

PENGARUH UKURAN BENDA UJI KUBUS TERHADAP NILAI KUAT TEKAN REACTIVE POWDER CONCRETE

Widodo Kushartomo¹, Arianti Sutandi², dan Jevin Wijaya³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
widodo@untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ariantis@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
jevin.325230011@stu.untar.ac.id

Masuk: 27-08-2024, revisi: 27-10-2024, diterima untuk diterbitkan: 11-11-2024

ABSTRACT

The testing of reactive powder concrete (RPC) in the laboratory aims to obtain compressive strength values that represent the quality of the concrete being tested. This testing must adhere to established standards, including international regulations such as ASTM (American Standard for Testing Materials), BS (British Standard), and national regulations like SNI. According to BS 1881 Part 108, the concrete samples must be cube-shaped with dimensions of 15 cm x 15 cm x 15 cm. For high-strength concrete such as RPC, it is impractical to use cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm due to the maximum capacity of the compression testing machine. This study investigates the correlation between compressive strength for cube specimens of 5x5x5 cm³, 10x10x10 cm³, and 15x15x15 cm³. The target compressive strengths are set at K400, K500, and K650, with 10 samples produced for each size and strength class. Compressive strength tests were conducted at 28 days, with the samples cured through immersion in water at 25°C for 26 days. The results indicate that specimen size influences compressive strength values, with smaller specimens exhibiting higher compressive strengths. Conversely, larger specimens are more prone to defects, which may reduce the compressive strength.

Keywords: Cube; RPC; correlation; quality

ABSTRAK

Pengujian RPC di laboratorium bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang mewakili mutu dari beton yang diujikan. Pengujian harus mengikuti standar-standar yang telah ditentukan seperti bentuk dan ukuran yang sesuai dengan peraturan internasional seperti ASTM (*American Standard for Testing Materials*), BS (*British Standard*), dan peraturan nasional yaitu SNI. Berdasarkan BS 1881 part 108 tentang sampel beton berbentuk kubus, mensyaratkan ukuran benda uji 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pada beton dengan mutu sangat tinggi seperti RPC, tidak memungkinkan membuat benda uji silinder berukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm, ini berkaitan dengan kapasitas maksimum mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian tekan. Pada penelitian ini dicari korelasi kuat tekan ukuran kubus 5x5x5 cm³, 10x10x10 cm³ terhadap 15x15x15 cm³. Kuat tekan beton yang direncanakan K400, K500 dan K650, masing masing ukuran dan mutu benda uji dibuat sebanyak 10 buah. Pengujian benda uji kubus dilakukan pada umur 28 hari, pemeliharaan dengan teknik perendaman dalam air bertemperatur 25°C selama 26 hari. Berdasarkan pengujian yang dilakukan ukuran benda uji mempengaruhi nilai kuat tekan, semakin kecil ukuran benda uji maka nilai kuat tekan yang ditunjukkan juga semakin besar. Semakin besar benda uji kubs yang digunakan, kemungkinan terjadinya cacat juga semakin besar.

Kata kunci: Kubus; RPC; korelasi; mutu

1. PENDAHULUAN

Reactive powder concrete (RPC) merupakan material yang saat ini sangat populer digunakan dalam industri konstruksi. Kepopuleran material tersebut disebabkan RPC memiliki sifat mekanis yang sangat superior, penelitian terhadap sifat mekanis rcp pertama kali dikembangkan oleh *bouygues' laboratory* di perancis. *Reactive powder concrete* telah menunjukkan sifat-sifat mekanis dan durabilitas yang sangat baik, antara lain kuat tekan mampu mencapai 200 MPa – 800 MPa dan modulus *rupture* mampu mencapai 50 MPa – 60 MPa (Cheyrezy et al., 1995; Cwirzen et al., 2008). RPC tersusun atas semen, *silica fume*, pasir *quartz* (150 µm – 600 µm), *powder quartz* (10 µm) dan tanpa menggunakan agregat kasar, untuk meningkatkan duktilitas dan *flexure strength* (tegangan keruntuhan

lentur) serta menahan terjadinya penyusutan kedalam RPC ditambahkan *micro-steel fiber* (serat baja mikro) dengan ukuran panjang 13 mm diameter 0,18 mm – 0,20 mm (Cheyrezy et al., 1995).

Untuk mendapatkan nilai tekan yang dapat diakui dan diterima, pengujian RPC dilakukan di laboratorium. Karena itu, pengujian harus mengikuti standar yang telah ditetapkan. Misalnya, dimensi benda uji harus sesuai dengan standar internasional seperti ASTM (*American Standard for Testing Materials*), BS (*British Standard*), dan bahkan peraturan nasional, SNI. Misalnya, BS 1881 bagian 108 menyatakan bahwa ukuran benda uji untuk sampel beton kubus adalah 15 cm x 15 cm x 15 cm.

Fládr dan Bílý (2018) dalam tulisannya mengatakan ketergantungan ukuran benda uji pada kuat tekan berkurang seiring dengan meningkatnya kekuatan beton. Pada beton berkekuatan sangat tinggi (lebih dari 130 MPa), nilai kuat tekan yang dihasilkan, hasilnya hampir tidak bergantung pada ukuran. Ray (2016) mengatakan pada beton mutu tinggi tidak ada perbedaan nilai kuat tekan pada benda uji berbentuk silinder maupun benda uji berbentuk kubus.

Berdasarkan kedua tulisan tersebut menunjukkan bahwa ukuran benda uji sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Pada beton dengan mutu sangat tinggi seperti RPC, tidak mungkin dibuat benda uji dengan ukuran standar 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk kubus dan diameter 15 cm tinggi 30 cm untuk benda uji berbentuk silinder, ini disebabkan berkaitan kapasitas maksimum mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian tekan. Bagi benda uji beton yang direncanakan memiliki mutu diatas 100 MPa seperti RPC, kapasitas mesin yang digunakan minimal memiliki kekuatan 20 ton. Meskipun mesin uji tekan tersebut dimiliki oleh sebuah laboratorium namun ledakan yang ditimbulkan akibat pengujian sangat besar sekali sehingga getarannya memahayakan bagi mesin itu sendiri dan operator mesin. Sehingga perlu dibuat benda uji RPC dengan ukuran yang lebih kecil, namun persoalan yang dihadapi adalah apakah dengan benda uji yang kecil dapat menggambarkan kekuatan RPC yang sebenarnya. Dalam banyak kasus pengujian balok, kolom, dinding geser dan elemen struktur lainnya sangat sulit dibuat dalam skala penuh. Hal ini lah yang mendasari tahapan awal penskalaan pengujian sampel yang secara geometris persis sama namun berbeda dalam ukuran. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian sebagai salah satu contoh penskalaan untuk membuat benda uji beton dengan ukuran lebih kecil dari ukuran standar namun dapat memberikan gambaran nilai kekuatan yang sebenarnya terhadap mutu beton.

Beberapa permasalahan muncul dalam penelitian mencari nilai faktor korelasi kuat tekan variasi ukuran benda uji pada *reactive powder concrete* (RPC). Adapun masalah-masalah yang dapat diketahui pada penelitian ini adalah jumlah benda uji yang di perlukan untuk menurunkan faktor korelasi variasi ukuran benda uji, banyaknya variasi mutu RPC sehingga faktor korelasi dapat berlaku secara umum, umur benda uji terhadap nilai faktor korelasi variasi benda uji dan pengaruh mutu RPC terhadap nilai faktor korelasi variasi benda uji. Yang menjadi pokok rumusan masalah pada penelitian ini adalah apakah bentuk dan ukuran benda uji mempengaruhi nilai mutu RPC.

Penelitian ini bertujuan menemukan korelasi nilai kuat tekan RPC benda uji kubus berukuran kecil 5x5x5 cm³ dan 10x10x10 cm³ ke benda uji kubus berukuran standar 15x15x15 cm³.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental yang didasarkan pada pengujian terhadap benda uji yang diteliti. Pengujian menggunakan berbagai ukuran benda uji dan berbagai mutu beton yang digunakan. Adapun benda uji yang digunakan berukuran 5x5x5 cm³, 10x10x10 cm³ dan 15x15x15 cm³. Sedangkan mutu beton yang digunakan K400, K500, dan K650. Rencana campuran ketiga mutu beton tersebut disajikan pada Table 1. Masing-masing mutu beton dan setiap ukuran benda uji dibuat sebanyak 10 buah, sehingga total benda uji yang dibuat sebanyak 90 buah. Setelah dikeluarkan dari cetakan benda uji yang sudah dibuat direndam dalam air bertemperatur 25°C selama 26 hari dan dilakukan pengujian ketika berumur 28 hari. Proses pembuatan benda uji mengikuti SNI 2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium, sedangkan pengujiannya mengikuti SNI 1974-2011 tentang pengujian sampel silinder beton. Penelitian dilaksanakan di Laboraturium Konstruksi dan Teknologi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara. Anaisis statistik yang diganakan dalam menemukan korelasi nilai kuat tekan antar ukuran benda uji menggunakan teori Bazant.

Tabel 1. Rencana campuran pembuatan benda uji RPC (kg/m³)

Campuran	Semen	Air	Silica fume	Tepung marmar	Pasir	Super plasticizer
K400	760	266	152	76	950	23
K500	790	237	158	79	987	24
K650	840	184	168	84	1050	25

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap seluruh benda uji diperoleh hasil pengujian seperti disajikan pada Tabel 2-4.

Tabel 2. Kuat tekan RPC mutu beton rencana K400

Benda uji	Kuat tekan (MPa)									
K-15	40,6	41,1	43,5	40,5	42,4	40,0	41,7	42,3	41,0	43,3
K-10	53,7	54,6	59,9	57,2	52,5	57,4	56,5	57,9	57,9	54,5
K-5	69,6	70,2	69,2	69,9	69,5	69,5	70,4	69,4	69,7	51,5

Tabel 3. Kuat tekan RPC mutu beton rencana K500

Benda uji	Kuat tekan (MPa)									
K-15	50,4	51,4	52,2	53,2	51,5	50,4	52,3	52,6	53,2	51,5
K-10	66,3	67,8	63,8	64,0	67,1	68,8	67,3	68,1	71,0	61,1
K-5	80,2	78,3	77,4	79,9	78,8	79,7	79,6	80,6	82,4	83,6

Tabel 4. Kuat tekan RPC mutu beton rencana K650

Benda uji	Kuat tekan (MPa)									
K-15	64,0	67,8	66,6	69,7	66,9	68,4	66,0	68,4	68,9	68,3
K-10	81,4	80,1	75,6	79,0	81,7	83,3	80,6	76,6	78,0	78,7
K-5	93,5	93,9	92,4	92,7	89,1	94,1	95,2	93,2	93,4	93,1

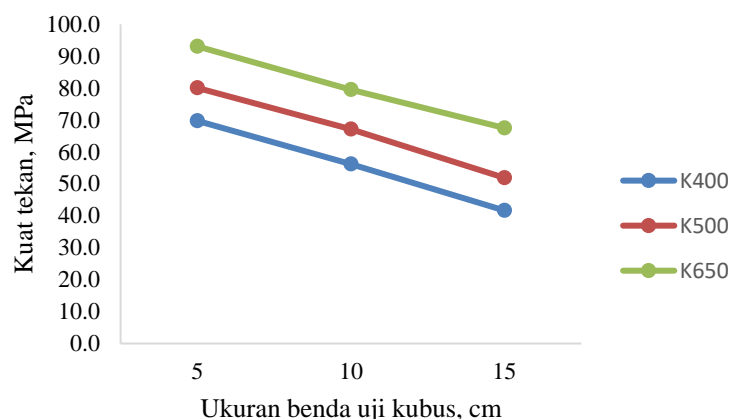
Data pengujian benda uji RPC yang disajikan dalam Tabel 2-4. dilakukan analisis secara statistik dengan rata-rata pengujian disajikan pada Table 5.

Tabel 5. Rata-rata kuat tekan benda uji RPC pada berbagai mutu beton

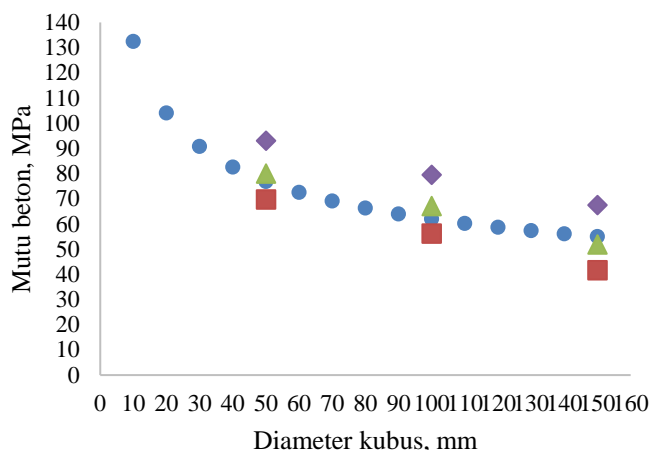
Benda uji	Mutu beton		
	K400	K500	K650
K-15	41,65	51,88	67,49
K-10	56,19	67,13	79,49
K-5	69,73	80,05	93,06

Berdasarkan hasil pengujian seperti disajikan pada Table 5. memperlihatkan ukuran dan bentuk benda uji mempengaruhi pembacaan nilai kuat tekan beton. Semakin kecil ukuran benda uji maka nilai kuat tekan RPC yang terukur semakin besar. Tabel 5 jelas sekali memperlihatkan kondisi tersebut dimana benda uji dengan ukuran 5x5x5 cm³ (K-5) memiliki nilai kuat tekan RPC terbesar sedangkan benda uji dengan ukuran 15x15x15 cm³ (K-15) menghasilkan nilai kuat tekan RPC terkecil. Hasil ini tidak dipengaruhi dengan mutu beton yang dihasilkan, artinya berapapun mutu beton yang dibuat maka semakin kecil ukuran benda uji yang dihasilkan maka nilai kuat tekan yang terukur juga semakin besar. Gambar 1 memperjelas korelasi pengaruh ukuran benda uji terhadap nilai kuat tekannya pada berbagai mutu beton.

Berdasarkan Gambar 2, memperlihatkan semakin kecil ukuran benda uji maka nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin besar, hal ini disebabkan semakin kecil ukuran benda uji maka proses kemungkinan terjadinya cacat juga semakin kecil (Ming et al., 2008). Pengaruh ukuran menyebabkan redistribusi tegangan yang disebabkan oleh penyebaran patahan atau kerusakan yang stabil dan pelepasan energi yang melekat, artinya ukuran benda uji mempengaruhi distribusi pelepasan energi akibat pembebanan yang diterima oleh sampel uji. Jadi semakin besar ukuran benda uji cacat yang muncul kemungkinannya juga semakin banyak, sehingga beban yang diterimanya dapat menyebabkan perkembangan cacat tersebut sampai ke titik kehancuran (Ming et al., 2008; Ince, 2004; Jiang et al., 2024).



Gambar 1. Pengaruh ukuran benda uji terhadap nilai kuat tekan beton



Gambar 2. Kurva fitting kuat tekan *reactive powder concrete*

Formulasi Bazant (1997) untuk benda yang sama dengan ukuran berbeda dituliskan Persamaan 1.

$$\sigma_N = c_1 d^{-2/5} + c_0 \tag{1}$$

dengan σ_N = tegangan normal saat keruntuhan (MPa), d = karakteristik ukuran, c_1 dan c_0 = konstanta.

Dengan menggunakan Table 5 yang dimasukkan dalam Persamaan 1 maka dapat diperoleh nilai c_1 dan c_0 , sehingga Persamaan 1 dapat ditulis sebagai Persamaan 2.

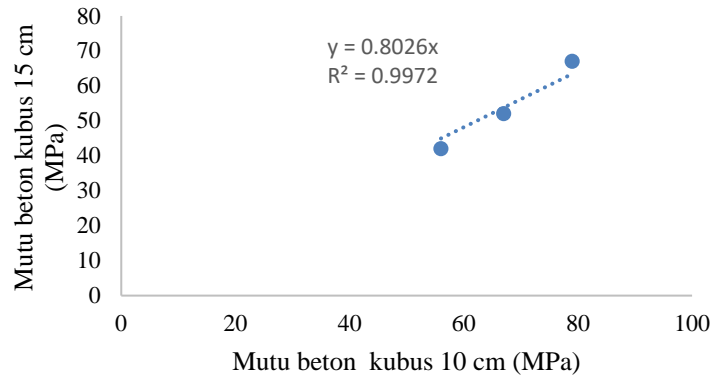
$$\sigma_N = 294,07d^{-2/5} + 15,36 \tag{2}$$

Sehingga apabila data dalam Tabel 5 dimasukkan dalam Persamaan 1, maka akan diperoleh kurva yang disajikan pada Gambar 2.

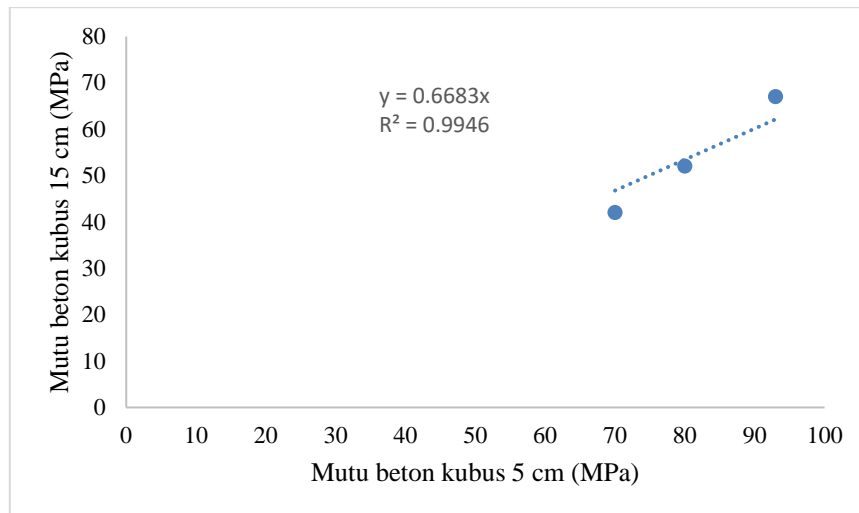
Gambar 2 memperlihatkan keterkaitan hubungan antara berbagai ukuran benda uji kubus dengan nilai kuat tekan RPC. Kurva ini juga membuktikan kebenaran teorema bazant tentang *size effect* (Bazant, 1999; Fladr & Billy, 2018; Kim & Yi, 2002; Ming et al., 2008)

Pengujian dilakukan pada umur yang sama yaitu 28 hari dan dalam kondisi yang sama artinya perbedaan yang terjadi terhadap nilai pengujian merupakan murni dari ukuran dan bentuk benda uji yang dibuat. Seperti diketahui bahwa *Reactive Powder Concrete* (RPC) merupakan material dengan sifat mekanis yang sangat baik dengan kekuatan yang mampu dicapai hingga 200 MPa dan 800 MPa (Cheyrezy et al., 1995). Jika diperhatikan kekuatan yang mampu dicapai oleh RPC tersebut sangat tinggi, maka tidak semua mesin mampu mengukur kuat tekan benda uji sampel dengan ukuran standar yaitu diameter silinder standar penguajian 15 cm dan tinggi 30 cm atau diameter silinder standar penguajian 10 cm dan tinggi 20 cm berdasarkan ASTM C39. Keterbatasan mesin uji tekan tersebut mendorong para peneliti untuk membuat benda uji dengan ukuran yang lebih kecil guna mengintegrasikan kekuatan tekan yang dicapai dengan

benda uji standar sesuai dengan *code* yang berlaku. Gambar 1-2 menunjukkan adanya koefisien korelasi antara kuat tekan beton berdasarkan mutu dan ukuran benda uji. Konversikoefisean korelasi kuat tekan benda uji kubus pada berbagai ukuran pada RPC disajikan pada Gambar 3-4.



Gambar 3. Faktor konversi kuat tekan RPC kubus 10 cm ke RPC kubus 15 cm



Gambar 4. Faktor konversi kuat tekan RPC kubus 5 cm ke RPC kubus 15 cm

Koefisien korelasi tersebut dapat digunakan sebagai panduan guna menentukan kuat tekan RPC pada berbagai ukuran benda uji kubus.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ukuran benda uji kubus yang dipergunakan dalam menentukan mutu beton berpengaruh terhadap nilai kuat tekan RPC. Semakin kecil ukuran benda uji kubus yang dibuat semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan. Sampel kubus dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ memiliki nilai kuat tekan tertinggi.
2. Benda uji kubus dengan ukuran yang semakin besar kemungkinannya memiliki cacat juga semakin banyak, sehingga beban yang diterimanya dapat menyebabkan perkembangan cacat tersebut sampai ke titik kehancuran.
3. Bazant size effect terhadap kuat tekan pada benda uji kubus *reactive powder concrete* dihasilkan persamaan $\sigma_N = 294,07 d^{-2/5} + 15,36$
4. Korelasi nilai kuat tekan RPC benda uji kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (σ_5) dan ukuran $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ (σ_{10}) terhadap benda uji kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ (σ_{15}) diperoleh faktor korelasi sebagai berikut:
 - $\sigma_{15} = 0,8025 \sigma_{10}$
 - $\sigma_{15} = 0,6683 \sigma_5$

Saran

Diperlukan pengujian dengan variasi mutu beton yang semakin banyak untuk menghasilkan korelasi yang lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

- Bazant Z. P., & Xiang, Y. X. (1997). Size effect in compression fracture: Splitting crack band propagation. *Journal of Engineering Mechanics*, 123(2), 122–127. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1997\)123:2\(162\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:2(162))
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Tata cara pembautan dan perawatan benda uji beton di laboratorium* (SNI 2493:2011).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder* (SNI 1974:2011).
- Bazant, Z. P. (1999). Size effect on structural strength: A review. *Archive of Applied Mechanics*, 69, 703-725. <https://doi.org/10.1007/s004190050252>
- Cheyrezy, M., Maret, V., Frouin, L. (1995). Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete). *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1491-1500. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00143-Z](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00143-Z)
- Cwirzen A., Penttala V., Vornanen C. (2008). Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. *Cemen and Concrete Research*, 38(10), 1217-1226. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.03.013>
- Fládr, J., & Bílý, P. (2018). Specimen size effect on compressive and flexural strength of high-strength fibre-reinforced concrete containing coarse aggregate. *Composites*, 138, 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.032>
- Ince, R., & Arici, E. (2004). Size effect in bearing strength of concrete cubes. *Construction and Building Materials*, 18(8), 604-609. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.002>
- Jiang, N., Ge, Z., Wang, Z., Gao, T. Zhang, H., Ling, Y., Šavija, B. (2024). Size effect on compressive strength of foamed concrete experimental and numerical studies. *Material & Design*, 240, 112841. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112841>
- Kim, K. J., dan Yi, T. S. (2002). Application of size effect to compressive strength of concrete members. *Sadhana*, 27(4), 467-484. <https://doi.org/10.1007/BF02706995>
- Ming, A. Z., Li, Z. J., Quan, Y. X. (2008). Size effect on compressive strength of reactive powder concrete. *Journal of China University of Mining and Technology*, 18(2), 279-282. [https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60059-0](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60059-0)
- Ray, N. (2016) Studi angka koefisien korelasi kuat tekan beton mutu tinggi berdasarkan umur & bentuk benda uji standar SNI 03-2847-2002. *Agregat*, 1(2), 44-50. <https://doi.org/10.30651/ag.v1i2.338>