

P-23

KEKAKUAN PELAT BETON BERTULANG BERONGGA DUA ARAH DENGAN PEMANFAATAN PIPA PVC SEBAGAI PEMBENTUK RONGGA

THE STIFFNESS OF HOLLOW REINFORCEMENT CONCRETE IN TWO-WAY DIRECTION USING PVC PIPE AS A CAVITY

Wahyu Mahendra Trias Atmadja¹, Herman Parung², Rita Irmawaty³ dan
A. Arwin Amiruddin⁴

^{1,2,3,4}Civil Engineering Departement of Hasanuddin University. St. Poros Malino KM 06 Bontomarannu, Gowa

E-mail: mahendrawahyu1975@gmail.com

Diterima : 21-09-2020	Diperbaiki: 24-09-2020	Disetujui: 07-12-2020
-----------------------	------------------------	-----------------------

ABSTRAK

Peningkatan kuat lentur pada pelat beton bertulang dapat dilakukan dengan menambah tebal efektif pelat (*d*) atau tebal pelat. Namun penambahan ini akan membuat pelat menjadi lebih berat. Berat pelat dapat dikurangi dengan mengganti sejumlah beton pada daerah tarik dengan membuat rongga dari modifikasi pipa PVC tanpa mengurangi kuat lenturnya, dikarenakan kelemahan alami beton terhadap kuat tarik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh adanya rongga pada pelat beton bertulang terhadap kekakuan pelat, dilakukan di laboratorium dengan 3 varian benda uji yaitu pelat pejal (PP) dengan tebal 14 cm, pelat berongga (PB-1) dengan tebal yang sama dengan PP yaitu 14 cm serta pelat berongga (PB-2) memiliki volume yang sama dengan pelat PP dengan tebal 15,9 cm. Pelat PP, PB-1 dan PB-2 masing-masing memiliki panjang 275 cm dan lebar 180 cm dan di cor dengan beton cast in-situ dengan ukuran dan jarak tulangan yang sama. Pola pembebanan yang digunakan adalah pola pembebanan merata dengan analisa dua arah, pelat tertumpu sederhana pada keempat sisinya. Penentuan kekakuan pelat dipengaruhi oleh nilai beban dan lendutan pada retak awal. Dimana kekakuan hasil analisa pelat PP 16,32 kN, PB-1 sebesar 14,79 kN dan PB-2 sebesar 23,94 kN, sedangkan nilai eksperimen kekakuan pada pelat PP sebesar 14,26 kN, pelat PB-1 sebesar 12,37 kN dan pelat PB-2 sebesar 22,35 kN.

Kata kunci : Pelat Berongga PVC, Retak Awal dan Kekakuan

ABSTRACT

Increasing the flexural strength of reinforced concrete slabs can be done by increasing the effective thickness of the plates (*d*) or the thickness of the plates. However, this addition will make the plate heavier. The plate weight can be reduced by replacing the amount of concrete in the tensile area by creating a cavity from modified PVC pipe without reducing its flexural strength, due to the natural weakness of concrete in tensile strength. This research was conducted to determine the effect of cavities on reinforced concrete slabs on plate stiffness, carried out in a laboratory with 3 variants of test objects, namely solid plates (PP) with a thickness of 14 cm, hollow plates (PB-1) with the same thickness as PP and the hollow plate (PB-2) has the same volume as the PP plate with a thickness of 15.9 cm. PP, PB-1 and PB-2 plates each have a length of 275 cm and a width of 180 cm and are cast with in-situ cast concrete with the same size and reinforcement distance. The loading pattern used is a uniform loading pattern with a two-way analysis, the plate is supported simply on the sides. The determination of the plate stiffness is influenced by the load value and the deflection in the initial crack. Where the stiffness of the PP plate analysis results is 16.32 kN, PB-1 is 14.79 kN and PB-2 is 23.94 kN, while the experimental value of the stiffness on the PP plate is 14.26 kN, PB-1 plate is 12.37 kN and PB-2 plates of 22.35 kN.

Keywords : Hollow Reinforcement Concrete, Initial Crack, Stiffness

PENDAHULUAN

Dengan semakin mahalnya harga material dan upah tukang menyebabkan biaya konstruksi yang semakin mahal pula, hal tersebut mendorong munculnya berbagai inovasi teknologi yang lebih murah dan mudah dalam pelaksanaannya [1] serta pemanfaatan penggunaan material yang ramah lingkungan. Salah satu alternatif inovasi teknologi ini diantaranya adalah penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik botol bekas kemasan air minum untuk balok *girder* tipe T untuk jembatan [2] dengan teori bahwa pengurangan penampang tarik dibawah garis netral dapat mengurangi penggunaan beton.

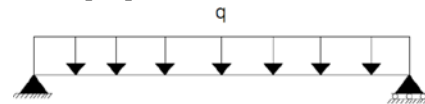
Penelitian eksperimen tentang penempatan bekas kemasan air minum pada daerah Tarik balok konstruksi bangunan menyatakan bahwa rongga yang terbentuk ternyata tidak mengurangi kekuatan lentur dari balok [3] serta penelitian tentang momen retak balok beton bertulang berongga bola [4] tidak terjadi perbedaan yang *signifikan* dengan balok beton tanpa rongga. Inovasi penelitian pada pelat lantai beton bertulang untuk mendapatkan pelat lantai yang lebih tipis dan ringan tetapi dapat memikul beban dengan aman diantaranya diawali dengan penemuan pelat beton bertulang berlubang memanjang (*hollow core slab*) [5], dan *Biaxial Hollow Slab* [6]. Kedua jenis pelat tersebut memiliki rongga pada beton didaerah tarik yang bertujuan untuk mengurangi berat sendiri pelat [7].

Pelat berongga bola mempunyai kelebihan dimana pelat dapat digunakan untuk sistem satu arah maupun sistem dua arah. Analisa pengujian dan numerik dengan menggunakan pemodelan elemen hingga non linier pada pelat beton bertulang berongga satu arah menghasilkan nilai kuat lentur, daktilitas dan kekakuan yang tidak terlalu jauh dengan pelat beton bertulang [8] demikian pula penelitian pelat berongga sebagai diafragma struktur [9] dan sambungannya pada pelat bangunan bertingkat tinggi memperlihatkan kinerja yang baik sebagai bagian dari struktur bangunan [10].

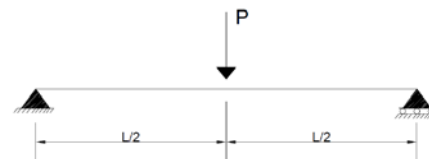
Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan dan menganalisis nilai kekakuan pelat pejal (PP) jika dibandingkan dengan Pelat Berongga (PB-1) dan Pelat Berongga (PB-2). Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah simulasi pembebanan merata dengan menggunakan pengujian pelat dua arah yang ditumpu dengan tumpuan sendi

pada keempat sisinya yang mengacu pada ASTM E2322 [11].

Suatu struktur pelat lantai beton bertulang harus dapat menahan lendutan tanpa menimbulkan kerusakan elemen non struktural seperti keramik lantai maupun ketidaknyamanan karena terjadinya getaran akibat orang berjalan. Lendutan elastis yang terjadi di tengah bentang pelat akibat beban merata digambarkan pada gambar 1 sedangkan beban terpusat digambarkan pada gambar 2 dibawah ini [12].



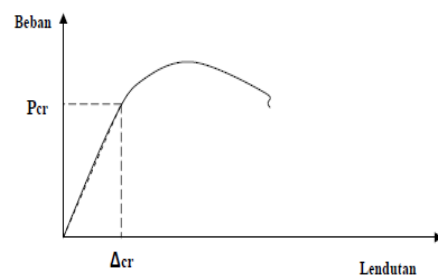
Gambar 1. Kurva Lendutan Akibat Beban Merata



Gambar 2. Kurva lendutan akibat gaya terpusat di tengah bentang

Pengendalian terhadap lendutan dapat dilakukan dengan cara menggunakan langsung kriteria tebal minimum pelat atau menghitung lendutan yang terjadi dan kemudian membandingkan dengan lendutan ijin maksimum sesuai dengan SKSI 2847:2019 sub pasal 24.2.2 tentang batas lendutan untuk pelat dengan beberapa kondisi [13].

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan sehingga kekakuan elastis pada pelat beton bertulang metode secan dapat dihitung sesuai gambar 3 berikut ini [12] :



Gambar 3. Kurva beban terhadap lendutan

METODOLOGI

Perancangan benda uji dilakukan setelah diketahui data peralatan laboratorium dan data material yang dapat digunakan untuk

pembuatan benda uji. Selanjutnya dilakukan perancangan benda uji sesuai dengan data yang diperlukan dan sesuai dengan tujuan penelitian. Perancangan meliputi desain dimensi benda uji dan metode pengujian benda uji serta material yang dipilih untuk pembuatan benda uji apakah sudah memenuhi syarat untuk pembuatan benda uji sesuai dengan kondisi atau mutu yang telah direncanakan. Kuat tekan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 29 Mpa, berdasarkan SNI 7394-2008 proporsi campuran beton untuk 1 m³ adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi beton

Komposisi Beton	Nilai	Satuan
Semen OPC	3,275	kN/m ³
Abu Batu	1,402	kN/m ³
Air	185	Lt/m ³
Super Plasticizer	2	Lt/m ³
Agregat Kasar	8,728	kN/m ³
Agregat Halus	7,55	kN/m ³

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, analisa data hasil pengujian kuat tekan beton normal dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Uji kuat tekan beton silinder normal

Benda Uji	Berat (N)	Beban Pembacaan (N)	$F_c' = P/A$ (Mpa)	f_{cr} (Mpa)	f_c (Mpa)
1	121,70	582610	32,96	31,19	28,51
2	120,82	567970	32,13		
3	120,82	520000	29,41		
4	121,99	535000	30,26		

Hasil analisa kuat tekan beton silinder normal pada umur 28 hari adalah 28,51 Mpa.

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada saat umur beton 28 hari, hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Pengujian modulus elastisitas beton normal

Benda Uji	Dimensi (mm)	Beban (N)	S1 (Mpa)	S2 (Mpa)	ϵ_2 (μ)	E_c (Mpa)
1	100 x 200	32090	0,513	12,84	586,48	22970,56
2	100 x 200	32760	1,408	13,10	624,28	20367,86
3	100 x 200	23800	1,339	9,52	447,89	20559,06
Rata-rata						21299,16
Empirir ($E_c = 4700 \sqrt{f_c}$)						25104,34

Analisa data hasil pengujian kuat tarik besi dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tarik besi

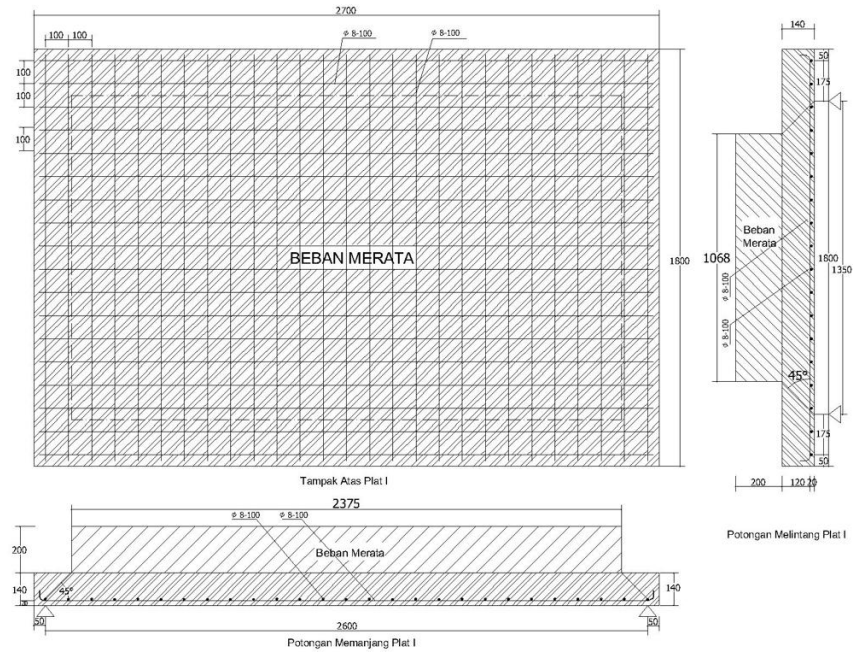
Diameter Besi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban		Tegangan	
		Leleh (kN)	Putus (kN)	Leleh (Mpa)	Ultimate (Mpa)
Besi Diameter 8 mm	50,26	20,22	27,75	402,31	552,13
	50,26	20,21	27,77	402,11	552,53
	50,26	20,22	27,78	402,31	552,73
	Rata-rata			402,4	552,46

Ketiga pelat memiliki dimensi panjang dan lebar yang sama yaitu 2750 mm dan 1800 mm. Pelat Pejal (PP) memiliki tebal yang sama dengan pelat berongga (PB-1) 14 cm sedangkan Pelat Berongga (PB-2) memiliki volume yang sama dengan pelat Pejal (PP) dengan ketebalan Pelat Berongga (PB-2)

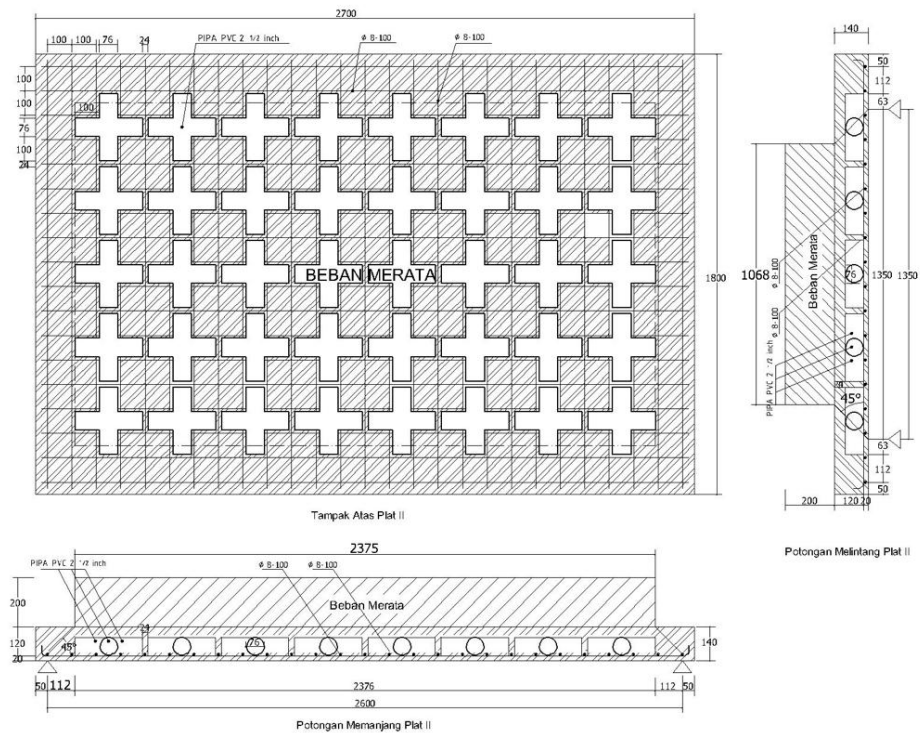
sebesar 159 mm. Rongga dibentuk dari modifikasi pipa PVC 3 dimensi yang mempunyai diameter 76mm, sedangkan pembesian arah memanjang dan melintang digunakan besi diameter 8 mm dengan jarak antar tulangan 100 mm. Detail benda uji dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 4, gambar 5 dan gambar 6 dibawah ini :

Tabel 5. Komposisi pelat uji

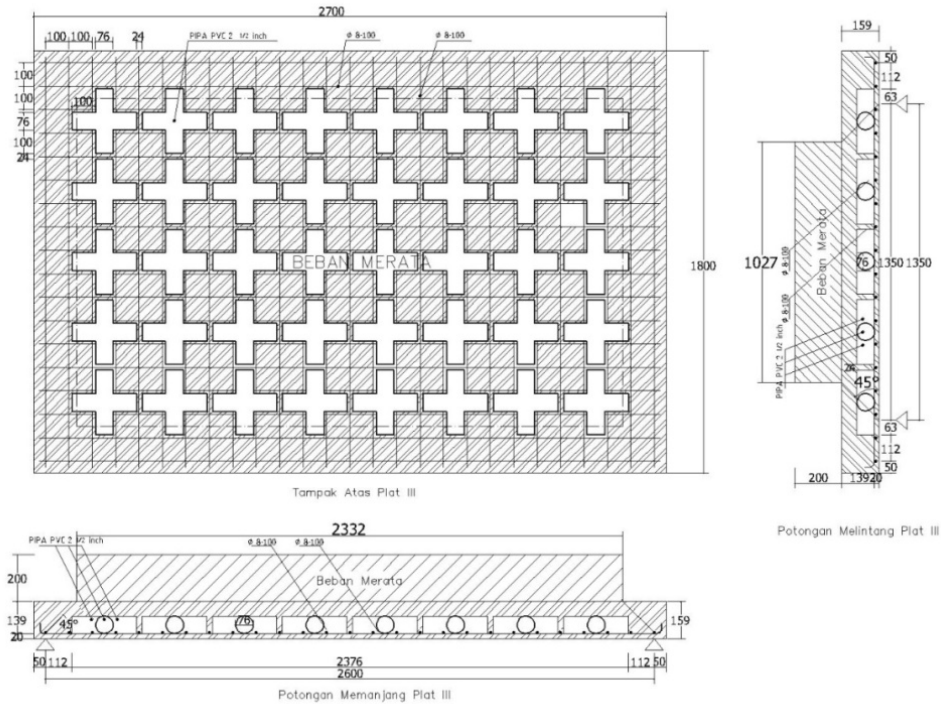
Pelat	Dimensi Pelat (mm)	Ø rongga (mm)	Jarak antar bola (mm)	Berat mati tiap 1 m ²	ρ (%)	d (mm)	Volume beton
PP	2750x1800x140	-	-	315,663	0,403	112,4	100 %
PB-1	2750x1800x140	76	24	273,54	0,403	112,4	86,33%
PB-2	2750x1800x159	76	24	315,663	0,345	131,4	100%



Gambar 4. Pelat pejal (PP)



Gambar 5. Pelat berongga tebal 14 cm (PB-1)



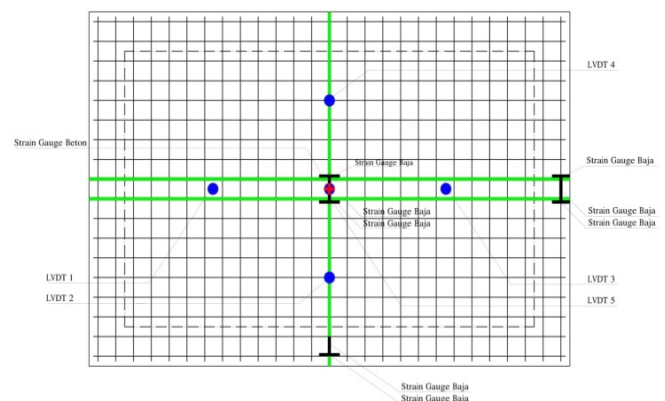
Gambar 6. Pelat berongga tebal 15,9 cm (PB-2)

Benda uji akan diuji minimal setelah berumur 28 hari. Selama menunggu benda uji berumur 28 hari dilakukan kegiatan setting alat pengujian. Dalam penelitian ini benda uji ditumpu dengan tumpuan sendi sepanjang keempat sisinya. Setting alat pengujian mengacu pada ASTM E2322 yaitu pengujian pelat dua arah dengan simulasi beban merata. Pola pembebanan merata dilakukan dengan pemberian beban berupa karung-karung pasir, selanjutnya diatas karung-karung pasir diberi pelat pelat beton kemudian dipasang dudukan dari baja untuk menyalurkan beban dari *hydraulic jack* ke pelat beton. Diharapkan dengan pola pembebanan ini dapat menyerupai pembebanan dengan beban merata. Pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai kapasitas pelat.

Data yang diambil dalam pengujian ini antara lain, data beban yang didapat dari pencatatan beban setiap penambahan karung pasir, beton dan baja, data lendutan pelat, didapat dari LVDT yang dipasang di beberapa titik yang kemudian dibaca melalui data logger, data pola retak, setiap terjadi retak dilakukan pencatatan nomor terjadinya retak dan penandaan pada data beban sehingga dapat diketahui terjadinya retak, data regangan baja tulangan didapat dari pembacaan strain gauge dengan data logger.



Gambar 7. Setting sendi dan frame load



Gambar 8. Perletakan strain gauge dan LVDT

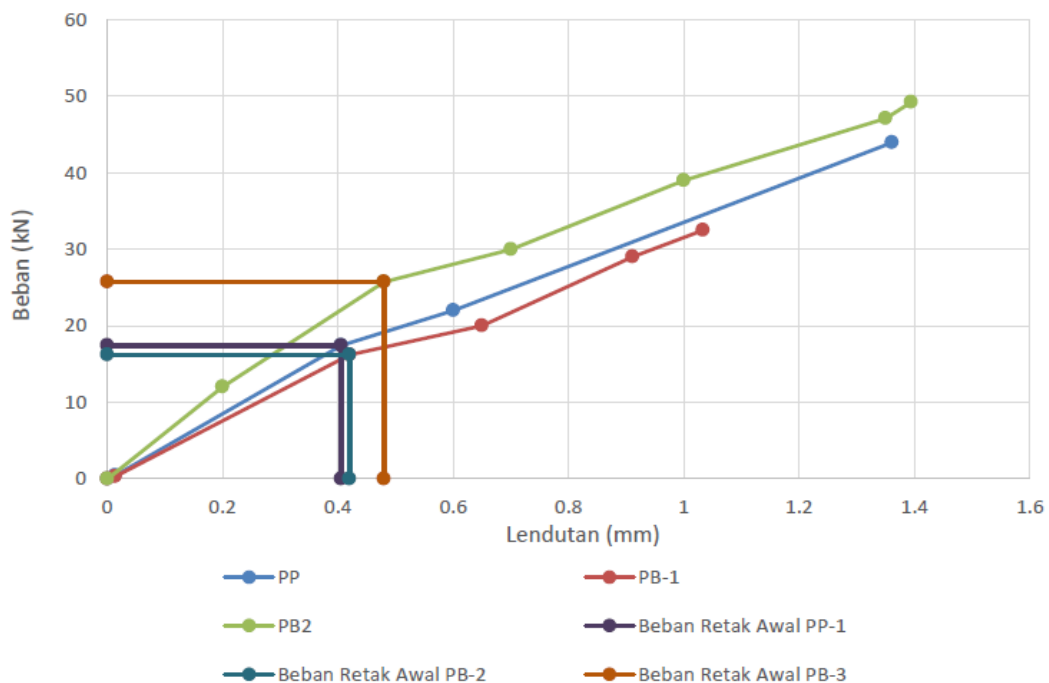
Data yang dicatat dari pengujian meliputi data beban, lendutan dan regangan baja tulangan. Untuk pengamatan retak pada pelat dilakukan secara visual dan diikuti dengan memberikan tanda dan nilai pada pelatnya.



Gambar 9. Pembebanan benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian direkap dan kemudian digambarkan dalam bentuk diagram hubungan beban dan lendutan. Sedangkan secara analitis perhitungan beban pada saat retak awal menggunakan SNI 2847-2019 pasal 26.12.5 tentang modulus runtuh dan rumus momen retak pada pasal 24.2.3.9. Kondisi retak awal dalam penelitian ini sangat sulit didapatkan, oleh karena itu data yang mewakili kondisi retak awal adalah satu data sebelum terjadi retak pertama. Pada pelat pejal (PP) beban pada retak awal adalah 17,4 kN dengan lendutan 0,406 mm, pelat berongga (PB-2) beban pada retak awal 16,2 kN dengan lendutan 0,42 mm dan pada pelat berongga (PB-3) beban pada retak awal 25,7 kN dengan lendutan 0,48 mm. Pembebanan dan lendutan pelat benda uji hasil eksperimen ditengah bentang pada kondisi retak awal dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Hubungan beban dan lendutan pada retak awal

Perhitungan analisa pelat uji disajikan pada tabel 6 dibawah ini,

Tabel 6. Perhitungan Rekapitulasi Daktalias Pelat.

Pelat	Titik Berat Y (mm)	Inersia Pcr (kN)	Beban Retak Δ_{cr} (mm)	Lendutan (mm)
PP	67,578	331625724,70	28,878	1,402
PB-1	67,334	297759477,77	20,700	1,4
PB-2	76,970	467449196,20	28,818	1,204

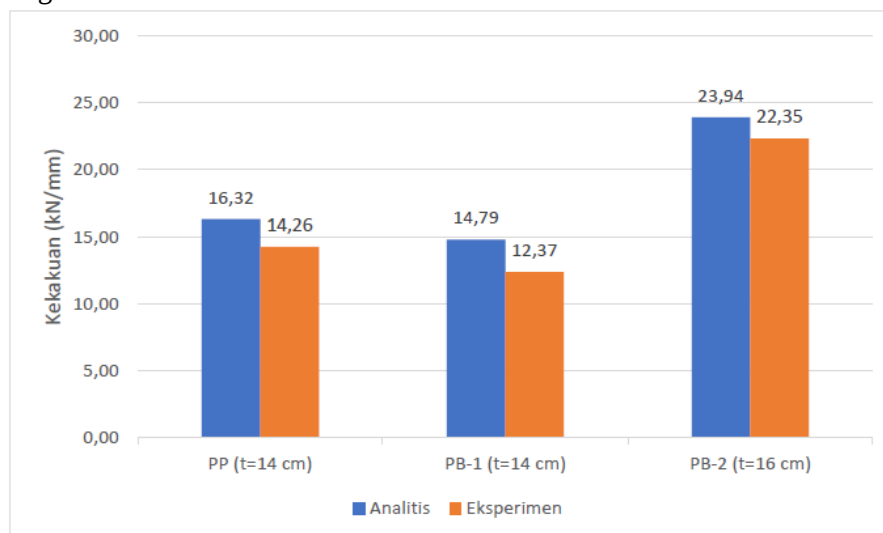
Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kekakuan pelat beton PB-2 ($t=16$ cm) lebih besar dari PP dan PB-1 ($t=14$ cm), dimana beton berongga PB-1 sebesar 87% dari pelat PP dan beton berongga PB-2 157% dari pelat pejal (PP). Hal ini bila dibandingkan dengan hasil hitungan analitis kondisinya berbanding

lurus dimana kekakuan pelat beton PP ($t=14$ cm) dan PB-1 ($t=14$ cm) lebih kecil dari beton berongga PB-2 ($t=16$ cm), dimana beton berongga PB-1 sebesar 91% dari pelat PP dan beton berongga PB-2 147% dari pelat pejal (PP) sebagaimana disajikan pada tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7. Kekakuan eksperimen dan kekakuan analisis

Pelat	Tebal (mm)	Kekakuan Analitis		Kekakuan Eksperimen	
		(kN/mm)	(%)	(kN/mm)	(%)
PP	140	16,32	100	14,26	100
PB-1	140	14,79	91	12,37	87
PB-2	15,9	23,94	147	22,35	157

Kekakuan untuk masing- masing benda uji pada kondisi retak awal disajikan pada histogram gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. Kekakuan Eksperimen dan Analisa pada PP,PB-1 dan PB2

KESIMPULAN

Kekakuan pelat pada Pelat Berongga (PB-2) dengan volume beton yang sama dengan Pelat Pejal (PP) mempunyai nilai yang lebih tinggi, sedangkan pada pelat berongga (PB-1) dengan tebal yang sama dengan pelat pejal (PP) mempunyai nilai kekakuan yang sedikit lebih rendah, sedangkan penempatan rongga dengan modifikasi pipa PVC pada daerah tarik pelat beton efektif meningkatkan kekakuan pada pelat dengan menggunakan volume yang sama jika dibandingkan dengan pelat tanpa rongga.

SARAN

Perlu dilakukan eksperimen dengan benda uji yang lebih banyak lagi dengan variasi volume beton dan variasi rongga

sehingga akan didapatkan nilai kekakuan yang optimum terhadap beban yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Firdaus, S. Sangadji, and W. Hartono, "Analisis Perbandingan Efisiensi Penggunaan Hollow Core Slab (HCS) Dibandingkan Dengan Pelat Konvensional In Situ Pada Proyek Pembangunan Gudang Ciwastra Bandung," vol. i, pp. 1418–1426, 2017.
- [2] S. Sariman and A. R. Nurdin, "Perilaku Lentur Balok T Beton Tulang Berlapis Rongga Limbah," *Semin. Ilm. Nas. Tek. Sipil Univ. Bosowa*, pp. 77–91, 2017.
- [3] T. Sipil, F. Teknik, and U. Indonesia, "Studi eksperimental balok berongga dengan pemanfaatan limbah botol pet," 2013.

-
- [4] M. Maskimi, S. Murtiadi, and A. Akmaluddin, "Perilaku Struktur Balok Beton Berongga Bola," *Spektrum Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 129–137, 2018.
 - [5] M. Aldejohann, "Zum Querkrafttragverhalten von Hohlkörperdecken mit zweiachsiger Lastabtragung," 2008.
 - [6] A. Churakov, "Biaxial hollow slab with innovative types of voids," *Constr. Unique Build. Struct.*, vol. 6, no. 21, pp. 70–88, 2014.
 - [7] P. C. J. Hoogenboom, "Analysis of hollow-core slab floors," *Heron*, vol. 50, no. 3, pp. 173–185, 2005.
 - [8] D. G. Jati, "Pemodelan Elemen Hingga Non Linier Pelat Satu Arah Beton Bertulang Berongga Bola," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 4, pp. 233–240, 2016, doi: 10.24002/jts.v12i4.631.
 - [9] A. L. Angkiriwang, P. Studi, T. Sipil, and F. Teknik, "Pengembangan Pelat Hollow Core Slab (HCS) sebagai Diafragma Struktur," 2002.
 - [10] J.-Y. Song, E. Kim S, H. Lee, and H.-G. Kwak, "Load Distribution Factors for Hollow Core Slabs with In-situ Reinforced Concrete Joints," *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–69, 2009, doi: 10.4334/ijcsm.2009.3.1.063.
 - [11] ASTM E2322-032015."Standart Test Method for Conducting Tranverse and Concentrated Load Test on Panels Used in Floor and Roof Construction .
 - [12] Gere dan Timoshenko, 2000, "Mekanika Bahan 1", Penerbit Erlangga, Jakarta
 - [13] SK SNI 03-2847, 2019, "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung", Departemen Pekerjaan Umum Indonesia.