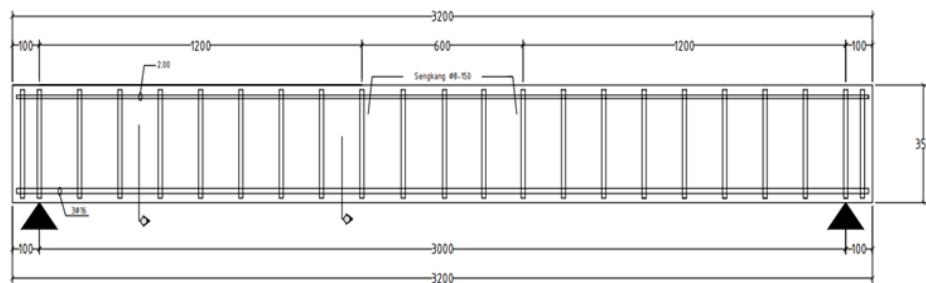
Tabel 1. Variasi Benda Uji

No	Uraian	Benda Uji	Panjang Rongga	Tinggi Rongga	Notasi	Banyaknya
----	--------	-----------	----------------	---------------	--------	-----------

					Benda Uji	Benda Uji
1	Uji kuat lentur	Balok Beton Bertulang	0 mm	0	BN	1
2		Balok Beton Bertulang Berongga	12 Botol (2640 mm)	2 lapis (120 mm)	BR2	1
3		Balok Beton Bertulang Berongga	12 Botol (2640 mm)	3 lapis (180 mm)	BR3	1
		Jumlah				3

2.4. Sketsa Benda Uji

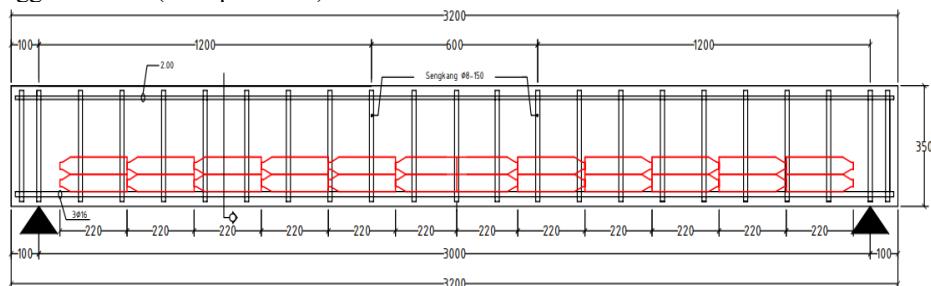
Balok Normal (BN)



Gambar 1. Sketsa Benda Uji Balok Normal (BN)

BALOK BERONGGA 2 (BR2)

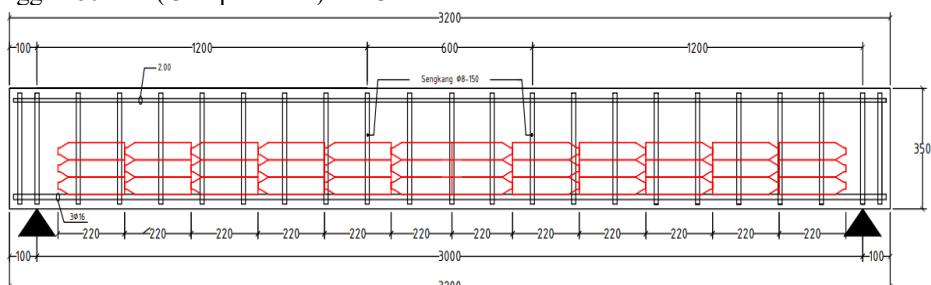
Tinggi Rongga 120 mm (2 Lapis Botol)- BR2



Gambar 2. Sketsa Benda Uji Balok Berongga 2 Lapis Botol (BR2)

BALOK BERONGGA 3 (BR3)

Tinggi Rongga 180 mm (3 Lapis Botol)- BR3



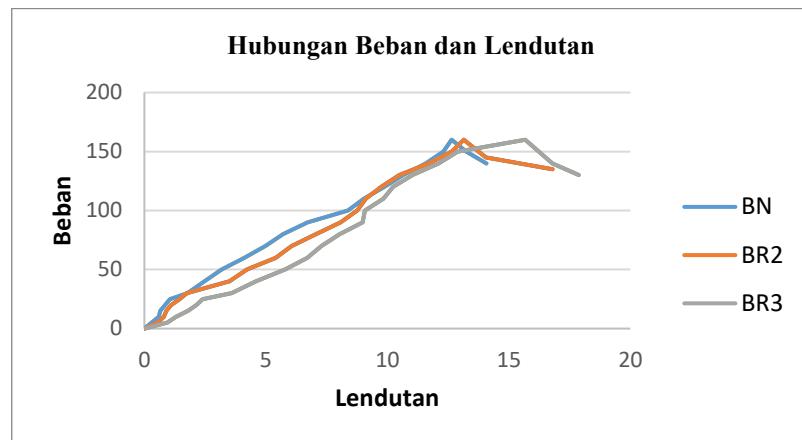
Gambar 3. Sketsa Benda Uji Balok Berongga 2 Lapis Botol (BR2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Hubungan Beban Dan Lendutan

JENIS BALOK	BEBAN MAKSIMUM		LENDUTAN mm
	Teoritis	Pengujian	
BN	10000	0,59	16949,15
BR2	5000	0,55	9090,9
BR3	5000	0,94	5319,15

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4. Grafik Hubungan Beban Dan Lendutan Terhadap Benda Uji

Terlihat pada grafik Load-Deflection dalam pengujian di laboratorium bahwa semua benda uji memiliki perilaku struktur dan kapasitas maksimum yang tidak jauh berbeda.. Pada beban maksimum 140 kN balok BN menunjukkan lendutan sebesar 14,08 mm, pada balok BR2 dengan beban maksimum 135 kN lendutan sebesar 16,80 mm dan balok BR3 dengan beban maksimum 130 kN lendutan sebesar 17,88 mm.

Lendutan pada BR2 dan BR3 lebih besar daripada BN karena pada BR2 dan BR3 yang memiliki rongga mengakibatkan berat baloknya lebih ringan dibandingkan BN. Beberapa penelitian terdahulu juga menghasilkan bahwa hubungan beban dan lendutan tidak dipengaruhi karena adanya perlemahan beton pada bagian tarik penampang dan kurva beban lendutan dengan berbagai variasi penelitian menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh

Kekakuan Balok Uji

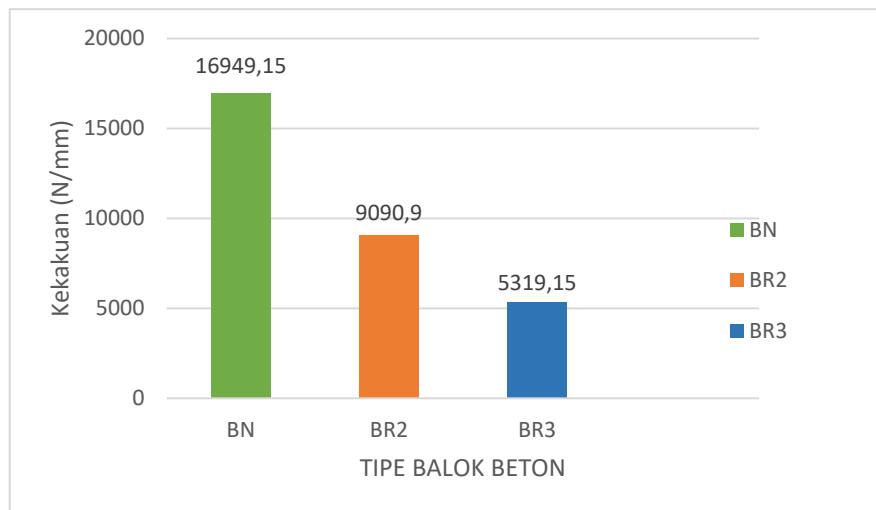
Tabel 3. Perhitungan Nilai Kekakuan Balok Uji

Jenis Balok	Pcr	Δ_{cr}	K
	N	mm	N/mm
BN	10000	0,59	16949,2
BR2	5000	0,55	9090,9
BR3	5000	0,94	5319,15

Sumber : Hasil Penelitian

Pada Tabel 3. Retak awal, pada balok Normal (BN) terjadi pada beban 10000 N dengan lendutan sebesar 0,59 mm, pada balok BR2 retak awal terjadi pada beban sebesar 5000 N dengan lendutan sebesar 0,55 mm, benda uji BN dan BR2 menunjukkan nilai kekakuan yang hampir sama. Sedangkan BR3 retak awal terjadi pada pembebahan 5000 N dengan lendutan sebesar 0,94 mm.

Perbandingan nilai kekakuan balok BN, BR2 dan BR3 dapat dilihat pada grafik.



Gambar 5. Grafik Nilai Kekakuan Balok

Dari gambar dapat dilihat bahwa nilai kekakuan BN adalah sebesar 16949,15 N/mm , BR2 sebesar 9090,9 N/mm dan BR3 sebesar 5319,15 N/mm

Daktilitas Balok Uji

Tabel 4. memperlihatkan daktilitas balok normal dan balok rongga dengan variasi tinggi (BR2 dan BR3).

Tabel 4. Nilai Daktilitas

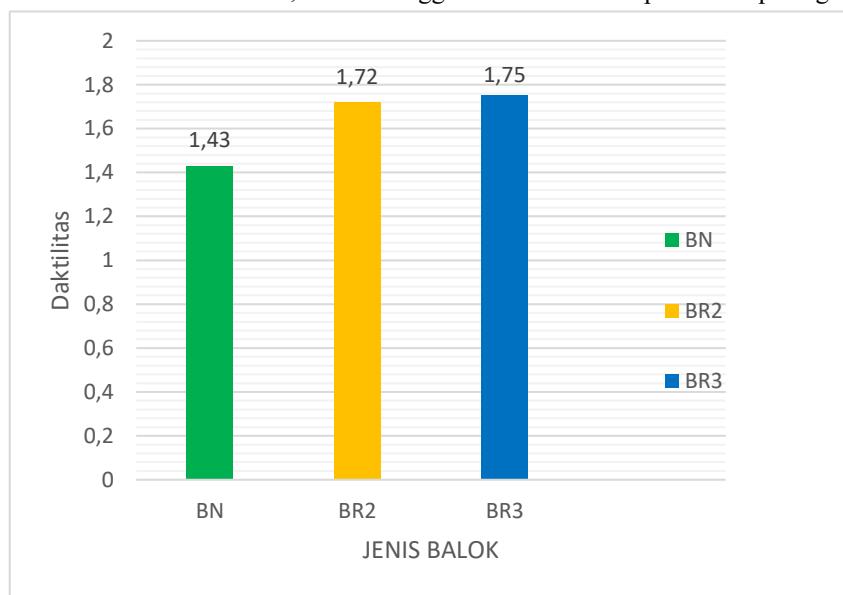
JENIS BALOK	Pmax	Δ_{max}	Δ_y	μ
	kN	mm	mm	
BN	140	14,08	9,88	1,43
BR2	135	16,80	9,75	1,72
BR3	130	17,88	10,23	1,75

Sumber : Hasil Penelitian

Lendutan leleh dapat diperoleh dengan memplot titik pertemuan antara garis beban leleh dengan garis yang dibuat dengan menarik garis linier mulai titik nol kurva beban-lendutan ditarik lurus melalui titik perpotongan kurva dengan garis 0,75 beban leleh

Pada tabel 3.3 menunjukkan bahwa lendutan maksimum pada BN yaitu 14,08 mm dengan lendutan leleh yaitu 9,88 mm , pada BR2 lendutan maksimum yaitu 16,80 mm dan lendutan leleh yaitu 9,75 dan pada BR3 dengan lendutan maksimum yaitu 17,88 dengan lendutan leleh yaitu 10,23 mm.

Perbandingan nilai daktilitas Balok Normal, Balok Rongga BR2 dan BR3 dapat dilihat pada grafik

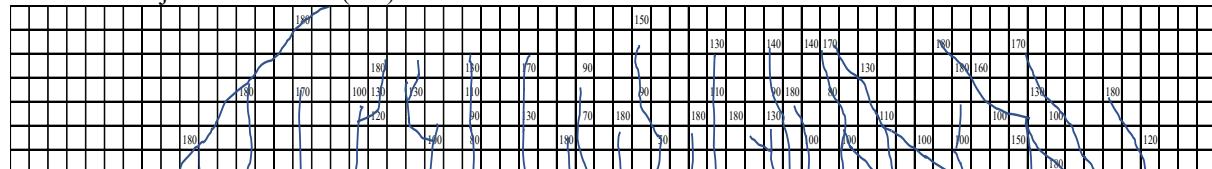


Gambar 6. Grafik Nilai Daktilitas

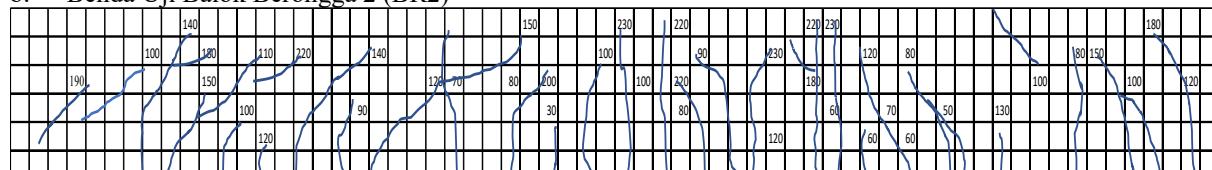
Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa daktilitas BN adalah sebesar 1,43 , BR2 sebesar 1,72 dan daktilitas balok BR3 sebesar 1,75

POLA RETAK BALOK

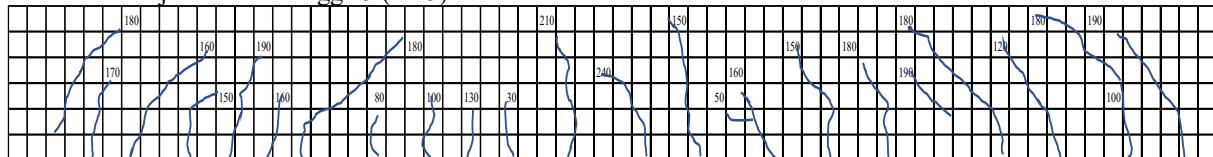
a. Benda Uji Balok Normal (BN)



b. Benda Uji Balok Berongga 2 (BR2)



c. Benda Uji Balok Berongga 3 (BR3)



Gambar 7. Pola Retak Balok Uji

Berdasarkan Gambar 7 di atas menunjukkan pola retak pada setiap balok uji. Dengan penambahan beban yang bertahap, akan muncul retak awal diikuti retakan lain dengan penyebaran retakan yang ada. Perambatan retak yang terjadi dari daerah tarik ke daerah tekan balok.

Pada Balok Uji beton normal mengalami retak pertama saat pembebahan sebesar 50 kN pada tengah bentang balok, pada balok beton berongga dengan 2 lapis botol mengalami retak pertama saat beban sebesar 30 kN pada tengah bentang balok dan pada balok berongga 3 lapis botol menunjukkan retak pertama saat beban sebesar 30 kN pada tengah bentang balok.

Berdasarkan gambar 3.4 diatas menunjukkan bahwa ketiga variasi balok mengalami kegagalan lentur. Hal ini dapat dilihat dari arah retak di daerah lapangan di tengah bentang balok yang hampir tegak lurus terhadap sumbu balok karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Pola retak yang terjadi pada masing-masing benda uji masih menggambarkan pola retak kerusakan lentur dan terlihat masih utuh secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa balok beton normal (BN) memiliki kapasitas beban maksimum sebesar 140 kN dengan lendutan puncak 14,08 mm. Balok berongga tipe BR2 mencapai beban maksimum 135 kN dengan lendutan 16,80 mm, sedangkan BR3 menahan beban maksimum 130 kN dengan lendutan 17,88 mm. Perbedaan nilai lendutan maksimum antara ketiga tipe balok relatif kecil, yang mengindikasikan bahwa keberadaan rongga pada BR2 dan BR3 tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap respons deformasi awal. Hal ini disebabkan penempatan rongga pada zona tarik beton, di mana kontribusi beton terhadap penahan beban lentur sudah terbatas sehingga tidak secara langsung memengaruhi perilaku beban-lendutan secara substansial. Pada kondisi retak awal (initial cracking), nilai kekakuan struktural menunjukkan perbedaan signifikan, dengan BN mencapai 16.949,15 N/mm, sedangkan BR2 menurun menjadi 9.090,9 N/mm dan BR3 menjadi 5.319,15 N/mm. Perbedaan ini mengindikasikan pengaruh kehadiran rongga terhadap resistansi awal terhadap deformasi, meskipun dampaknya terhadap kapasitas beban maksimum relatif terbatas.

Analisis duktilitas menunjukkan bahwa balok BN memiliki nilai sebesar 1,43, sementara BR2 dan BR3 menunjukkan nilai yang lebih tinggi, masing-masing 1,75 dan 1,72. Peningkatan duktilitas pada balok berongga mengindikasikan kemampuan deformasi pasca-leleh yang lebih besar sebelum keruntuhan total, yang dalam perspektif desain struktural dapat menjadi keuntungan karena memberikan indikasi kegagalan lebih awal. Pola retak yang diamati pada seluruh spesimen, baik balok normal maupun balok berongga, menunjukkan keruntuhan yang didominasi oleh mekanisme lentur (flexural failure). Hal ini menegaskan bahwa meskipun terdapat modifikasi berupa rongga, mode kegagalan tetap konsisten dengan perilaku tipikal balok beton bertulang yang dirancang untuk memikul beban lentur. Temuan ini penting dalam konteks pengembangan elemen struktural berongga karena menunjukkan bahwa pengurangan berat melalui pembentukan rongga dapat dilakukan tanpa mengubah secara fundamental mekanisme kegagalan, meskipun terjadi penurunan kekakuan awal yang cukup signifikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, A.B., (2016). Kapasitas lentur balok beton bertulang dengan menggunakan styrofoam. Tugas akhir. Jurusan teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Atmadja, W.M.T, Parung H, Irmawaty R, dan Amiruddin A.A, (2020) Kekakuan Pelat Beton Bertulang Berongga Dua Arah Dengan Pemanfaatan Pipa Pvc Sebagai Pembentuk Rongga, <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/6198/>
- Dipohusodo, Istimawan., 1994, Struktur Beton Bertulang, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Jati, D. G., 2012. Analisis Lentur Pelat Sistem Satu Arah Beton Bertulang Berongga Bola Menggunakan Metode Elemen Hingga Non Linier, Yogyakarta: Tesis S2 Prodi S2 Teknik Sipil FT UGM.
- Maskimi, Murtiadi S, Akmaluddin (2018). Perilaku struktur balok beton berongga bola, Spektrum Sipil, ISSN 1858-4896, e ISSN 2581-2505 Vol. 5, No. 2 : 129 – 137

- Muizu, L. A. M., 2013. Perilaku Lentur Pelat Sistem Satu Arah Beton Beton bertulang Berongga dengan Pemanfaatan Botol Bekas Kemasan Air Minum Sebagai Pembentuk Rongga pada Volume Beton Tetap, Yogyakarta: Tesis S2 Prodi S2 Teknik Sipil FT UGM.
- Rahardyanto, (2013). Studi eksperimental balok berongga dengan pemanfaatan limbah botol PET, Jurnal Penelitian FT UI.
- Sanjaya, A., 2015. Perilaku Lentur Pelat Sistem Satu Arah Beton Bertulang Berongga Dengan Pemanfaatan Kaleng Bekas Kemasan Susu Sebagai Pembentuk Rongga, Yogyakarta: Tesis S2 Prodi S2 Teknik Sipil FT UGM.
- Sariman, S, Parung H, Djamaruddin R, dan Irmawaty R, (2018). Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Panjang Rongga Pada Penampang Tarik, <https://osf.io>
- Standar Nasional Indonesia, 2013, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847, Indonesia.
- Wijayanti, N.T, Sulistyo D, dan Muslih, (2013). Perilaku lentur pelat sistem satu arah beton bertulang berongga dengan pemanfaatan botol bekas berbahan plastik sebagai pembentuk rongga, <https://docplayer.info/209205984>