

KAJIAN KUAT LENTUR DAN LENDUTAN PADA VARIASI KETEBALAN PELAT BETON BUBUK REAKTIF DENGAN SILICA FUME 15% DAN PASIR KUARSA 30%

Wibowo^{1*}, Endah Safitri¹, Diffa Deff Tiara Pricilia¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.

*Corresponding author : wibowo68@staff.uns.ac.id

Abstract

The need for infrastructure development is increasing in the future. The increase in the need for infrastructure development is directly proportional to the increase in concrete production. One of the concrete innovations to deal with these problems is reactive powder concrete. This concrete has advantages over conventional concrete because it can increase compressive strength, durability, and increase flexural strength. One of the applications of reactive powder concrete is concrete slab structure. This research is intended to identify the effect of concrete slab thickness dimensions on the maximum load, flexural strength, and deflection that occur in the slab. The experimental method was used with test specimens in the form of concrete slabs measuring 70 cm long, and 30 cm wide, and thickness variations of 4 cm, 5 cm, 6 cm, and 7 cm. Flexural strength testing was carried out on specimens in the form of plates and beams with dimensions of 40 cm long, 10 cm wide, and 10 cm high to determine the modulus of rupture value. The modulus of rupture test results are in the form of MOR values, then compared with the compressive strength of concrete. Flexural strength testing is done by placing the plate on top of the two pedestals with centralized loading and placing a dial gauge under the test piece to determine the amount of deflection. The test results in the form of tables and graphs show that the thickness dimension of the slab has a significant effect on the maximum load that can be received by the slab and the deflection that occurs in reactive powder concrete slabs.

Keywords: deflection, flexural strength, reactive powder concrete slab, slab thickness

Abstrak

Kebutuhan pembangunan infrastruktur di masa depan kian meningkat. Peningkatan kebutuhan pembangunan infrastruktur, berbanding lurus dengan peningkatan produksi beton. Salah satu inovasi beton untuk menghadapi permasalahan tersebut adalah beton bubuk reaktif. Beton ini memiliki keunggulan dibandingkan beton konvensional, karena mampu meningkatkan kuat tekan, durabilitas, dan meningkatkan kuat lentur. Salah satu pengaplikasian beton bubuk reaktif adalah struktur pelat beton. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi pengaruh dimensi ketebalan pelat beton terhadap beban maksimum, kuat lentur, dan lendutan yang terjadi pada pelat. Metode eksperimental merupakan metode yang digunakan dengan benda uji berupa pelat beton berukuran panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan variasi ketebalan 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm. Pengujian kuat lentur dikerjakan pada benda uji berupa pelat dan balok dengan dimensi panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm untuk mengetahui nilai *modulus of rupture*. Hasil pengujian *modulus of rupture* berupa nilai MOR, kemudian dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan cara meletakkan pelat di atas kedua tumpuan dengan pembebanan terpusat dan meletakkan *dial gauge* di bawah benda uji untuk mengetahui besarnya lendutan. Hasil pengujian berupa tabel dan grafik menunjukkan dimensi ketebalan pelat berpengaruh signifikan terhadap beban maksimum yang dapat diterima pelat dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bubuk reaktif.

Kata Kunci : ketebalan pelat, kuat lentur, lendutan, pelat beton bubuk reaktif

PENDAHULUAN

Seiring dengan laju perkembangan zaman, kemajuan teknologi dan infrastruktur di dunia berkembang dengan cepat. Pada setiap pembangunan infrastruktur, terdapat tuntutan untuk memperoleh hasil yang lebih baik, lebih efisien, serta kemampuan untuk menyelesaikan kendala yang muncul, misalnya pada pembangunan infrastruktur bangunan tinggi, jalan raya, dan struktur hidraulik. Oleh karena itu, pengembangan penelitian beton yang inovatif bertujuan untuk memenuhi tuntutan tersebut. Perkembangan teknologi beton sejauh ini sudah menciptakan beberapa inovasi, salah satunya adalah beton *Reactive Powder Concrete (RPC)*.

Reactive Powder Concrete atau beton RPC merupakan teknologi pembuatan beton yang dikembangkan oleh P. Richard dan M. Cheyrezy untuk pertama kalinya pada awal tahun 1990 di Laboratorium Bouyques, Lafarge Group, Prancis. Komposisi beton RPC umumnya terdiri dari partikel berukuran nanometer seperti pasir alam dan kuarsa (*quartz sand*), *silica fume*, semen, air, *superplasticizer*, dan *steel fiber*. Menggantikan komposisi agregat kasar dengan menggunakan pasir kuarsa pada beton RPC dilakukan untuk memperbaiki homogenitas campuran pada beton sehingga mampu mencapai mutu beton yang tinggi. Keunggulan RPC dibandingkan beton konvensional adalah durabilitas, keuletan, dan kuat tekan yang lebih tinggi (Sarika S & Dr. Elson John, 2015). Selain itu, RPC juga

memiliki keunggulan meningkatkan nilai kuat lentur. Penelitian Arsanto (2023) memperoleh hasil kuat lentur tinggi pada RPC dengan substitusi parsial pasir kuarsa sebesar 30% dari massa agregat halus. Metode *curing* pada beton RPC cukup berbeda dari beton konvensional. Metode *steam curing* menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan metode *normal curing* pada beton RPC umur 28 hari (Edwin et al., 2023). Reaksi hidrasi pada beton dapat dipercepat dengan metode *steam curing* dengan meningkatkan pembentukan gel CSH (Kalsium Silikat Hidrat) (Helmi et al., 2019). Gel CSH ini mampu meningkatkan kekuatan tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan *normal curing* karena kemampuan menutup pori-pori pada beton.

Sifat mekanik beton dapat dipengaruhi oleh penggunaan material pozzolan berupa *silica fume* dan agregat halus berupa pasir kuarsa (*quartz sand*). *Silica fume* digunakan pada beton RPC karena terdapat kandungan silika yang tinggi yang akan bereaksi dengan semen pada proses hidrasi semen. Kekuatan tekan beton dapat ditingkatkan oleh senyawa Kalsium Silikat Hidrat (CSH) yang dihasilkan selama proses hidrasi semen (Aisyah, 2018). Penelitian yang dilakukan Wibowo, Safitri, et al. (2022) menghasilkan bahwa penggunaan pasir kuarsa dalam campuran beton berperan besar pada tingginya nilai kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik beton karena sifat pasir kuarsa yang mampu meningkatkan homogenitas pada beton bubuk reaktif. Material pasir kuarsa merupakan agregat halus yang tepat digunakan sebagai substitusi pasir halus karena mampu mengurangi porositas pada beton sehingga dapat menghasilkan beton dengan karakteristik permeabilitas rendah dan kuat tekan tinggi (Wibowo et al., 2023). Salah satu sifat dari RPC adalah kemampuan *workability* yang rendah (Dwiamirta & Saelan, 2022). Alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi turunnya *workability* pada beton adalah dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer*. *Superplasticizer* (SP) adalah bahan kimia yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk menurunkan kadar air serta meningkatkan kualitas beton (Faquhuddin et al., 2021). *Superplasticizer* pada RPC digunakan karena rasio air-semen yang rendah yaitu kurang dari 0,25% dari berat binder (Alkhalay, 2017). Kepadatan beton RPC yang tinggi merupakan *output* dari ukuran butiran material yang kecil serta faktor air semen yang rendah. Tingginya kepadatan beton berbanding lurus dengan tingginya nilai kuat tekan beton (Gunawan et al., 2015).

Salah satu pengaplikasian RPC dalam bidang konstruksi, khususnya pada komponen struktur adalah pelat. Pelat beton merupakan bagian dari suatu sistem struktur yang didesain agar dapat menahan kombinasi pembebanan sebagai akibat dari beban gravitasi (SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan, 2019). Pelat beton didesain untuk menanggung beban lentur yang timbul akibat momen lentur yang dihasilkan oleh suatu beban. Kuat lentur merupakan parameter mekanis pelat beton. Kuat lentur beton dapat dinyatakan dalam MPa (Mega Pascal) yakni gaya tiap satuan luas. Pada umumnya, ketebalan pelat lebih tipis dibandingkan dengan panjang bentangnya (Syahland, 2017). Akibatnya, kekakuan pelat menjadi terlalu kecil dan lendutan yang terjadi pada pelat meningkat. Untuk mencegah pelat mengalami defleksi yang terlalu besar, penggunaan material yang disebut serat baja bisa menjadi salah satu alternatif. Penelitian Johannes et al. (2017) menghasilkan beton yang terdapat serat baja menunjukkan karakteristik yang sangat tahan terhadap beban, menciptakan sebuah struktur beton yang kuat dan tahan lama. Karakteristik beton serat baja yakni setelah mencapai tegangan maksimum, tidak langsung mengalami kegagalan patah seperti yang terjadi pada beton konvensional. Selain itu, penggunaan material serat baja dalam campuran beton mampu meningkatkan kekuatan lentur. Penelitian yang dilakukan Kushartomo & Christianto (2015) mengenai penambahan serat baja pada beton menghasilkan adanya peningkatan nilai kuat lentur hingga 300%-400%.

Pada penelitian ini menghasilkan nilai kuat tekan silinder, kuat lentur dan lendutan pelat beton dengan dimensi panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan variasi ketebalan sebesar 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm. Penelitian yang dilakukan oleh Fikri et al. (2023) mengenai pengaruh ketebalan pada pelat beton satu arah menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan pelat, maka semakin naik kapasitas lenturnya. Pengujian kuat lentur pada pelat mengacu pada (ASTM C78). Selain itu, pengujian *modulus of rupture* juga dilakukan dengan benda uji berbentuk balok berukuran panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm. Pengujian *modulus of rupture* yaitu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kuat lentur atau kuat tarik maksimum beton berbentuk balok sederhana dengan pembebanan berada di tengah bentang balok. Standar pengujian MOR berdasarkan SNI 4154:2014. Besarnya *modulus of rupture* dipengaruhi oleh kuat tekan beton. Nilai modulus of rupture berkisar 10-15% dari nilai kuat tekan beton (SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan, 2019). Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh ketebalan pelat beton dengan *silica fume* 15% dan pasir kuarsa 30% terhadap beban maksimum, kuat lentur dan lendutan pada pelat RPC.

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan eksperimental. Pengujian agregat halus dilakukan terlebih dahulu hingga memenuhi standar. Selanjutnya pembuatan benda uji berupa silinder berukuran 10 cm x 20 cm, pelat dengan dimensi panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan variasi ketebalan 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm, serta benda uji berbentuk balok berukuran panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm. Sebelum campuran adukan beton dituang ke bekisting masing-masing benda uji, dilakukan pengujian *slump flow*. Berikutnya, dilakukan metode perawatan beton berupa *curing* beton di dalam kolam air. Pengujian beton keras yang berupa uji kuat tekan dan kuat lentur dikerjakan saat umur beton 28 hari. Kode dan jumlah benda uji kuat tekan silinder ditunjukkan pada **Tabel 1**, uji kuat lentur balok ditunjukkan pada **Tabel 2**, dan uji kuat lentur pelat ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 1. Kode dan jumlah kebutuhan benda uji kuat tekan

No.	Dimensi benda uji	Kode benda uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1		RPC-SLDR-1	28	1
2	10 cm x 20 cm	RPC-SLDR-2	28	1
3		RPC-SLDR-3	28	1

Tabel 2. Kode dan jumlah kebutuhan benda uji lentur balok

No.	Dimensi benda uji	Kode benda uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1		RPC-BLK-1	28	1
2	40 cm x 10 cm	RPC-BLK-2	28	1
3	x 10 cm	RPC-BLK-3	28	1

Tabel 3. Kode dan jumlah kebutuhan benda uji lentur dan lendutan pelat

No.	Dimensi benda uji	Kode benda uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1	70 cm x 30 cm x 4 cm	RPC-PLT-1	28	1
2	70 cm x 30 cm x 5 cm	RPC-PLT-2	28	1
3	70 cm x 30 cm x 6 cm	RPC-PLT-3	28	1
4	70 cm x 30 cm x 7 cm	RPC-PLT-4	28	1

Mix Design Reactive Powder Concrete

Mix design beton bubuk reaktif pada riset ini mengacu pada riset yang telah dilakukan Richard & Cheyrezy (1995). Berdasarkan riset tersebut, *silica fume* yang digunakan adalah 15% dari berat binder, nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,19 dan kadar optimum *superplasticizer* dari produk ViscoCrete1003 sebesar 1,9% dari berat binder. *Steel fiber* yang digunakan merupakan produk BEKAERT sebesar 17,5% dari massa binder dengan panjang 60 mm, diameter 0,75 mm, dan aspek rasio 80. Rekapitulasi *mix design* yang digunakan pada RPC terlihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi *mix design Reactive Powder Concrete*

Kode Benda Uji	Semen (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Pasir Halus (kg/m ³)	Pasir Kuarsa (kg/m ³)	Steel Fibers (kg/m ³)	Superplasticizer (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
RPC-SLDR-1	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-SLDR-2	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-SLDR-3	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-BLK-1	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-BLK-2	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-BLK-3	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-PLT-1	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-PLT-2	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-PLT-3	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152
RPC-PLT-4	680	120	1049,34	437,70	11,60	7,79	152

Pengujian Material Pembentuk Reactive Powder Concrete

Pengujian material sebelum *mixing* perlu dilakukan untuk mengetahui mutu dari material pembentuk beton RPC. Standar pengujian mengacu pada SNI dan ASTM. Pengujian material pembentuk beton meliputi pengujian kadar lumpur, pengujian gradasi, pengujian zat organik, pengujian *specific gravity*, dan pengujian *silica fume* yaitu pengujian XRF.

Pengujian Slump Flow Reactive Powder Concrete

Pengujian *slump flow* bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan kemudahan pengerjaan beton di lapangan. ASTM C1611 adalah standar yang digunakan pengujian *slump flow*. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan kerucut *abrams* dengan bukaan besar menghadap ke bawah di tengah pelat *flow table*. Nilai *slump flow* pada beton RPC berkisar 340-360 mm (Alkhaly et al., 2022).

Pengujian Kuat Tekan Silinder

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm umur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton merujuk pada SNI 2847-2013. Hasil dari pengujian kuat tekan diperoleh dari alat CTM berupa beban maksimum dalam satuan kN dibagi dengan luas permukaan silinder. Setelah itu, dikalikan dengan faktor korelasi berdasarkan ukuran silinder menurut SNI 1974-2011. Pengujian kuat lentur dihitung menggunakan Persamaan [1].

$$f'c = \frac{P}{A} \times \text{faktor korelasi} \quad [1]$$

keterangan:

$f'c$ = kuat tekan (N/mm²)
P = beban maksimum (N)
A = luas permukaan beton (mm²)

Berdasarkan SNI 1974-2011 Lampiran A Hal. 15, faktor korelasi kuat tekan ditentukan berdasarkan diameter silinder. Pada penelitian ini menggunakan silinder berukuran 10 cm x 20 cm dengan faktor korelasi sebesar 1,04.

Pengujian MOR (Modulus of Rupture)

Pengujian *modulus of rupture* dilakukan pada balok dengan dimensi panjang 40 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm umur 28 hari. Pengujian modulus runtuh dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur pada beton. Standar pengujian mengacu pada SNI 4154:2014. Pengujian *modulus of rupture* dihitung menggunakan Persamaan [2].

$$R = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad [2]$$

keterangan:

R = *modulus of rupture* (MPa)
P = beban maksimum (N)
L = panjang bentang (mm)
b = lebar benda uji (mm)
d = tinggi benda uji (mm)

Pengujian Kuat Lentur dan Lendutan Pelat

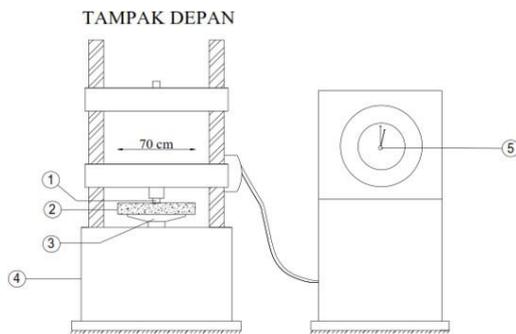
Pengujian kuat lentur dan lendutan dilakukan pada pelat dengan dimensi panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan variasi ketebalan 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm. Standar pengujian merujuk pada SNI 4154:2014. Pengujian dilakukan dengan meletakkan pelat di atas dua tumpuan di kedua sisi tiap ujung pelat dengan pembebanan di tengah bentang (SNI 4154:2014 Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (Menggunakan Balok Sederhana Dengan Beban Terpusat Di Tengah Bentang), 2014). *Dial gauge* diletakkan di bawah benda uji untuk mengetahui besarnya lendutan. Pengujian kuat lentur dan lendutan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [3] dan Persamaan [4]. Gambar *set up* pengujian kuat lentur tampak depan terdapat pada **Gambar 1** dan gambar *Set up* pengujian kuat lentur tampak samping terdapat pada **Gambar 2**.

$$\sigma_f = \frac{Mx \times Y}{I} \quad [3]$$

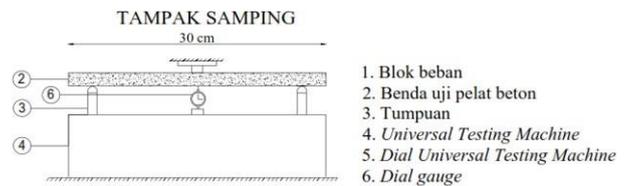
$$\Delta = \frac{P \times L^3}{48 \times EI} + \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI} \quad [4]$$

keterangan:

- σ_f = kuat lentur (MPa)
 M_x = beban maksimum = $\frac{1}{4} \times PL + \frac{1}{8} \times qL^2$ (N.mm)
 Y = jarak ke sumbu netral = $\frac{1}{2} \times h$ (mm)
 I = momen inersia = $\frac{1}{12} \times bh^3$ (mm⁴)
 Δ = lendutan (mm)
 P = beban maksimum (N)
 L = panjang bentang (mm)
 q = berat sendiri pelat (N/mm)
 E = modulus elastisitas = $0,043 \times W_c^{1,5} \times \sqrt{f_c'}$ (N/mm²)



Gambar 1. Set up pengujian kuat lentur tampak depan



Gambar 2. Set up pengujian kuat lentur tampak samping

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Parameter pengujian agregat halus yang diuji pada riset ini yaitu berupa uji kandungan kadar lumpur, kandungan zat organik, berat jenis, gradasi, dan modulus kehalusan. Hasil pengujian agregat halus tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Pasir Kuarsa	Pasir Alam	Standar	Kesimpulan
Kandungan Lumpur	0,7%	2,30%	<5% PBI 1971, ASTM C.117	Memenuhi Standar
Kandungan Zat Organik	Kuning Muda	Kuning Kemerahan	PBI 1971, ASTM C.40	Memenuhi Standar
Modulus Kehalusan	3,43	2,54	1,5<MH<3,8 SII-0052-80	Memenuhi Standar
Apparent Specific Gravity	2,84	2,74	-	-
Bulk Specific Gravity	2,50	2,44	-	-
Bulk Specific Gravity SSD	2,62	2,55	2,5 – 2,7 SNI 03-2834-2000	Memenuhi Standar
Absorsion	4,71%	4,49%	-	-

Pengujian XRF pada *silica fume* menghasilkan kandungan SiO₂ sebesar 85,76%. Nilai tersebut telah memenuhi standar ASTM C-1240 dengan kandungan minimal SiO₂ adalah 85%.

Hasil Slump Flow Test RPC

Nilai *slump flow* RPC cenderung rendah. Angka *slump flow* yang rendah ini sebanding dengan angka rasio air-semen yang rendah. Nilai pengujian *slump flow* diperoleh sebesar 340 mm.

Hasil Pengujian Kuat Tekan RPC

Hasil pengujian kuat tekan silinder berukuran 10 cm x 20 cm berumur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan RPC

Kode Benda Uji	P (kN)	Faktor Korelasi	f _c (MPa)
RPC-SLDR-1	520,00	1,04	68,86
RPC-SLDR-2	515,00	1,04	68,19
RPC-SLDR-3	522,00	1,04	69,12
Rata-rata f_c'			68,72

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan rata-rata kuat tekan beton sebesar 68,72 MPa. *Output* nilai kuat tekan tersebut memenuhi rencana mutu beton awal, yakni 41,4 MPa menurut SNI 03-6468-2000.

Hasil Pengujian Modulus of Rupture

Hasil uji MOR dengan benda uji balok dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Pengujian MOR

Kode Benda Uji	P (kgf)	P (N)	Nilai MOR (MPa)
RPC-BLK-1	1740	17063,57	7,68
RPC-BLK-2	1730	16965,5	7,63
RPC-BLK-3	1750	17161,64	7,72
Rata-rata MOR			7,68

Tabel 8. Hubungan antara MOR dengan kuat tekan

Kode Benda Uji	R (MPa)	f _c ' (MPa)	R/f _c ' x 100%
RPC-BLK-1	7,68	68,86	11,15
RPC-BLK-2	7,63	68,19	11,20
RPC-BLK-3	7,72	69,12	11,17
Rata-rata			11,17

Berdasarkan **Tabel 8** dapat dilihat bahwa rata-rata nilai MOR sebesar 11,17% dari nilai kuat tekan (f_c'). Nilai ini sudah sesuai dengan SNI 2847-2019 yakni nilai modulus runtuh berkisar 10-15% dari nilai kuat tekan beton.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Pelat

Hasil dari pengujian kuat lentur pelat RPC dengan pembebanan terpusat di tengah bentang tertera pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Hasil pengujian kuat lentur pelat

Kode Benda	Berat pelat	Beban maks	Mmax	Kuat lentur
Uji	(N/mm)	(N)	(Nmm)	(MPa)
RPC-PLT-1	0,27	6474,60	983297,02	12,29
RPC-PLT-2	0,34	9417,60	1427773,7	11,42
RPC-PLT-3	0,40	12753	1931110,5	10,73
RPC-PLT-4	0,47	14420,70	2184292,2	8,92
Rata-rata				10,84

Tabel 9 menunjukkan bahwa ketebalan berpengaruh terhadap beban maksimum yang dapat diterima oleh pelat beton. Besarnya beban maksimum yang dipengaruhi oleh ketebalan pelat dikarenakan semakin besar ketebalan pelat, maka semakin meningkatkan kekakuan pelat tersebut. Berdasarkan Tabel 9 juga dapat dilihat besarnya nilai kuat lentur pada pelat. Dari keempat benda uji dihasilkan nilai rerata kuat lentur sebesar 10,84 MPa.

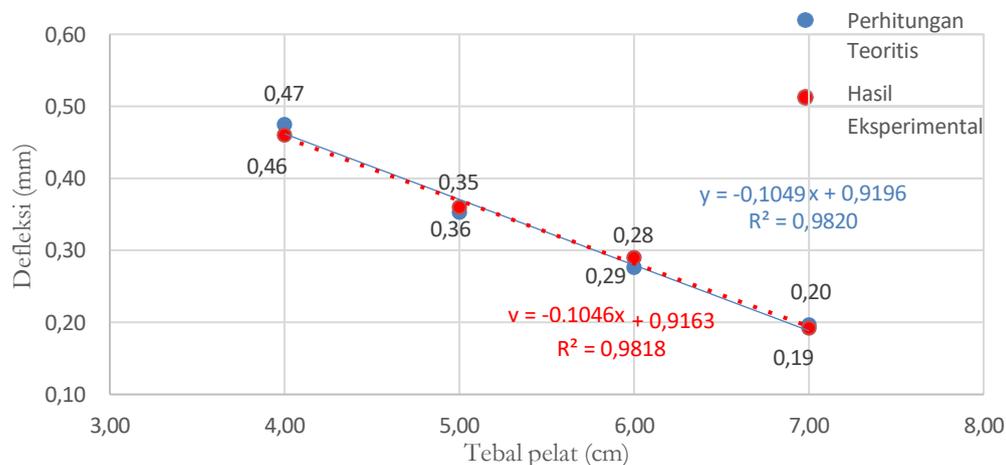
Hasil Pengujian Lendutan Pelat

Besarnya lendutan maksimum dari pengujian lendutan pada pelat RPC ditunjukkan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil Pengujian dan Perhitungan Teoritis Lendutan

Kode Benda	Eksperimental	Perhitungan	Selisih
Uji	(mm)	(mm)	(%)
RPC-PLT-1	0,46	0,47	3,22
RPC-PLT-2	0,36	0,35	1,99
RPC-PLT-3	0,29	0,28	4,79
RPC-PLT-4	0,19	0,20	2,44

Dari hasil pengujian lendutan secara eksperimen dan perhitungan lendutan secara teoritis dapat ditarik kesimpulan bahwa lendutan yang terjadi pada pelat RPC-PLT-4 (ketebalan 7 cm) lebih kecil dari pelat RPC-PLT-3 (ketebalan 6 cm), pelat RPC-PLT-3 (ketebalan 6 cm) lebih kecil dari pelat RPC-PLT-2 (ketebalan 5 cm), dan pelat RPC-PLT-2 (ketebalan 5 cm) lebih kecil dari pelat RPC-PLT-1 (ketebalan 4 cm). Hal tersebut dipengaruhi oleh ketebalan pelat yang semakin meningkat sehingga mampu menahan beban yang lebih besar. Selain itu, momen inersia juga berpengaruh pada hubungan antara lendutan dan ketebalan pelat. Momen inersia lebih besar pada pelat yang lebih tebal karena memiliki massa yang lebih besar.



Gambar 3. Perbandingan lendutan hasil perhitungan teoritis dengan eksperimental

Gambar 3 menunjukkan bahwa besarnya lendutan hasil perhitungan teoritis pada RPC-PLT-1, RPC-PLT-2, RPC-PLT-3, dan RPC-PLT-4 tidak jauh berbeda dengan lendutan hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa pelat beton bubuk reaktif memenuhi kriteria perhitungan teoritis. Selain itu, nilai R^2 dari hasil analisis regresi linear mendekati 100%. Nilai tersebut menunjukkan ketebalan pelat (X) memberikan pengaruh terhadap lendutan (Y). Lendutan yang terjadi berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan pelat beton.

KESIMPULAN

Menurut hasil riset diatas, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil nilai MOR beton RPC sebesar 11% dari kuat tekan beton. Nilai MOR sudah memenuhi SNI 2847-2019 yang berkisar 10-15% dari nilai kuat tekan beton.
2. Semakin tebal pelat, semakin besar beban maksimum yang dapat diterima. Hal ini dibuktikan dari hasil RPC-PLT-1 mendapatkan beban maksimum sebesar 6474,60 N, RPC-PLT-2 mendapatkan nilai beban maksimum sebesar 9417,60 N, RPC-PLT-3 mendapatkan beban maksimum sebesar 12753 N, dan RPC-PLT-4 mendapatkan beban maksimum sebesar 14420,70 N.
3. Ketebalan pelat 4 cm (RPC-PLT-1) menghasilkan nilai kuat lentur terbesar, yakni 12,29 MPa. Pada RPC-PLT-2 menghasilkan kuat lentur sebesar 11,42 MPa, RPC-PLT-3 menghasilkan nilai kuat lentur sebesar 10,73 MPa, dan RPC-PLT-4 menghasilkan kuat lentur terkecil sebesar 8,92 MPa. Dari keempat pelat beton RPC menghasilkan rerata kuat lentur sebesar 10,84 MPa.
4. Semakin besar ketebalan pelat, semakin kecil lendutan pada pelat. Dari hasil penelitian didapatkan selisih yang kecil antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil eksperimental lendutan. Lendutan pelat RPC-PLT-1 memiliki selisih sebesar 1,64%, pelat RPC-PLT-2 memiliki selisih sebesar 3,28%, pelat RPC-PLT-3 memiliki selisih sebesar 5,91%, dan pelat RPC-PLT-4 memiliki selisih sebesar 1,20% dari hasil pengujian eksperimen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada seluruh dosen, mahasiswa, dan laboran di Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret yang telah membantu dalam kegiatan penelitian dan penulisan artikel ini.

REFERENSI

- Aisyah, S. T. (2018). *Analisis Mikrostruktur Reactive Powder Concrete (Rpc) Dengan Variasi Temperatur Perawatan*. Sriwijaya University.
- Alkhaly, Y. R. (2017). Reactive Powder Concrete Dengan Sumber Silika Dari Limbah Bahan Organik. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 157. <https://doi.org/10.29103/tj.v3i2.41>
- Alkhaly, Y. R., Abdullah, Husaini, & Hasan, M. (2022). Characteristics of reactive powder concrete comprising synthesized rice husk ash and quartzite powder. *Journal of Cleaner Production*, 375, 134154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134154>
- Arsanto, B. D. (2023). *Kajian Kuat Lentur, Flexural Toughness, dan Stiffness pada Beton Bubuk Reaktif dengan Silica Fume 15% dan Variasi Pasir Kuarsa*. Universitas Sebelas Maret.
- Dwiamirta, T. D., & Saelan, P. (2022). *Studi mengenai Prediksi Kuat Tekan Reactive Powder Concrete (RPC) menggunakan Formulasi Dreux Gorisse*. Institut Teknologi Nasional.
- Faqihuddin, A., Hermansyah, & Kurniati, E. (2021). Tinjauan Campuran Beton Normal Dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0,3%; 0,5% Dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 34–45.
- Fikri, M., Muhtar, & Manggala, A. S. (2023). Studi Ekperimental Pengaruh Tebal Terhadap Kapasitas Dan Kekakuan Pelat Satu Arah Beton Bertulang Tunggal. *Jurnal Smart Teknologi*, 4, 566–5.
- Gunawan, P., Wibowo, & Munandar, A. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Nylon Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Teknik Sipil*, 750–758.
- Helmi, M., Widyawati, R., Irianti, L., & Annisa, M. A. (2019). *Sifat Mekanik Beton Reaktif yang Menggunakan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Semen dan Perlakuan Perawatan Panas (Heat Curing)*. 78–83.
- Johannes, D., Mangundap, K., Sugiharto, H., & Wijaya, G. B. (2017). Pengaruh Penambahan Serat Baja 4d Dramix Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah, Dan Lentur Pada Beton. *Teknik Sipil*, 6, 40–47.
- Kushartomo, W., & Christianto, D. (2015). Pengaruh Serat Lokal Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Reactive Powder Concrete dengan Teknik Perawatan Penguapan. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(1).

- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501–1511. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)
- Sarika S, & Dr. Elson John. (2015). A Study on Properties of Reactive Powder Concrete. *International Journal of Engineering Research And*, V4(11), 110–113. <https://doi.org/10.17577/ijertv4is110170>
- SNI 2847:2019 *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. (2019). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 4154:2014 *Metode uji kekuatan lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang)*. (2014). Badan Standardisasi Nasional.
- Syahland, S. J. (2017). Perhitungan Plat Lantai Struktur Existing Pada Gedung Puskesmas Ganjar Agung Kota Metro. *TAPAK*, 6(2).
- Wibowo, Safitri, & Azizah, T. (2023). Kajian Kuat Tekan Beton Bubuk Reaktif Mutu Tinggi Dengan Silica Fume 15% Dan Variasi Pasir Kuarsa. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 11(1), 56–63.
- Wibowo, W., Safitri, E., & Wicaksono, M. K. (2022). Kajian Serapan Co₂ Pada Beton Bubuk Reaktif Dengan Silica Fume 15% Dan Variasi Pasir Kuarsa. *Matriks Teknik Sipil*, 10(3), 216. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i3.63652>