

KAJIAN SERAPAN KLORIDA PADA BETON BUBUK REAKTIF DENGAN SILICA FUME 15% DAN VARIASI PASIR KUARSA

Wibowo, Endah Safitri, Daka Arkananta Kastara

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.

Email: wibowo68@staff.uns.ac.id

Abstract

Along with the rapid development of infrastructure and the high demand for concrete, concrete is required to continue to grow even better. Reactive Powder Concrete (RPC) is a high-quality concrete innovation. RPC is a concrete innovation that replaces coarse aggregate with fine aggregate, thereby increasing its homogeneity, making concrete have high compressive strength, durability, and impermeability. Indonesia is an archipelagic country united by a vast ocean. This causes buildings in coastal areas and seas to be vulnerable to attack by chlorides which are harmful to concrete. This study aims to determine the effect of using 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, and 40% quartz sand by weight of fine aggregate against chloride uptake in RPC. The method used is experimental. The test object used was cylindrical concrete with a diameter of 7.5 cm and a height of 15 cm. The chloride absorption test was carried out by immersing the concrete in 4% chloride solution for 10+0.5 minutes and 24 hours then weighing it in dry SSD state and comparing it to the dry oven. The lowest value occurred when the quartz sand content was 30% with an absorption value of 0.68% for 10+0.5 minute immersion and 1.58% for 24 hour immersion.

Keywords: chloride absorption, impermeability, quartz sand, reactive powder concrete, silica fume

Abstrak

Seiring dengan pesatnya pembangunan infrastruktur dan kebutuhan beton yang tinggi, maka beton dituntut untuk terus berkembang lebih baik lagi. Salah satu terobosan beton dengan mutu tinggi adalah Beton Bubuk Reaktif (*Reactive Powder Concrete*). *Reactive Powder Concrete* (RPC) merupakan inovasi beton yang agregat kasar dalam campurannya digantikan dengan agregat halus yang membuat peningkatan pada homogenitasnya sehingga beton memiliki kuat tekan, durabilitas, dan impermeabilitas yang tinggi. Indonesia merupakan negara dengan banyak pulau yang disatukan oleh laut yang luas. Hal ini menyebabkan bangunan di daerah pantai dan laut rentan terhadap serangan klorida yang berbahaya pada beton. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan pengaruh pemakaian pasir kuarsa 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% dari berat agregat halus terhadap serapan klorida pada RPC. Metode yang dipakai adalah eksperimental dengan benda uji yaitu beton dengan bentuk silinder berdiameter 7,5 cm dengan tinggi 15 cm. Pengujian serapan klorida dilakukan dengan merendam beton pada larutan klorida 4% selama 10+0,5 menit dan 24 jam kemudian menimbangannya dalam keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD) dan membandingkannya dengan berat kering ovennya. Nilai serapan klorida terendah terjadi saat kadar pasir kuarsa 30% dengan nilai serapan 0,68% untuk perendaman 10+0,5 menit dan 1,58% untuk perendaman 24 jam.

Kata Kunci: beton bubuk reaktif, impermeabilitas, pasir kuarsa, serapan klorida, *silica fume*

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi, beton dituntut untuk terus berkembang lebih baik lagi dengan memiliki kuat tekan yang tinggi, durabilitas yang baik, pengerjaan yang mudah, dan ramah lingkungan (Ahmad et al, 2021). Menurut SNI 03-6468-2000, beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yaitu beton dengan nilai kuat desak lebih dari atau sama dengan 41,4 MPa. Indonesia merupakan negara dengan banyak pulau yang disatukan oleh laut yang luas. Hal ini perlu diperhatikan karena pada daerah ini terdapat banyak zat berbahaya yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton seperti klorida. Klorida bertanggung jawab atas kerusakan banyak struktur selama 25 tahun terakhir (Jackson & Dhir, 1996). Oleh karena itu, beton dituntut untuk memiliki durabilitas dan permeabilitas yang baik untuk mencegah kerusakan akibat klorida.

Banyak penelitian tentang teknologi beton yang telah dilakukan untuk menjawab tuntutan tersebut, salah satunya adalah inovasi Beton Bubuk Reaktif atau *Reactive Powder Concrete* (RPC). RPC adalah beton yang dikembangkan melalui teknik peningkatan mikrostruktural (Firmansyah & Nuranita, 2023; Dzulfikar & Saelan, 2023). RPC terbuat

dari *steel fiber*, *superplasticizer*, *silica fume*, dan semen dengan nilai faktor air semen (fas) yang rendah. Karakteristik RPC adalah tidak menggunakan agregat kasar dalam campurannya melainkan menggunakan agregat yang sangat halus (Sarika S & Dr. Elson John, 2015; Amalia, 2018). Nilai kuat tekan RPC dapat mencapai 800 Mpa (Alkhaly, 2013). Tujuan RPC tidak menggunakan agregat kasar dalam pembuatannya adalah agar membuat campuran beton bersifat homogen yang akan menambah nilai kuat tekan beton dan meningkatkan impermeabilitas beton. RPC memiliki kuat tarik 25–150 Mpa dan regangan tarik ultimit 1%, sementara kuat lentur dan keuletannya juga luar biasa tinggi (Mostofinejad et al., 2016). Nilai fas yang sangat rendah akan menurunkan porositas beton yang membuat beton mempunyai kuat desak dan impermeabilitas yang tinggi. Namun, nilai fas yang sangat rendah tersebut akan membuat beton memiliki tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang rendah pula, sehingga perlu ditambahkan *superplasticizer* (Kannan Rajkumar et al., 2020). penggunaan kadar *superplasticizer* yang optimum akan menghasilkan reaksi yang baik antara butiran halus dan *admixture* sehingga dapat menghemat biaya (Annas et al., 2016). Pemakaian serat baja (*steel fiber*) pada RPC berfungsi untuk meminimalkan sifat getas akibat kuat tekan RPC yang tinggi. Penggunaan serat baja pada RPC juga dapat mencegah terjadinya penjalaran retak (Kushartomo et al., 2016). Kuat tekan beton dapat meningkat hingga 20 MPa dari beton tanpa serat baja (Bae et al., 2016). *Silica fume* merupakan pozzolan bersifat sebagai *filler* yang dapat mengisi rongga kecil dalam beton sehingga menambah homogenitas dan kuat tekan beton. Penelitian Simatupang (2017) memperoleh hasil kuat tekan beton bertambah seiring ditambahkan *silica fume* hingga nilai optimal ketika kadar *silica fume* berada di angka 26,28%. Penambahan pasir kuarsa dapat membuat beton lebih homogen serta memperbesar nilai kuat tekan beton. Ali Qureshi et al., (2017) melakukan penelitian tentang RPC mendapat nilai maksimum sebesar 76,73 MPa saat variasi pasir kuarsa 35%. Pasir kuarsa berfungsi sebagai *filler* yang sangat baik untuk mengurangi porositas awal. Kemampuan pasir kuarsa yang bisa masuk diantara pori-pori menyebabkan RPC memiliki homogenitas yang tinggi sehingga menghasilkan beton dengan permeabilitas yang rendah (Mayhoub et al., 2021).

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan pengaruh ditambahkan *silica fume* sebesar 15% dan variasi penggunaan pasir kuarsa 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% dari berat agregat halus terhadap serapan klorida pada *Reactive Powder Concrete* (RPC).

METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental yang memiliki dua variabel yaitu variabel bebas berupa variasi kadar pasir kuarsa yang digunakan serta variabel terikat berupa serapan klorida. Benda uji yang dipakai mempunyai bentuk silinder berdiameter 7,5 cm serta tinggi 15 cm sebanyak 21 buah. Uji serapan klorida beton dilakukan perendaman pada waktu 10+0,5 menit dan 24 jam setelah itu benda uji ditimbang. Benda uji yang digunakan tercantum pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Sampel Serapan Klorida

Kadar Pasir Kuarsa	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
0%	28	3
15%	28	3
20%	28	3
25%	28	3
30%	28	3
35%	28	3
40%	28	3
Total Benda Uji		21

Mix Design RPC

Mix Design atau rancang campur *Reactive Powder Concrete* (RPC) dengan variasi penambahan *silica fume* diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Richard & Cheyrezy (1995). Berdasar pada penelitian mereka, dan trial yang telah dilakukan sebelum dilakukan penelitian, fas yang dipakai adalah 0,19 dan kadar optimum *superplasticizer* 1,9% dari berat binder. Rekapitulasi *mix design* RPC dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Rancang Campur RPC

Kadar Pasir Kuarsa	Binder		Agregat		Steel Fiber (Kg/m ³)	Super-plastisizer (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
	Semen (Kg/m ³)	Silica Fume (Kg/m ³)	Pasir Halus (Kg/m ³)	Pasir Kuarsa (Kg/m ³)			
0%	680	120	1499,06	0	11,6	7,79	152
15%	680	120	1274,20	218,85	11,6	7,79	152
20%	680	120	1199,25	291,80	11,6	7,79	152
25%	680	120	1124,29	364,75	11,6	7,79	152
30%	680	120	1049,34	437,70	11,6	7,79	152
35%	680	120	974,38	510,65	11,6	7,79	152
40%	680	120	899,60	583,60	11,6	7,79	152

Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian bahan penyusun beton terdiri dari modulus kehalusan, kandungan lumpur, berat jenis, zat organik, *absorption* untuk agregat halus serta Pengujian XRF untuk *silica fume*. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui standar serta mutu dari bahan-bahan penyusun beton.

Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan untuk beton segar adalah *slump flow test*. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat workabilitas pada RPC. Nilai *slump flow* RPC berkisar antara 340 – 360 mm (Alkhaly et al., 2022).

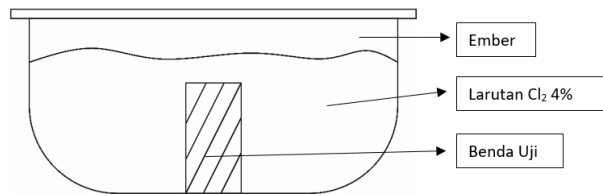
Serapan Klorida Beton

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya nilai daya serap air yang mengandung klorida pada beton. Pengujian serapan klorida pada beton RPC dilakukan perendaman selama 10+0,5 menit dan 24 jam seperti pada Gambar 1 serta dapat dihitung dengan Persamaan [1].

$$\text{Serapan } Cl_2 = \frac{w-wk}{wk} \times 100\% \dots\dots\dots[1]$$

dengan:

- w = Sampel saat keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD) (gram)
- wk = Sampel saat keadaan kering oven (gram)



Gambar 1. *Set Up* Pengujian Serapan Klorida

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Bahan Penyusun Beton

Pengujian agregat halus terdiri dari kandungan lumpur, zat organik, modulus kehalusan, berat jenis, *absorption*. Hasil pengujian seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Bahan Penyusun RPC

Pengujian	Pasir Halus	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
Kandungan Lumpur	2,30%	0,7%	<5% PBI 1971, ASTM C.117	Memenuhi
Kandungan Zat Organik	Kuning Kemerahan	Kuning Muda	Kuning Kemerahan PBI 1971, ASTM C.40	Memenuhi
Modulus Kehalusan	2,54	3,43	1,5 < MH < 3,8 SII-0052-80	Memenuhi

Pengujian	Pasir Halus	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,84	2,44	-	-
<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,50	2,44	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,62	2,55	2,5 – 2,7 SNI 03-2834-2000	Memenuhi
<i>Absorption</i>	4,71%	4,49%	-	-

Pada Uji XRF diperoleh kandungan SiO₂ sebesar 85,76% yang memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM C-1240 yaitu sebesar 85%.

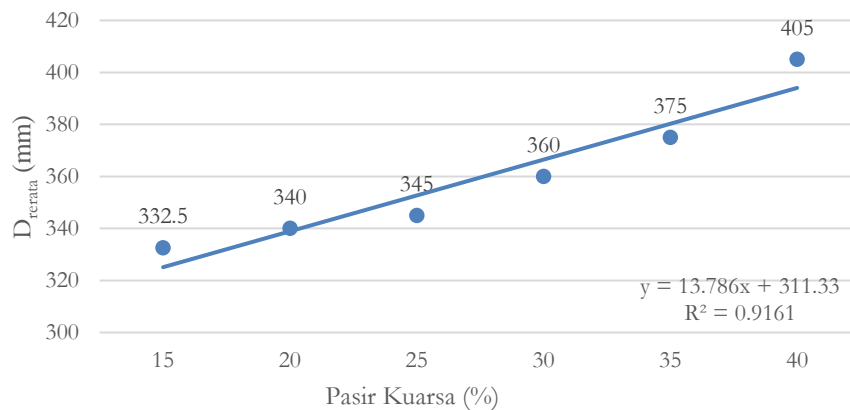
Hasil Uji Beton Segar

Hasil uji beton segar *slump flow test* penelitian ini bisa dilihat pada **Tabel 4**.

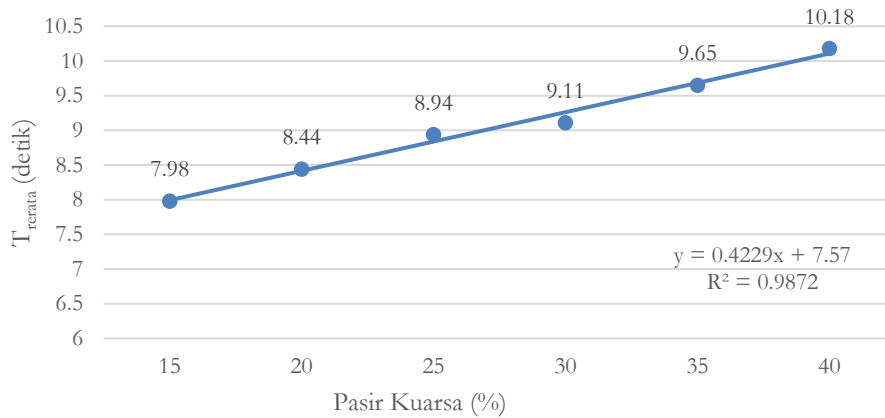
Tabel 4. Hasil *Slump Flow Test* RPC

Kadar Pasir Kuarsa	Pengujian <i>Slump Flow</i>			
	D1 (mm)	D2 (mm)	Drerata (mm)	Trerata
%	330,00	320,00	325,00	7,52
5%	330,00	335,00	332,50	7,98
0%	340,00	340,00	340,00	8,44
5%	350,00	340,00	345,00	8,94
0%	350,00	370,00	360,00	9,11
5%	370,00	380,00	375,00	9,65
0%	400,00	410,00	405,00	10,18

Nilai-nilai pada **Tabel 4** lebih jelas digambarkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** tentang grafik hubungan antara hasil *slump flow test* dengan variasi pasir kuarsa.



Gambar 2. Grafik Diameter Rerata *Slump Flow*



Gambar 3. Grafik Waktu Alir Rerata *Slump Flow*

Gambar 2 dan **Gambar 3** memperlihatkan bahwa pengaruh dari penambahan pasir kuarsa meningkatkan *workability* dari RPC. Diameter dan juga waktu yang dibutuhkan beton untuk mencapai diameter maksimum akan bertambah seiring bertambahnya variasi pasir kuarsa. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai absorpsi dari pasir kuarsa yang membuatnya lebih sedikit menyerap air sehingga akan menyebabkan air bebas di permukaan butiran pasir menjadi lebih banyak yang membuat tingkat penyebaran *slump flow test* akan bertambah dan *workability*nya semakin tinggi.

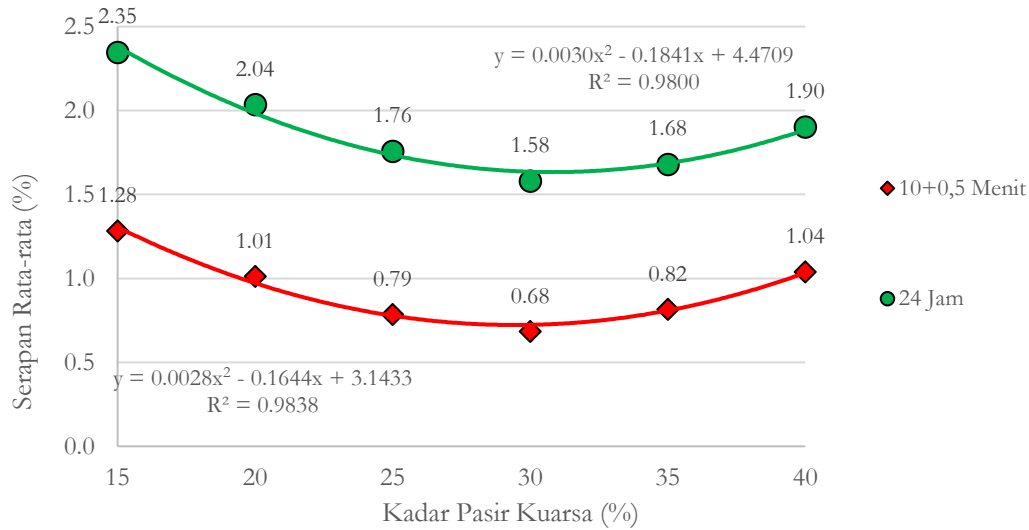
Hasil Pengujian Serapan Klorida Beton

Hasil uji serapan klorida pada beton RPC dengan *silica fume* dan variasi pasir kuarsa selama perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam terdapat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Serapan Klorida RPC Perendaman 10+0,5 Menit

Kadar Pasir Kuarsa	Serapan 10+0,5 Menit (%)	Standar	Kesimpulan	Serapan 10+0,5 Menit (%)	Standar	Kesimpulan
0%	1,41		Memenuhi	2,42		Memenuhi
15%	1,28	SNI 03-2914-1992 tentang Beton Kedap Air Normal ($\leq 2,5\%$ berat kering oven)	Memenuhi	2,35	SNI 03-2914-1992 tentang Beton Kedap Air Normal ($\leq 6,5\%$ berat kering oven)	Memenuhi
20%	1,01		Memenuhi	2,04		Memenuhi
25%	0,79		Memenuhi	1,76		Memenuhi
30%	0,68		Memenuhi	1,58		Memenuhi
35%	0,82		Memenuhi	1,68		Memenuhi
40%	1,04		Memenuhi	1,90		Memenuhi

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa baik perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam pada semua variasi pasir kuarsa memenuhi standar sebagai beton kedap air normal berdasarkan (SNI 03-2914-1992). Berdasarkan data pada **Tabel 5** untuk lebih mudah dapat dibuat grafik hubungan antara nilai serapan Cl_2 dengan lamanya waktu perendaman pada setiap substitusi kadar pasir kuarsa terdapat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hubungan Antara Nilai Serapan Klorida dengan Substitusi Pasir Kuarsa

Gambar 4. menunjukkan bahwa penambahan pasir kuarsa akan menurunkan nilai serapan klorida RPC pada kadar tertentu. Pada beton tanpa penambahan pasir kuarsa diperoleh nilai 1,41% dari berat kering oven pada perendaman larutan klorida 10+0,5 menit dan 2,42% dari berat kering oven pada perendaman larutan klorida 24 jam. Sedangkan nilai serapan klorida pada variasi pasir kuarsa 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% untuk perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam berturut-turut adalah sebesar 1,28% dan 2,35%; 1,01% dan 2,04%; 0,79% dan 1,76%; 0,68% dan 1,58%; 0,82% dan 1,68%; serta 1,04% dan 1,90%.

Berdasarkan data yang diperoleh, penggunaan pasir kuarsa dapat mengurangi nilai serapan klorida pada RPC hingga nilai terendah saat pasir kuarsa yang digunakan berkadar 30% dari berat total agregat. Pasir kuarsa dapat menurunkan serapan klorida pada beton hingga 23,45% saat perendaman selama 10+0,5 menit dan menurunkan nilai serapan klorida pada beton hingga 34,58% dalam perendaman selama 24 jam.

Penelitian ini berkesimpulan penambahan pasir kuarsa dapat mengurangi nilai serapan klorida pada RPC. Sifat pasir kuarsa sebagai *filler* dapat mengisi rongga-rongga pada beton sehingga mengurangi porositas beton. Bentuk pasir kuarsa yang heksagonal akan mengunci satu sama lain sehingga meningkatkan kepadatan beton dan membuat beton memiliki permeabilitas yang rendah. Permeabilitas yang rendah ini lah yang menyebabkan nilai serapan klorida pada RPC dengan variasi pasir kuarsa lebih kecil dibanding RPC tanpa pasir kuarsa. Pada variasi 35% dan 40% terjadi penurunan nilai penetrasi dikarenakan terlalu banyak agregat halus yang disubstitusikan dengan pasir kuarsa. Nilai absorpsi yang rendah menyebabkan adukan beton mengalami kelebihan air permukaan yang dapat membuat banyak pori pada beton sehingga akan mudah dimasuki air maupun zat lainnya.

KESIMPULAN

Berdasar hasil uji dan analisis data yang sudah dilakukan pada serapan klorida beton RPC dengan substitusi variasi pasir kuarsa didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Penambahan variasi pasir kuarsa dapat menurunkan nilai serapan klorida pada RPC.
2. Semua nilai hasil serapan klorida pada RPC memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-2914-1992 tentang Beton Kedap Air Normal, yaitu berat beton setelah perendaman 10+0,5 menit tidak melebihi 2,5% dari berat kering oven dan setelah perendaman 24 jam tidak melebihi 6,5% dari berat kering oven.
3. Nilai serapan klorida pada RPC dengan variasi pasir kuarsa 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% masing-masing untuk perendaman 10+0,5 menit adalah 1,41%, 1,28%, 1,01%, 0,79%, 0,68%, 0,82%, dan 1,04% sedangkan untuk perendaman 24 jam adalah 2,32%, 2,35%, 2,04%, 1,76%, 1,58%, 1,68%, dan 1,90%. Nilai serapan klorida terkecil terjadi saat kadar variasi pasir kuarsa 30% dengan nilai serapan 0,68% untuk perendaman 10+0,5 menit dan 1,58% untuk perendaman 24 jam.
4. Pasir kuarsa bisa mengisi rongga yang ada pada beton sehingga bisa mengurangi porositas beton sehingga membuat RPC memiliki permeabilitas yang rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak syukur atas selesainya penelitian ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada orang tua, dosen pembimbing, serta rekan-rekan atas segala motivasi, bantuan, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Ahmad, S. N., Hanafie, I. M., Sriwati, M., Kamba, C., Lopian, F. E. P., Risfawany, L. D., ... & Wasolo, I. G. (2021). Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi). TOHAR MEDIA.
- Ali Qureshi, L., Muhammad Tasaddiq, R., Ali, B., Qureshi, L. A., Tasaddiq, R. M., Ali, B., & Sultan, T. (2017). Effect of Quartz Content on Physical Parameters of Locally Developed Reactive Powder Concrete FIBER REINFORCED CONCRETE View project Fiber-reinforced reactive powder concrete View project The Nucleus Effect of Quartz Content on Physical Parameters of Loca. *The Nucleus*, 54(4), 242–249. www.thenucleuspak.org.pk
- Alkhaly, Y. R. (2013). Reactive Powder Concrete Dengan Sumber Silika Dari Limbah Bahan Organik. *Teras Jurnal*, 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(August), 134154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134154>
- Amalina, T. N. (2018). Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Pada Beton Bubuk Reaktif Terhadap Kuat Lentur. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1).
- Annas, A., Ekaputri, J. J., & Sipil, T. (2016). Pemanfaatan Mikrobakteri Terhadap Beton Mutu Tinggi dengan Tambahan Silica Fume. 5(1), 5–10.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1992). SPESIFIKASI BETON BERTUIANG KEDAP AIR Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang Diterbitkan oleh Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan Jalan Tamansari no. 84 Bandung. *Sni 03-2914, Spesifikas*.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). *SNI-03-6468-2000: Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*.
- Bae, B. Il, Choi, H. K., Lee, B. S., & Bang, C. H. (2016). Compressive Behavior and Mechanical Characteristics and Their Application to Stress-Strain Relationship of Steel Fiber-Reinforced Reactive Powder Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6465218>
- DZULFIKAR, D., & SAELAN, P. (2023). Kajian Mengenai Aplikasi Perancangan Campuran Beton Cara SNI 03-2834-2000 Pada Beton Serbuk Reaktif (Reactive Powder Concrete). *FTSP*, 77-84.
- FIRMANSYAH, R. M. N., & NURANITA, B. (2023). Studi Penggunaan Beton RPC Menggunakan Bahan Tambah Sika Viscocrete 10. *Prosiding FTSP Series*, 547-550.
- Jackson, N., & Dhir, R. K. (1996). *Civil Engineering Materials*.
- Kannan Rajkumar, P. R., Mathangi, D. P., C, S., & M, N. (2020). Experimental Investigation of Reactive Powder Concrete exposed to Elevated Temperatures. *Construction and Building Materials*, 261, 119593. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119593>
- Kushartomo, W., Christianto, D., Suryani, J., Let, J., Parman, J. S., & Jakarta, N. (2016). Pengaruh Penggunaan Serat Baja Terhadap Flexural Toughness Reactive Powder Concrete. 23(2), 107–112.
- Mayhoub, O. A., Nasr, E. S. A. R., 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. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.016>
- Mostofinejad, D., Nikoo, M. R., & Hosseini, S. A. (2016). Determination of optimized mix design and curing conditions of reactive powder concrete (RPC). *Construction and Building Materials*, 123, 754–767. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.082>
- 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>
- Simatupang, P. H., & Nasjono, Judi K, Mite, K. (2017). Pengaruh Penambahan Silica Fume terhadap Kuat Tekan Reactive Powder Concrete. *Jurnal Teknik Sipil*, VI(2), 219–230.