



## Kajian Diameter Tulangan Pengekang *Hoop* Persegi Mutu Rendah terhadap Kuat Tekan Beton Pedestal Terkekang

Maria Adrevi Almarai<sup>1</sup>, Dionysius Triprijo Arry Bramantoro<sup>1</sup>, Ninik Catur Endah Yuliati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Merdeka Malang, Malang 65144, Indonesia

### Keywords:

Compressive Strength;  
Concrete Pedestal; Low-  
Strength reinforcement Rebar  
Diameter; Rectangular Hoop  
confinement

### Kata Kunci:

Pengekangan Beton Pedestal;  
Diameter Tulangan; Hoop Persegi;  
Kuat Tekan; Tulangan Pengekang  
Mutu Rendah

### Article History:

Submitted: 27 March 2025

Accepted: 18 December 2025

Available Online: December  
2025

### Korespondensi Penulis:

Ninik Catur Endah Yuliati

### Email:

[ninik.catur@unmer.ac.id](mailto:ninik.catur@unmer.ac.id)

### Abstract

Confinement is one of the techniques used to improve the performance of concrete against compressive forces, including in pedestal components. One of the parameters in the confining reinforcement used is the diameter of the confining reinforcement. This study used square hoop confining reinforcement with various diameters of  $\varnothing 4.5$  with  $f_y = 303.16$  MPa,  $\varnothing 5.5$  with  $f_y = 325.48$  MPa and  $\varnothing 6$  with  $f_y = 340.96$  MPa, and compressive Strength of concrete  $f'_c = 32.15$  MPa. The tensile Strength of the steel used is low quality with a value of  $f_y < 400$  MPa, the dimensions of the pedestal concrete are  $150 \times 150 \times 300$  mm. The compressive Strength test was carried out at the 28 days in accordance with the ASTM C39/C39M-22 about Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. The results showed that the diameter of the low tensile Strength of confining reinforcement contributed to increasing the compressive Strength of pedestal. The average compressive Strength of test Specimens with confining diameters of  $\varnothing 4.5$ ,  $\varnothing 5.5$ , and  $\varnothing 6$  was 36.34 MPa, 38.24 MPa, and 41.41 MPa, respectively, with increases of 11.53%, 15.92%, and 22.36% compared to unconfined pedestal concrete.

### Abstrak

Pengekangan adalah salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan kinerja beton terhadap gaya tekan, diantaranya adalah pada komponen pedestal. Salah satu parameter pada tulangan pengekang yang digunakan adalah diameter tulangan pengekang. Penelitian ini menggunakan tulangan pengekang *hoop* persegi dengan variasi diameter  $\varnothing 4,5$  dengan  $f_y = 303,16$  MPa,  $\varnothing 5,5$  dengan  $f_y = 325,48$  MPa dan  $\varnothing 6$  dengan  $f_y = 340,96$  MPa, dan mutu beton  $f'_c = 32,15$  MPa. Kuat tarik baja yang digunakan adalah mutu rendah dengan nilai  $f_y < 400$  MPa, dimensi beton pedestal adalah  $150 \times 150 \times 300$  mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari sesuai dengan ASTM C39/C39M-22 tentang Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter tulangan pengekang dengan mutu rendah memberikan kontribusi terhadap peningkatan kuat tekan pedestal. Hasil kuat tekan rata-rata dari benda uji dengan variasi diameter tulangan pengekang  $\varnothing 4,5$ ,  $\varnothing 5,5$ , dan  $\varnothing 6$  berturut-turut sebesar 36,34 MPa, 38,24 MPa dan 41,41 MPa dengan persentase kenaikan sebesar 11,53%, 15,92% dan 22,36% dibandingkan dengan beton pedestal tanpa pengekang.

Sitasi: Almarai, M. A., Bramantoro, D. T. A., & Yuliati, N. C. E. (2025). Kajian Diameter Tulangan Pengekang Hoop Persegi Mutu Rendah terhadap Kuat Tekan Beton Pedestal Terkekang. *Composite: Journal of Civil Engineering*, 4(2), 101-108. <https://doi.org/10.26905/cjce.v4i2.15429>

© 2025 Composite: Journal of Civil Engineering

This is an open access article distributed under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

### 1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu material struktur yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Dalam konstruksi bangunan, beton pedestal biasanya digunakan untuk mendukung kolom atau elemen

struktur lainnya. Beton pedestal memiliki stabilitas yang baik dalam menahan beban berat dan distribusi beban yang merata. Beton pedestal dapat mendistribusikan beban secara merata, sehingga mampu mengurangi risiko keruntuhan struktur (Fang et al., 2009). Ghateh et al., 2015, menemukan fakta bahwa pedestal pada struktur tangki air untuk bangunan tinggi sangat mempengaruhi stabilitas struktur. Pedestal mampu memberikan gaya geMPa dasar yang lebih kecil meskipun tinggi tangki air ditambah.

Pedestal merupakan komponen struktur yang dominan untuk menerima gaya tekan. Salah satu cara untuk pencegahan dan perlindungan terhadap beban tekan dapat dilakukan dengan cara penambahan tulangan pengekang. Tujuan pemberian tulangan pengekang adalah untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan struktur dengan cara mengekang inti beton agar tidak mengalami pengembangan ke arah lateral (Zhao et al., 2021). Penggunaan tulangan pengekang dapat mengurangi risiko keruntuhan pada struktur beton, terutama pada elemen-elemen yang tertekan (American Concrete Institute, 2014).

Pengekangan adalah teknik yang digunakan dalam meningkatkan stabilitas beton terhadap gaya tekan. Pengekangan bertujuan mengurangi deformasi lateral yang terjadi pada beton saat diberikan beban aksial sehingga meningkatkan kapasitas beban beton, meningkatkan kekuatan dan mencapai distribusi beban yang baik (Alirezaei & Hashemi, 2022). Pemasangan tulangan pengekang sangat penting dalam perencanaan struktur beton, karena mempengaruhi perilaku daktail beton. Kekuatan tekan beton dapat meningkat secara signifikan dengan menambahkan pengekang (Ekmekyapar & Al-Eliwi, 2016), terutama pada struktur yang mengalami beban dinamis (Yong et al., 1988). Hasil penelitian oleh Ali et al., 2022, menunjukkan bahwa tegangan inti beton sangat dipengaruhi oleh jarak tulangan pengekang. Peningkatan kapasitas tekan inti beton meningkat sejalan dengan pengurangan jarak pengekang. Perilaku yang sama juga diperoleh dalam penelitian Baietti et al., 2021, dan Abadel et al., 2022, yang menggunakan CFRP sebagai pengekang.

Penelitian tentang kuat tekan beton yang terkekang yang dilakukan oleh Hasibuan, Praja, and Irawati 2022, menunjukkan bahwa nilai kapasitas aksial menghasilkan nilai yang stabil dan lebih besar dari nilai kapasitas momen dan kapasitas geser seiring dengan bertambahnya diameter tulangan. Benda uji yang digunakan berupa kolom dengan dimensi 500x500 mm dengan mutu tulangan memanjang 415 MPa. *Review* terhadap pengaruh tulangan pengekang berbentuk *hoop* telah dilakukan oleh Ji et al. pada tahun 2023 terhadap beberapa penelitian mengenai pengekangan berbentuk *hoop* pada kolom. *Review* dilakukan terhadap kolom beton dengan pengekangan aktif maupun gabungan aktif dan pasif. Hasil *review* menunjukkan bahwa pengekangan *hoop* dengan berbagai material menunjukkan peningkatan kinerja kolom terhadap kuat tekan aksial. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Almomani et al., 2023, dan Shan et al., 2022, yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier antara pengekangan lateral dan peningkatan tegangan aksial. Fakta kondisi di lapangan menunjukkan bahwa seringkali ditemui adanya baja tulangan dengan mutu rendah yang tidak disarankan digunakan sebagai tulangan utama struktur beton. Baja tulangan mutu rendah ini yang kemudian digunakan sebagai tambahan perkuatan dengan memanfaatkannya sebagai tulangan pengekang. Dari beberapa referensi yang diacu, belum menunjukkan penelitian mengenai pemakaian tulangan pengekang yang menggunakan baja mutu rendah, sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan agar mengetahui bagaimana pengaruh diameter tulangan pengekang *hoop* persegi mutu rendah terhadap kuat tekan beton pedestal terkekang. Dalam penelitian ini ada tiga variasi diameter yang digunakan yaitu Ø4,5; Ø5,5 dan Ø6.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan terhadap 12 benda uji beton pedestal di laboratorium. Beton pedestal berukuran 150 x 150 x 300 mm dengan tulangan pengekang dari baja mutu rendah yaitu dengan nilai  $F_y < 400$  MPa. Kuat tekan beton yang digunakan adalah  $f'c = 32,15$  MPa. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat umur beton mencapai 28 hari.

### Material

Material beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dengan ukuran yang tertahan saringan no 4 (4,75 mm). Agregat halus yang digunakan adalah gradasi *zone 2* (agak kasar). Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe 1. Pembuatan campuran beton normal didasarkan pada *mix design* menurut SNI 2834-2000 dan SNI 2847-2013, dengan kuat tekan rencana  $f'c = 30$  MPa. Sedangkan untuk baja tulangan pengekang yang digunakan adalah baja mutu rendah dengan nilai  $F_y < 400$  MPa.

### Benda uji

Benda uji yang digunakan berupa beton pedestal dengan dimensi 150 x 150 x 300 mm sebanyak 12 buah yang dibagi menjadi 4 populasi yaitu 1 populasi sebagai variabel kontrol berupa beton pedestal tidak terkekang, dan 3 populasi lain berupa beton pedestal terkekang. Setiap populasi diwakili dengan 3 buah sampel. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter tulangan pengekang dan variabel terikatnya adalah kuat tekan beton pedestal. Detail benda uji beton pedestal tidak terkekang dan terkekang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji

Populasi	Kode Benda Uji	Variabel Terikat	Ø tulangan pengekang	Jumlah Benda Uji
1	BTT	Kuat Tekan	-	3
2	BTTHPØ4,5	Kuat Tekan	Ø4,5	3
3	BTTHPØ5,5	Kuat Tekan	Ø5,5	3
4	BTTHPØ6	kuat Tekan	Ø6	3
Jumlah				12

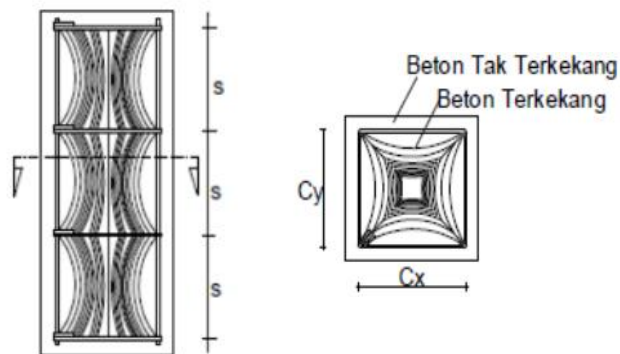
Keterangan:

BTT: Beton Tidak Terkekang

BTTHPØ4,5: Beton Tulangan Terkekang Hoop Persegi Ø4,5

BTTHPØ5,5: Beton Tulangan Terkekang Hoop Persegi Ø5,5

BTTHPØ6: Beton Tulangan Terkekang Hoop Persegi Ø6



Gambar 1. Detail Benda Uji

### Pengujian Material dan Benda Uji

Pengujian terhadap karakteristik material yang digunakan dilakukan terhadap baja dan bahan penyusun beton. Uji tarik dilakukan terhadap baja tulangan untuk mengetahui mutu tulangan pengekang. Uji tarik dilakukan terhadap baja tulangan dengan variasi diameter Ø4,5; Ø5,5; dan Ø6. Uji tarik dilakukan berdasarkan ASTM E8/E8M tentang "Standard Test Method for Tensile Testing of Metallic Materials"

Pengujian yang dilakukan terhadap bahan penyusun beton adalah pemeriksaan terhadap agregat halus dan agregat kasar. Uji material dilakukan berdasarkan ASTM C128-21, tentang *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, ASTM C136/C136M-21 tentang *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* dan ASTM C29/C29M-22 tentang *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji pedestal beton tidak terkekang dan terkekang dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)*, sesuai standar ASTM C39/C39M-22 tentang *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Hasil pengujian kuat tekan berupa data nilai beban tekan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan.

Perhitungan kuat tekan beton pedestal terkekang dilakukan menurut persamaan sebagai berikut:

$$f'_{cc} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$f'_{cc}$ : Kuat Tekan Beton Pedestal

P: Beban Tekan

A: Luas penampang Benda Uji

Berdasarkan data pengujian kuat tekan yang diperoleh, nilai kuat tekan untuk setiap populasi ditentukan berdasarkan nilai rata-rata dari 3 benda uji sampel. Selanjutnya dilakukan perbandingan kuat tekan rata-rata antara beton pedestal terkekang terhadap beton pedestal tidak terkekang untuk mengetahui pengaruh diameter tulangan pengekang *hoop* persegi mutu rendah terhadap kuat tekan beton pedestal terkekang.

Hasil pengujian kuat tekan ini kemudian divalidasi dengan persamaan kuat tekan beton terkekang secara teoritis berdasarkan persamaan yang diusulkan oleh Park and Paulay 1975, berikut:

#### Tegangan lateral kekangan efektif ( $f'r$ )

$$f'r = f'_{cct} = k_e \times fr \quad (2)$$

Keterangan:

$f'r$ : Gaya lateral pengekangan efektif =  $f'_{cct}$

$fr$ : Gaya lateral kekangan

$K_e$ : Indeks kekangan efektif

#### Tegangan lateral kekangan persegi ( $fr$ )

$$fr = \frac{2 \cdot fy \cdot As^2}{s' \cdot c} \quad (3)$$

Keterangan:

c: Selimut beton

$d_s$ : Lebar inti beton terkekang

$A_s$ : Luas tulangan lateral kekangan sengkang persegi

$Fr$ : Tegangan kekangan lateral pada saat puncak

$s'$ : Spasing bersih tulangan pengekang baja

$fy$ : Tegangan leleh tulangan pengekang

#### Indeks Kekangan efektif ( $K_e$ )

$$K_e = \left(1 - \frac{s'}{2c}\right)^2 \quad (4)$$

Keterangan:

$k_e$ : Indeks kekangan efektif

$S'$ : Spasing kekangan efektif

c: Lebar inti beton

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Tulangan Pengekang

Hasil uji tarik baja tulangan untuk pengekang berturut-turut adalah sebagai berikut:  $\emptyset 4,5$  dengan kuat tarik  $F_y = 303,16$  MPa,  $\emptyset 5,5$  dengan  $F_y = 325,48$  MPa dan  $\emptyset 6$  dengan  $F_y = 340,96$  MPa.

#### Agregat

Pengujian ini dilakukan terhadap agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah) yang bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik dari material yang digunakan dalam pembuatan campuran beton pedestal terkekang. Hasil pengujian agregat halus yang digunakan telah memenuhi standar ASTM C128-21, ASTM C29/C29M-22, dan ASTM C136/C136M-21. Sedangkan hasil pengujian agregat halus telah memenuhi standar ASTM C128-21, ASTM C29/C29M-22, dan ASTM C136/C136M-21.

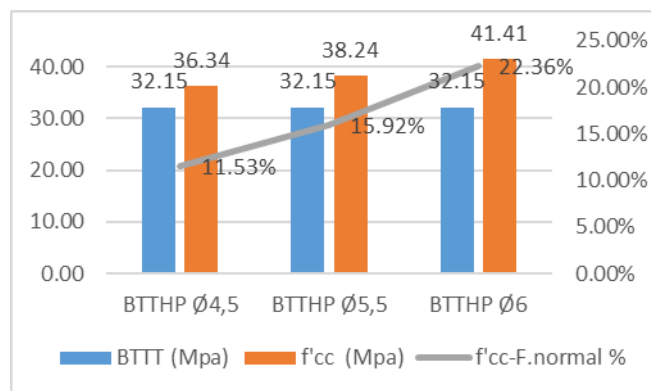
#### Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton pedestal dilakukan terhadap 4 populasi pada umur 28 hari dengan masing-masing populasi terdiri dari 3 benda uji. Populasi 1 merupakan benda uji beton pedestal tidak terkekang. Sedangkan, populasi 2, 3, dan 4 merupakan benda uji beton pedestal terkekang dengan variasi diameter

tulangan pengekang yaitu Ø4,5 Ø5,5 dan Ø6. Keterbatasan tersedianya baja tulangan mutu rendah dengan mutu yang sama untuk masing-masing variasi diameter menjadi kendala tersendiri dalam penelitian ini. Oleh karena itu pembahasan hanya difokuskan pada pengaruh diameter tulangan baja pengekang terhadap kuat tekan beton pedestal. Pengaruh mutu baja tulangan pengekang hanya difokuskan pada mutu rendah, yaitu nilai  $f_y < 400$  MPa. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton pedestal untuk benda uji yang tidak terkekang dan terkekang ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Kuat Tekan Beton Pedestal Rata-rata

Kode BU tanpa pengekang	$f'_{cc}$ Rata- Rata (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (MPa)	Prosentase Kenaikan Kuat Tekan (%)
BTT	32,15	-	0,00
BTTHPØ4,5	36,34	4,19	11,53
BTTHPØ5,5	38,24	6,09	15,92
BTTHPØ6	41,41	9,26	22,36



Gambar 2. Histogram Hubungan Kuat Tekan Beton Tidak Terkekang dan Beton Terkekang

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kuat tekan beton tidak terkekang pada populasi 1 (BTT) nilai kuat tekan sebesar 32,15 MPa, pada populasi 2 (BTTHPØ4,5) sebesar 36,34 MPa, populasi 3 (BTTHPØ5,5) sebesar 38,24 MPa dan populasi 4 (BTTHPØ6) sebesar 41,41 MPa. Dari data diatas menunjukkan beton terkekang *hoop* persegi dengan variabel diameter tulangan pengekang memiliki kekuatan kuat tekan yang baik seiring bertambahnya ukuran diameter, sehingga menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan beton tidak terkekang.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan rata-rata, peningkatan kuat tekan yang terjadi pada masing-masing populasi dibandingkan dengan beton tidak terkekang berturut-turut adalah sebagai berikut; populasi 2 (BTTHPØ4,5) mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 11,53%, kuat tekan rata-rata populasi 3 (BTTHPØ5,5) meningkat sebesar 15,92% dan nilai kuat tekan rata-rata populasi 4 (BTTHPØ6) meningkat sebesar 22,36%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi diameter tulangan pengekang berpengaruh terhadap kuat tekan beton pedestal. Variasi diameter Ø6 (BTTHPØ6) menghasilkan peningkatan kuat tekan terbesar yaitu 22,36%.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya tulangan pengekang persegi *hoop* mutu rendah masih berperan dalam meningkatkan kuat tekan kolom pedestal beton bertulang. Peningkatan kuat tekan yang terjadi tidak sebesar jika menggunakan tulangan pengekang dengan mutu normal seperti yang dilakukan oleh Guadagnuolo et al., 2020 yang menunjukkan peningkatan kuat tekan hingga 30%.

### Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Terkekang Eksperimental ( $f'_{cc}$ ) dengan Teoritis ( $f'_{cct}$ )

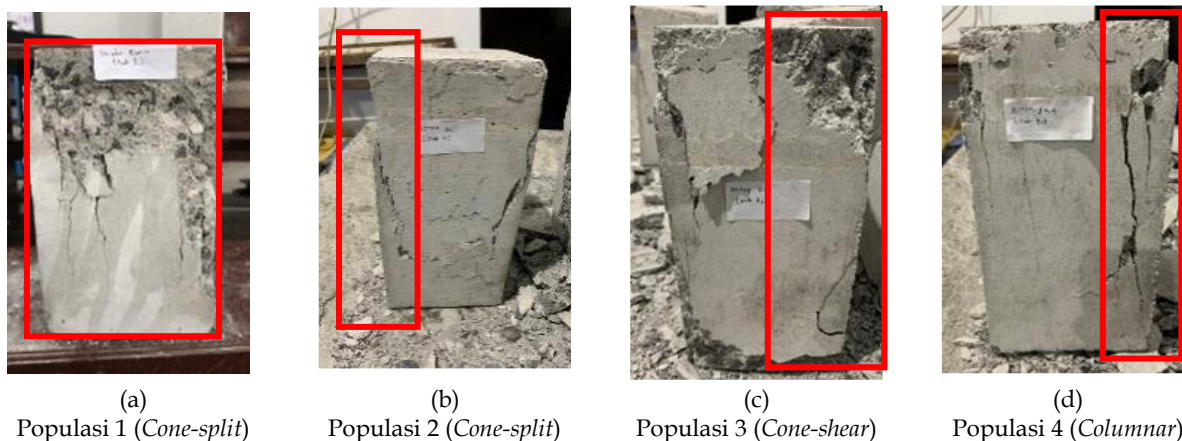
Hasil perbandingan nilai kuat tekan beton terkekang eksperimental dengan nilai teoritis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Perbandingan Kuat Tekan Beton Terkekang Eksperimental ( $f'_{cc}$ ) dengan Teoritis ( $f'_{cct}$ )

Kode BU tanpa pengekang	Populasi Benda Uji	$f'_{cct}$ (MPa)	$f'_{cc}$ Eksp. (MPa)
BTT A	BTTHPØ4,5	34,66	36,34
BTT B	BTTHPØ5,5	36,39	38,24
BTT C	BTTHPØ6	37,57	41,41

### Mekanisme Keruntuhan Beton Pedestal Terkekang

Pola keruntuhan beton pedestal terkekang dan beton pedestal tidak terkekang pada masing-masing populasi mengalami pola keruntuhan dan retak yang berbeda. Pada beton pedestal normal populasi 1 (BTT) dan populasi 2 (BTTHPØ4,5) mengalami pola keruntuhan tipe *cone-split*, populasi 3 (BTTHPØ5,5) mengalami pola keruntuhan tipe *cone-shear*, dan populasi 4 (BTTHPØ6) mengalami keruntuhan dengan pola tipe *columnar*. Pola keruntuhan pada masing-masing benda uji diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola Keruntuhan Benda Uji

### 4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa parameter diameter tulangan pengekang berpengaruh terhadap kuat tekan beton pedestal terkekang *hoop* persegi. Diameter tulangan yang lebih besar pada beton dengan diameter Ø6 mm memberikan peningkatan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 41,41 MPa dengan presentase kenaikan 22,36%. Pada diameter Ø5,5 mm peningkatan yang terjadi sebesar 38,24 MPa dengan presentase kenaikan sebesar 15,92%. Sedangkan pada diameter Ø4,5 mm dengan nilai kuat tekan terendah sebesar 36,34 MPa dengan presentase kenaikan 11,53%. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kuat tekan beton pedestal meningkat seiring dengan peningkatan diameter tulangan pengekang. Selanjutnya perlu dilakukan kajian tersendiri untuk mengetahui pengaruh kuat tarik tulangan pengekang pada mutu baja < 400 MPa mengingat kenaikan kuat tekan beton pedestal yang terjadi pada penelitian ini juga meningkat seiring dengan peningkatan kuat tarik baja pengekang.

### 5. Daftar Pustaka

- Abadel, A. A., Masmoudi, R., & Khan, M. I. (2022). Axial Behavior of Square and Circular Concrete Columns Confined with CFRP Sheets under Elevated Temperatures: Comparison with Welded-Wire Mesh Steel Confinement. *Structures*, 45(3), 126-144. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.09.026>
- Ali, M., Abbas, S., Azevedo, A. R. G. de, Marvila, M. T., Alqurashi, M., Khan, M. I., Rafiq, W., & Hussein, E. E. (2022). Experimental and Analytical Investigation on The Confinement Behavior of Low Strength Concrete under Axial Compression. *Structures*, 36, 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.038>

- Alirezaei, M., & Hashemi, B. H. (2022). Experimental Studies of The Seismic Behavior of EKBFs Subjected to Lateral Loading. *Structures*, 36, 511–520. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.025>
- Almomani, Y., Tarawneh, A., Alawadi, R., Authors, S. all 7, & Momani, Z. (2023). Confinement Model for Circular Concrete Columns Transversely Reinforced with GFRP Spirals and Hoops. *Results in Engineering*, 17(8), 100918. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100918>
- American Concrete Institute. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. American Concrete Institute.
- ASTM International. (2021a). *ASTM C128-21: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*.
- ASTM International. (2021b). *ASTM C136/C136M-21: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- ASTM International. (2022a). *ASTM C29/C29M-22: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.
- ASTM International. (2022b). *ASTM C39/C39M-22: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International.
- Baietti, G., Shahreza, S. K., Santandrea, M., & Carloni, C. (2021). Concrete Columns Confined with SRP: Effect of The Size, Cross-Sectional Shape and Amount of Confinement. *Construction and Building Materials*, 275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121618>
- Ekmekyapar, T., & Al-Eliwi, B. J. . (2016). Experimental Behaviour of Circular Concrete Filled Steel Tube Columns and Design Specifications. *Thin-Walled Structures*, 105, 220–230. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tws.2016.04.004>
- Fang, D., Xi, H., Wang, X., Zhang, C., & Zhao, T. (2009). Load Distribution Assessment of Reinforced Concrete Buildings During Construction with Structural Characteristic Parameter Approach. *Tsinghua Science and Technology*, 14(6), 746–755. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(09\)70145-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1007-0214(09)70145-2)
- Ghateh, R., Kianoush, M. R., & Pogorzelski, W. (2015). Seismic Response Factors of Reinforced Concrete Pedestal in Elevated Water Tanks. *Engineering Structures*, 87, 32–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.01.017>
- Guadagnuolo, M., Donadio, A., Tafuro, A., & Faella, G. (2020). Experimental Behavior of Concrete Columns Confined by Transverse Reinforcement with Different Details. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 14, 250–265.
- Hasibuan, S. A. R. S., Praja, B. A., & Irawati, I. (2022). Prediksi Kapasitas Penampang Kolom Beton Bertulang dengan Variasi Diameter Tulangan. *Jurnal Rab Contraction Research*, 7(1), 36–43. [https://www.researchgate.net/publication/361649696\\_PREDIKSI\\_KAPASITAS\\_PENAMPANG\\_KOLOM\\_BETON\\_BERTULANG\\_DENGAN\\_VARIASI\\_DIAMETER\\_TULANGAN](https://www.researchgate.net/publication/361649696_PREDIKSI_KAPASITAS_PENAMPANG_KOLOM_BETON_BERTULANG_DENGAN_VARIASI_DIAMETER_TULANGAN)
- Ji, J., Han, T., Dong, Z., Zhu, H., Wu, G., Wei, Y., & Soh, C.-K. (2023). Performance of Concrete Columns Actively Strengthened with Hoop Confinement: A State-of-The-Art Review. *Structures*, 54, 461–477. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.038>
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. A Wiley Interscience Publication. [https://www.researchgate.net/publication/31640630\\_Reinforced\\_concrete\\_structures\\_R\\_Park\\_T\\_Paulay](https://www.researchgate.net/publication/31640630_Reinforced_concrete_structures_R_Park_T_Paulay)
- Shan, B., Lv, Z. W., Chen, J., Xu, C., Xiao, Y., & Huang, B. (2022). Compressive Behavior and Strength Prediction of Ultra-High Performance Concrete Confined by Normal and High Strength Steel Hoops. *Construction and Building Materials*, 354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129176>

- Yong, Y., Nour, M. G., & Nawy, E. G. (1988). Behavior of Laterally Confined High-Strength Concrete under Axial Loads. *Journal of Structural Engineering*, 114(2). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:2\(332\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:2(332))
- Zhao, Y., Yang, Z., Yu, T., & Xin, D. (2021). Mechanical Properties and Energy Absorption Capabilities of Aluminium Foam Sandwich Structure Subjected to Low-Velocity Impact. *Construction and Building Materials*, 273. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121996>