

STUDI KUAT LENTUR PADA BETON TANPA AGREGAT KASAR DENGAN SERAT BAJA

Daniel Christianto¹, Yenny Untari Liucius^{1*}, dan Albert Tan¹

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

Masuk: 01-07-2025 revisi: 13-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 25-09-2025

ABSTRACT

This research investigates the flexural strength of Reactive Powder Concrete (RPC) reinforced with micro steel fibers and designed without coarse aggregates. RPC is an advanced cementitious composite characterized by its dense matrix and ultra-high compressive strength, achieved through the use of ultra-fine materials such as quartz sand, silica fume, and marble powder. The addition of micro steel fibers is intended to enhance the flexural capacity and ductility of the concrete. A total of six beam specimens measuring 100 × 100 × 400 mm were tested using the third-point loading method in accordance with ASTM C78. All specimens underwent steam curing for 28 days. The results show that fiber-reinforced RPC significantly improves flexural performance, with values exceeding 300 MPa and compressive strengths averaging above 80 MPa. These findings suggest that fiber-reinforced RPC offers a promising alternative for high-performance structural applications and has strong potential for implementation in Indonesia due to the local availability of raw materials and compatible production methods.

Keywords: *Reactive Powder Concrete (RPC); flexural strength; steel fiber; coarse aggregate-free concrete; third-point loading*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur beton *Reactive Powder Concrete* (RPC) yang diperkuat dengan serat baja dan tidak menggunakan agregat kasar. RPC merupakan jenis beton inovatif yang memiliki kepadatan tinggi dan kuat tekan sangat tinggi karena menggunakan material berukuran sangat halus seperti pasir kuarsa, *silica fume*, dan tepung marmer. Penambahan serat baja mikro dalam campuran RPC dilakukan untuk meningkatkan kekuatan lentur dan duktilitas beton. Pengujian dilakukan terhadap enam sampel balok berukuran 100 × 100 × 400 mm dengan metode *third-point loading* sesuai standar ASTM C78. Perawatan dilakukan selama 28 hari dengan metode uap panas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan serat baja dalam RPC mampu meningkatkan kekuatan lentur secara signifikan, mencapai nilai di atas 300 MPa, dengan kuat tekan rata-rata di atas 60 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa RPC berserat dapat menjadi alternatif beton struktural berkinerja tinggi yang layak dikembangkan di Indonesia karena ketersediaan bahan dan peralatan lokal yang mendukung.

Kata kunci: *Reactive Powder Concrete* (RPC); kuat lentur; serat baja; beton tanpa agregat kasar; *third-point loading*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan yang meningkat harus disertai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sebanding untuk mendapatkan pertumbuhan yang efektif dan jangka panjang. Banyaknya pilihan material yang digunakan dalam proses konstruksi sebuah infrastruktur membuat pengambilan keputusan menjadi semakin sulit. Perkembangan arsitektur yang rumit seiring berjalannya waktu mengakibatkan perlunya pemikiran yang kreatif dibandingkan sebelumnya. Maka dari itu, metode konvensional belum tentu menjadi solusi yang tepat di masa yang akan datang.

Pada proses konstruksi, material yang menjadi kebutuhan pokok adalah beton. Sehingga teknologi beton dapat membantu pertumbuhan dengan mencari solusi yang efektif dan efisien. Dalam pembuatan beton, banyak penemuan beton yang meningkatkan sifat mekanik beton dengan menambahkan campuran bahan-bahan tertentu ke dalam campuran beton. Beton mutu tinggi seringkali menjadi sebuah opsi dalam proses konstruksi sebuah infrastruktur demi mencapai tuntutan pembangunan. Penggunaan beton mutu tinggi dapat meningkatkan efisiensi biaya jika diperhitungkan dengan baik, berhubung dimensi penampang dapat diperkecil untuk mencapai kekuatan yang sama atau lebih dari beton konvensional. Peningkatan mutu beton lebih baik diimbangi dengan penelitian demi mengetahui sifat mekanik dan batasan penggunaan beton sesuai kebutuhan.

Pada umumnya, beton konvensional memiliki campuran material atas semen, pasir, kerikil, dan air. Setiap material tersebut akan disesuaikan dengan kebutuhan berdasarkan mutu beton yang diinginkan pada proses konstruksi. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh perbandingan campuran, terutama pasir, semen, dan agregat.

Beton mutu tinggi memiliki kategori *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) yang mempunyai keunggulan dibandingkan beton konvensional khususnya *Reactive Powder Concrete* (RPC). RPC menjadi salah satu metode untuk meningkatkan mutu beton dengan cara menghilangkan agregat kasar untuk meningkatkan kepadatan beton dan menambahkan *silica fume* untuk mendapatkan reaksi mikrostruktur pada pori beton yang disebut reaksi pozzolanik. Volume pori ini merupakan faktor utama yang menunjang kekuatan RPC atau beton tanpa agregat kasar (Richard & Cherezy, 1995). Pasir yang digunakan pada campuran RPC memiliki kandungan silika yang tinggi dan ukuran partikel kecil menyesuaikan konsep RPC. Komposisi tipikal RPC berdasarkan massa material penyusunnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi tipikal RPC berdasarkan massa (Richard & Cherezy, 1995)

	RPC 200		RPC 800		Agregat baja
	Tidak berserat	Berserat	Agregat silika		
Semen Portland	1	1	1	1	1
<i>Silica fume</i>	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23
Pasir 150 – 600 μm	1,1	1,1	1,1	0,5	-
<i>Crushed quartz</i> $d_{50} = 10 \mu\text{m}$	-	0,39	-	0,39	0,39
<i>Superplasticizer (polyacrylate)</i>	0,016	0,019	0,016	0,019	0,019
Serat baja $L = 12 \text{ mm}$	-	-	0,175	0,175	-
Serat baja $L = 3 \text{ mm}$	-	-	-	-	0,63
Agregat baja $< 800 \mu\text{m}$	-	-	-	-	1,49
Air	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19
<i>Compacting pressure</i>	-	-	-	-	50 MPa
Temperatur perawatan panas	20°C	90°C	20°C	90°C	250–400°C
					250–400°C

Selain *silica fume*, RPC pada umumnya menggunakan tepung marmer untuk menambahkan agregat berpartikel halus, mendorong kepadatan dari pori-pori, dan menambahkan reaksi pozzolanik. Linggasari et al. (2018) menunjukkan bahwa tepung kuarsa dapat digantikan dengan tepung marmer karena tepung marmer memiliki kandungan yang dapat bereaksi dengan *silica fume* sehingga meningkatkan kekuatan tekan beton. Selain itu, butiran tepung marmer berukuran lebih kecil dari ukuran butiran semen sehingga dapat mengisi ruang kosong pada pori-pori beton dan membuat beton semakin padat. Linggasari et al. (2018) juga menunjukkan bahwa penambahan tepung marmer lebih dari 20% terhadap berat semen akan mengakibatkan penurunan kuat tekan beton tanpa agregat kasar.

RPC memiliki kecenderungan untuk retak sehingga perlu ditambahkan serat baja mikro sebagai material yang mengikat beton (Kushartomo et al., 2016; Huseiny & Nursani, 2020; Gea et al., 2024). Kushartomo dan Christianto (2015) menunjukkan bahwa serat baja berdiameter 0,3 mm memberikan kenaikan kuat lentur sebesar 300%-400%, namun dengan *workability* yang rendah sehingga beton akan memiliki volume pori-pori udara yang tinggi dikarenakan proses pengecoran yang sulit.

Perawatan beton segar pada RPC sangat mempengaruhi kepadatan mikrostruktur dan performa mekanik RPC untuk mendapatkan reaksi pozzolanik dengan meningkatkan suhu pada saat perawatan (*curing*) beton. Ada tiga pilihan metode perawatan RPC diantara lain *curing uap*, *curing air panas*, dan *autoclave curing*. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan RPC ada dua yaitu, pemilihan material yang tepat serta tipe, durasi, dan temperatur *curing* (Mayhoub et al., 2021). Kurniawan (2016) menunjukkan bahwa kekuatan beton cetak berumur 1 hari setelah perawatan penguapan, memiliki kekuatan rata-rata sama dengan beton cetak berumur 3 hari dengan penyiraman. Hal ini menunjukkan, perawatan penguapan mempercepat proses mencapai mutu beton maksimal, tapi tidak meningkatkan mutu beton akhir. Secara teori, pemanasan *silica fume* dan tepung marmer akan menghasilkan reaksi pozolanik sehingga dapat meningkatkan mutu beton dibandingkan perawatan perendaman.

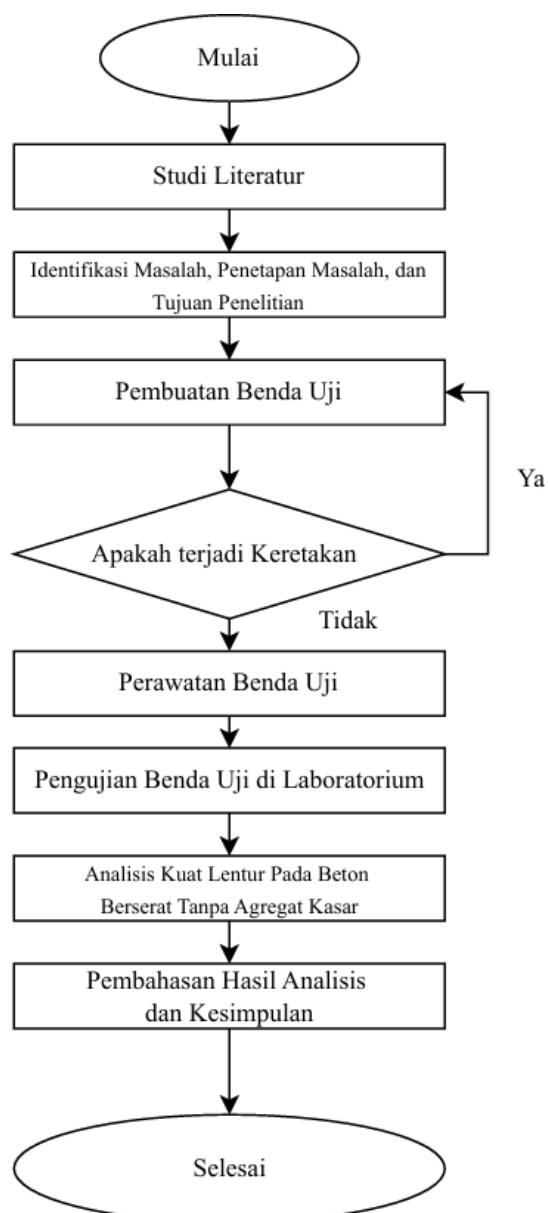
Christianto et al. (2023) menunjukkan bahwa beton tanpa agregat kasar memiliki massa jenis yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan beton normal dan dapat dikategorikan sebagai beton ringan berdasarkan ACI 318M-19. Meskipun tergolong beton ringan, hasil pengujian menunjukkan bahwa beton tanpa agregat kasar memiliki kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan beton normal, berbeda dengan ketentuan ACI 318M-19. Christianto et al. (2023) juga menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton tanpa agregat kasar relatif mirip dengan modulus elastisitas ACI 318M-19 untuk beton normal, kecuali untuk silinder beton 100 mm × 200 mm bermutu tinggi, yaitu sebesar 67,13 MPa. Christianto et al. (2024) menunjukkan bahwa akurasi prediksi kuat geser beton tanpa agregat kasar menggunakan persamaan kekuatan geser beton ACI 318M-19 dapat ditingkatkan dengan memodifikasi faktor kuat

tarik belah. Dengan menggunakan faktor kuat tarik belah dari pengujian sebesar 1,37, rasio kuat geser beton tanpa agregat kasar dari eksperimen dan formula dapat diturunkan dari rata-rata 1,515 hingga rata-rata 1,106.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat lentur pada RPC berserat baja dari sampel berbentuk balok dengan volume serat 0,1% dan dengan panjang 400 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm untuk mengetahui kuat lentur atau modulus ruptur dari RPC berserat baja yang melalui proses perawatan air panas selama 28 hari. Alat yang digunakan untuk menguji sampel beton bertipe *third-point loading* berdasarkan ASTM C78/C78M-18 di Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton, Universitas Tarumanagara.

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Metode penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan dan memilih material yang digunakan pada pembuatan RPC dan mempersiapkan tempat untuk melakukan *curing* air panas. Setelah itu, dilakukan pembuatan sampel beton dengan mencampur seluruh material yang sudah disiapkan menggunakan panduan pembuatan RPC dengan mesin molen. *Mix design* beton tanpa agregat kasar atau RPC yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya dan ditunjukkan pada Tabel 2.

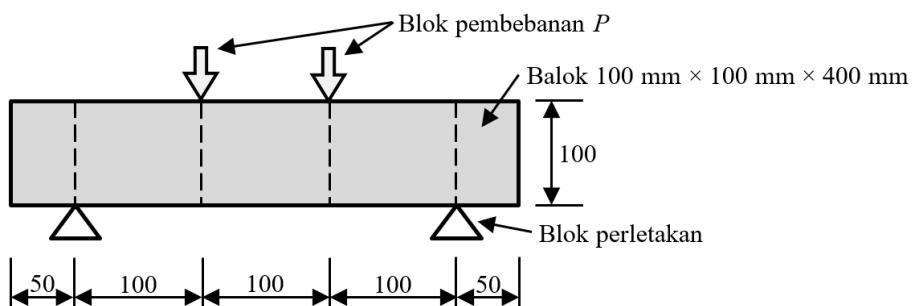


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 2. *Mix design* beton berserat tanpa agregat kasar

Materi yang digunakan	Berat jenis (kg/m ³)	Rasio terhadap semen	Volume bahan per massa semen (m ³)	Kebutuhan material per 1 m ³ (kg/m ³)
Semen	Semen OPC	3150	1	0,00032
Agregat	Pasir Silika	2617,8	1,1	0,00042
	Tepung Marmer	2563	0,2	0,00009
	Serat Baja	7850	-	47,1000
<i>Admixtures</i>	<i>Silica Fume</i>	2200	0,025	0,00002
	<i>Superplasticizer</i>	1150	0,18	0,00018
Air	Suling	1000	0,1	0,00004
		Σ	0,00107	
		1/ Σ	935,1690	

Setelah beton tercampur, dilakukanlah pengecoran ke dalam 6 buah cetakan balok ukuran 100×100×400 mm dan 12 buah cetakan silinder ukuran Ø40×80 mm. Semua benda uji dikeringkan selama 24 jam sebelum disimpan pada bak air panas bersuhu 90°C selama 28 hari. Pengujian dilakukan setelah proses *curing* di Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton, Universitas Tarumanagara. Dua benda uji silinder beton digunakan untuk menentukan kuat tekan dari satu benda uji balok beton. Benda uji balok digunakan untuk mendapatkan nilai kuat lentur menggunakan mesin *third-point loading* dengan penempatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penempatan balok pada *third-point loading test*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan (f'_c) balok diperoleh dari rata-rata hasil uji tekan 2 buah silinder berukuran 40 mm × 80 mm. Hasil uji tekan silinder dan uji lentur balok masing-masing ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Kuat lentur balok ditentukan dari beban maksimum (P) yang dibaca saat pengujian kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan ASTM C78/C78M-18. Pada saat pengujian, serat baja dalam campuran beton terbukti dapat mengurangi sifat RPC yang getas menjadi lebih daktail yang terlihat dari bentuk keruntuhan yang lebih terjaga untuk semua sampel silinder. Hal ini disebabkan oleh serat yang tercampur di dalam beton yang dapat menahan lepasnya pecahan-pecahan material secara efektif sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan pascaretak. Semua sampel balok beton memiliki letak keruntuhan yang sama, yaitu tepat di dalam daerah seperti tengah bentang atau di antara dua beban P .

Tabel 3. Hasil uji tekan silinder beton berserat tanpa agregat kasar untuk memperoleh f'_c balok

Benda uji silinder	P dari <i>load dial</i> (kN)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
S1.1	84,9	67,5613	75,1211
S1.2	103,9	82,6810	
S2.1	150,9	120,0824	101,5806
S2.2	104,4	83,0789	
S3.1	114,8	91,3549	83,2380
S3.2	94,4	75,1211	
S4.1	140,5	111,8063	84,8296
S4.2	72,7	57,8528	
S5.1	112,1	89,2063	99,5116
S5.2	138	109,8169	
S6.1	96,8	77,0310	79,7764
S6.2	103,7	82,5218	

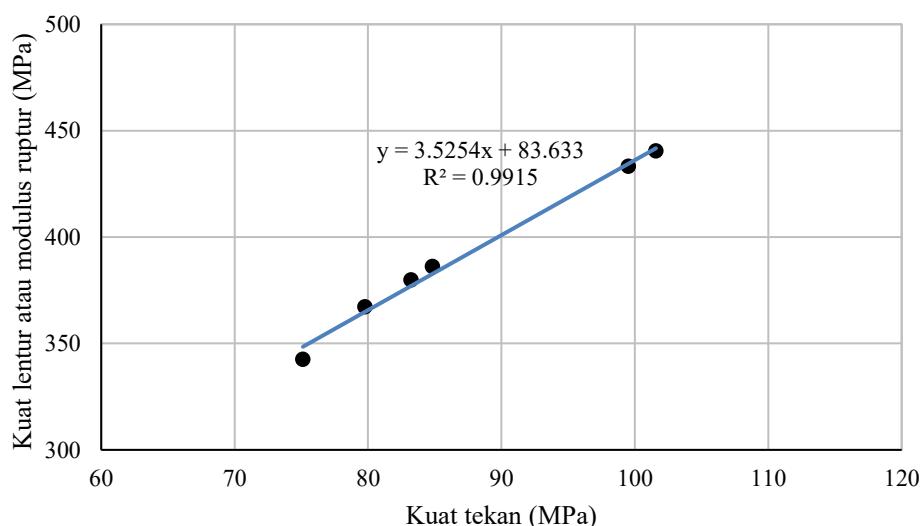
Tabel 4. Hasil uji lentur balok untuk memperoleh modulus ruptur atau kuat lentur beton

Sampel	Kuat tekan, f'_c (MPa)	P dari <i>load dial</i> (kN)	Modulus ruptur, f_r (MPa)
S1	75,1211	1142	342,6
S2	101,5806	1468	440,4
S3	83,2380	1266	379,8
S4	84,8296	1287	386,1
S5	99,5116	1444	433,2
S6	79,7764	1224	367,2

Kuat lentur beton tanpa agregat kasar atau RPC berserat baja tertinggi yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebesar 440,4 MPa untuk kuat tekan sebesar 101,5806 MPa. Kuat lentur beton RPC berserat baja jauh lebih tinggi dibandingkan kuat tekannya dan kuat lentur beton konvensional. Perbandingan kuat lentur atau modulus ruptur beton dengan kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa kuat lentur atau modulus ruptur beton (f_r) akan meningkat seiring bertambahnya kekuatan tekan beton (f'_c), sama seperti pada beton normal dengan agregat kasar dan tanpa serat baja. Berdasarkan analisis regresi, modulus ruptur dan kekuatan tekan beton berserat baja tanpa agregat kasar dapat dinyatakan dengan

$$f_r = 3,5254 f'_c + 83,633 \text{ MPa} \quad (1)$$

dengan volume serat 0,1% dan $75,1211 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 101,5806 \text{ MPa}$. Dibandingkan dengan beton normal, beton berserat tanpa agregat kasar memiliki modulus ruptur yang relatif lebih tinggi karena adanya serat baja yang ikut berkontribusi menahan tegangan tarik pada balok beton.



Gambar 3. Grafik kuat lentur terhadap kuat tekan beton berserat tanpa agregat kasar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada beton berserat tanpa agregat kasar yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton, Universitas Tarumanagara, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton berserat tanpa agregat kasar memiliki keruntuhan lebih terjaga untuk semua sampel silinder. Hal ini menunjukkan bahwa serat yang tercampur di dalam beton dapat menahan lepasnya pecahan-pecahan material secara efektif sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan pascaretak dan mengurangi sifat getas dari RPC.
2. Pada penelitian ini, beton tanpa agregat kasar atau RPC dengan *mix design* dan umur beton yang sama menghasilkan kuat tekan beton yang beragam, yaitu berkisar antara 75,1211 MPa sampai 101,5806 MPa, dan kuat lentur beton yang lebih besar, yaitu antara 342,6 MPa sampai 440,4 MPa.
3. Sama seperti beton normal dengan agregat kasar dan tanpa serat baja, kuat lentur atau modulus ruptur beton (f_r) berserat baja tanpa agregat kasar juga cenderung meningkat seiring bertambahnya kekuatan tekan beton (f'_c). Hubungan kuat lentur dan kuat tekan ini dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.

4. Beton berserat baja tanpa agregat kasar memiliki modulus ruptur yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa serat baja sangat berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan lentur balok beton berserat baja tanpa agregat kasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk yang telah mendukung keperluan semen dan juga kepada PT Sika Indonesia yang telah mendukung keperluan *superplasticizer* dan *silica fume* pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete* (ACI 318M-19).
- ASTM. (2018) *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)* (ASTM C78/C78M-18). https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-21
- Christianto, D., Pranoto, W. A., Jusuf, A. H., Kho, D. A., & Tavio (2024). Formulasi faktor modifikasi kuat tarik belah untuk kuat geser beton tanpa agregat kasar. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(2), 663–670. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.28994>
- Christianto, D., Utami, T. A., & Yoana, M. (2023). Sifat mekanik beton tanpa agregat kasar. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(1), 145–158. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i1.21637>
- Gea, P. M., Dohare, G. A., Zebua, M. K., Zebua, A. K., Zebua, D., & Ndruru, R. J. (2024). Pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan beton pada berbagai tingkat kepadatan. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 66–73. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.246>
- Huseiny, M. S. A. & Nursani, R. (2020). Pengaruh bahan tambah serat fiber terhadap kuat tekan dan lentur beton. *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(2), 63–69. <https://doi.org/10.37058/aks.v1i2.1505>
- Kurniawan, S. (2016). Analisa perawatan beton cetak menggunakan uap. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 5(2), 98–107. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i1.21637>
- Kushartomo, W., Christianto, D., & Suryani, J. (2016). Pengaruh penggunaan serat baja terhadap flexural toughness reactive powder concrete. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 107–112. <https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.2.3>
- 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), 31–36. <https://doi.org/10.5614/jts.2015.22.1.4>
- Linggaasari, D., Sutandi, A., & Kushartomo, W. (2018). Pengaruh tepung marmer terhadap sifat mekanik reactive powder concrete. *Jurnal Muara, Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 2(2), 556–565. <https://doi.org/10.24912/jmstik.v2i2.3013>
- Mayhoub, O. A., Nasr, E. S. A., Ali, Y. A., & Kohail, M. (2021). The influence of ingredients on the properties of reactive powder concrete: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 145–158.
- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and concrete research*, 25(7), 1501–1511.