

KAJIAN KETAHANAN KEJUT DAN CRACK INITIATION PADA BETON BUBUK REAKTIF MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME 15% DAN VARIASI PASIR KUARSA

Wibowo, Endah Safitri, Ganesha Wibisono Lubis

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126
Email: wibowotsipil87@ft.uns.ac.id

Abstract

Infrastructure development in Indonesia is the government's priority in the next few years. The durability of concrete is an important factor in the world of construction. Concrete is required to have good quality and be resistant to various conditions. The number of pores in concrete affects its durability of concrete. The thing that causes the low durability of concrete is a large number of pores in the concrete. The reactive concrete powder is the latest innovation in the field of concrete technology by utilizing the use of fine particles as its constituent material. Quartz sand is a reactive concrete powder constituent material that can fill voids in the concrete mixture, reduce the pore size of the concrete mixture, and reduce the permeability of the concrete. This study aims to determine the use of variations of 0% quartz sand; 15%; 20%; 25%; 30%; 35% and 40% in powdered concrete are reactive to the value of CO₂ absorption. The research method used is an experimental method using a cylindrical concrete test sample that has a diameter of 7.5 cm and a height of 15 cm, totaling 21 pieces. The CO₂ absorption test was carried out by immersing the test sample into a 4% carbonate solution for 10+0.5 minutes and 24 hours and then weighing it on a dry surface and comparing the results with the weight when it was dry in the oven. The lowest CO₂ absorption value is at the use of quartz sand 30% of the total weight of the aggregate, which can reduce the absorption of concrete up to 43.18% in immersion for 10+0.5 minutes and reduce the absorption of concrete up to 36.77% in immersion for 24 hours.

Keywords: Absorption, durability, quartz sand, reactive powder concrete

Abstrak

Pembangunan infrastruktur di Indonesia merupakan prioritas pemerintah dalam beberapa tahun ke depan. Durabilitas beton merupakan faktor penting bagi dunia konstruksi. Beton dituntut memiliki mutu yang baik serta tahan terhadap berbagai kondisi. Jumlah pori pada beton merupakan faktor yang mempengaruhi durabilitas beton. Hal yang menyebabkan rendahnya durabilitas beton adalah besarnya jumlah pori pada beton. Bubuk beton reaktif merupakan inovasi terkini dibidang teknologi beton dengan memanfaatkan penggunaan partikel halus sebagai bahan penyusunnya. Pasir kuarsa merupakan material penyusun bubuk beton reaktif yang dapat mengisi rongga pada campuran beton, memperkecil ukuran pori campuran beton, dan mengurangi permeabilitas beton. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui penggunaan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35% dan 40% pada beton bubuk reaktif terhadap nilai serapan CO₂. Metode eksperimental merupakan metode penelitian yang digunakan dengan *sample* uji beton tabung yang memiliki diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm yang berjumlah 21 buah. Pengujian serapan CO₂ dilaksanakan dengan merendam *sample* uji ke dalam larutan karbonat 4% selama 10+0,5 menit dan 24 jam lalu menimbang pada kondisi kering permukaan lalu membandingkan hasil tersebut dengan berat pada saat kering oven. Nilai serapan CO₂ terendah yaitu pada kadar penggunaan pasir kuarsa 30% dari total berat agregat, mampu menurunkan serapan beton hingga 43,18% dalam perendaman selama 10+0,5 menit dan dapat mengurangi serapan beton sebesar 36,77% dalam perendaman selama 24 jam.

Kata Kunci : Beton bubuk reaktif, durabilitas, pasir kuarsa, serapan

PENDAHULUAN

Pemerataan pembangunan prasarana di Indonesia merupakan program utama pemerintah dalam beberapa tahun ke belakang. Pelaksanaan pembangunan tersebut menggunakan beberapa material, salah satunya yaitu beton. Kebutuhan akan beton dalam era pembangunan sangat tinggi karena beton dianggap lebih unggul dari beberapa aspek. Beton memiliki kekuatan akan tekan yang sangat tinggi, bahan baku relatif mudah didapatkan dan memiliki ketahanan terhadap beberapa kondisi dan awet. Keawetan merupakan faktor penting bagi beton. Rongga beton akan berpengaruh terhadap daya tahan beton. Jumlah rongga dalam beton meningkat, menyebabkan peningkatan permeabilitas, sehingga mengurangi kekuatan dan daya tahan beton. Jumlah rongga pada beton harus diperhitungkan untuk mengurangi resiko kerusakan beton. Bubuk beton reaktif memanfaatkan penggunaan partikel halus seperti *silica fume*, pasir kuarsa, semen dan dibantu dengan penggunaan *superplasticizer* dan *steel fiber*. Menghilangkan agregat kasar dan menggunakan partikel halus berukuran nanometer pada beton bubuk reaktif bertujuan agar tercapainya homogenitas antara semen dengan material pembentuk lainnya, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan beton yang sangat padat dan berkualitas sangat baik. Karena pasir kuarsa memiliki kandungan

lumpur yang sangat rendah dan partikel yang berukuran tidak seragam sehingga dapat meningkatkan kepadatan beton dan menurunkan tingkat porositas beton. Semakin tinggi kepadatan beton dan semakin rendah tingkat porositas beton akan menurunkan nilai serapan beton sehingga menghasilkan nilai kuat beton yang semakin tinggi serta pasir kuarsa di RPC dapat mengisi antar muka agregat yang dapat mengurangi porositas awal campuran yang menyebabkan pori-pori terputus, sehingga mengurangi resiko keretakan pada beton dengan demikian dapat meningkatkan kekuatan beton.

Ultra High Performance Concrete (UHPC) merupakan inovasi mutakhir dalam pengembangan inovasi beton yang memiliki kekuatan yang sangat tinggi hingga 230 MPa dan durabilitas yang sangat baik. (Ahmed et.al., 2021).

Menurut Masdar (2015) beton serbuk reaktif atau *reactive powder concrete* (RPC) merupakan beton kinerja ultra tinggi (UHPC) yang dikembangkan dengan menggunakan teknik perbaikan struktur mikro material. Menurut Saloma (2019) perbaikan sifat mekanik RPC dicapai melalui pembaharuan partikel halus seperti penghilangan penggunaan krikil atau agregat kasar dan penggunaan faktor air semen yang rendah.

Daya tahan dalam beton merupakan tingkat ketahanan beton terhadap faktor faktor yang berpotensi merusaknya. Kerusakan beton disebabkan oleh interaksi bahan beton dengan kontaminan dari lingkungan luar yang menembus beton. Proses perembesan suatu material yang merusak beton dapat melalui beberapa proses yaitu penyerapan, asimilasi dan permeabilitas melalui pori-pori beton. Proses infiltrasi cairan atau gas ke dalam beton dengan berbagai tekanan. (Jackson dan Dhir, 1996)

Menurut Lamond (2006), penyerapan adalah proses dimana cairan mampu menembus beton melalui pori-pori beton. Serapan merupakan perbandingan antara berat beton kering dengan berat beton pada saat kering permukaan atau kondisi SSD. Nilai serapan merujuk pada total banyaknya zat cair atau gas yang mampu menembus *void* pada beton dengan hasil berupa persentase.

Pasir kuarsa adalah butiran yang mampu masuk dan menutupi pori dan celah dalam adukan beton serta mengurangi besarnya pori pada pasta semen, sehingga secara signifikan akan menurunkan permeabilitas pada beton seperti disampaikan Mayhoub (2020). Penelitian RPC menggunakan pasir kuarsa juga dilakukan oleh Mostofinejad dkk. (2016) dan Peng dkk. (2012) yang menunjukkan hasil yang memuaskan.

Daya serap karbondioksida (CO₂) merupakan kemampuan beton untuk menyerap gas karbondioksida baik dari udara maupun air, sehingga terjadi penetrasi karbondioksida ke dalam beton. Pada penelitian ini, pengujian serapan CO₂ dilakukan dengan menggunakan larutan CO₂ dengan konsentrasi 4%. Besarnya cairan yang mampu masuk atau mencapai beton berpori disebut dengan nilai penyerapan serta dinyatakan dalam wujud persentase. Persamaan untuk menghitung persentase serapan CO₂ pada pengujian serapan beton dapat dilihat pada Persamaan 1 di bawah.

$$\text{Serapan CO}_2 = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan

W = Berat beton pada kondisi kering permukaan (kondisi SSD)

W_k = Berat beton pada kondisi kering oven

METODE

Metode penelitian eksperimental merupakan metode penelitian yang digunakan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Benda uji yang digunakan memiliki diameter ± 7,5 cm dan memiliki tinggi ± 15 cm berjumlah 21 buah untuk kajian serapan CO₂ pada beton RPC.

Pengujian Material Bahan Penyusun Beton

Pengujian material bahan penyusun bertujuan untuk mengetahui mutu dan standar dari suatu material bahan penyusun beton. Pengujian yang dilaksanakan pada agregat halus adalah uji modulus kehalusan, berat jenis, penyerapan serta kandungan lumpur dan zat organik, selain itu dilaksanakan pula pengujian pada *silica fume* untuk

mengetahui komposisi kandungan kimia pada *silica fume* yang dilakukan di Laboratorium Terpadu MIPA Universitas Sebelas Maret.

Pengujian beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah uji *flow table*. Pengujian bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan dan parameter *filling ability* pada beton bubuk reaktif.

Pengujian Serapan CO₂ Beton

Pengujian penyerapan CO₂ untuk beton RPC dilakukan dengan menghitung persentase CO₂ yang diserap oleh beton RPC. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan perbandingan antara berat sampel beton dalam keadaan kering oven (kering permukaan dan kering dalam) dengan berat beton dalam keadaan SSD (kering permukaan). Untuk mendapatkan keadaan kering oven, sampel dapat dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100 °C selama 24 jam. Setelah itu, untuk mendapatkan keadaan kering permukaan sampel uji direndam dalam larutan karbonat 4% selama 10+0,5 menit dan 24 jam, lalu permukaan beton dilap hingga kering permukaan. Berat beton kering permukaan serta kering oven didapatkan dalam satuan gram lalu menganalisis dengan persamaan (1) untuk menghasilkan serapan CO₂ dalam satuan persen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap agregat halus adalah uji *mud content*, penyerapan, uji gradasi, *specific gravity* serta uji *organic content*. Hasil uji agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Pasir Alam	Pasir Kuarsa	Standar	Kesimpulan
<i>Absorption</i>	3,46%	2,19%	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,79	2,65	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,54	2,50	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,63	2,56	2,5-2,7 ASTM C. 128-79	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	2,30%	0,70%	< 5% PBI 1971, ASTM C.117	Memenuhi Syarat
Kandungan Zat Organik	Kuning Kemerahan	Kuning Muda	PBI 1971, ATM C.40	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan	2,54	3,43	2,3-3,1 ASTM C. 33-97	Memenuhi Syarat

Pengujian XRF pada bahan *silica fume* diperoleh kandungan SiO₂ sebesar 85,76%, hal tersebut telah berhasil memenuhi standar yang ditetapkan oleh ASTM C-1240 yaitu kadar minimum SiO₂ pada *silica fume* sebesar 85%.

Rancang Campur Beton Bubuk Reaktif

Rancang campur yang dipakai dalam penyusunan beton bubuk reaktif *silica fume* 15% dengan variasi pasir kuarsa mengacu pada komposisi penelitian terdahulu yaitu Richard dan Cheyrezy pada tahun 1995. *Silica fume* yang digunakan sebesar 15% dari total berat binder dan FAS yang digunakan adalah 0,19 serta penggunaan *steel fiber* dengan rasio sebesar 0,175 dari berat total binder. Campur beton bubuk reaktif yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi *mix design* beton RPC

Nama Benda Uji	Pasir Alam (kg/m ³)	Pasir Kuarsa (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	<i>Silica Fume</i> (kg/m ³)	SP (lt/m ³)	Air (lt/m ³)	Steel Fiber (kg/m ³)
RPC-S- PK 0%	1430,40	0	680	120	7,79	152	11,6
RPC-S- PK 15%	1215,84	214,56	680	120	7,79	152	11,6

Nama Benda Uji	Pasir Alam (kg/m ³)	Pasir Kuarsa (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	SP (lt/m ³)	Air (lt/m ³)	Steel Fiber (kg/m ³)
RPC-S- PK 20%	1144,32	286,08	680	120	7,79	152	11,6
RPC-S- PK 25%	1072,80	357,60	680	120	7,79	152	11,6
RPC-S- PK 30%	1001,28	429,12	680	120	7,79	152	11,6
RPC-S- PK 35%	929,76	500,64	680	120	7,79	152	11,6
RPC-S- PK 40%	858,24	572,16	680	120	7,79	152	11,6

Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

Beton yang telah keras didalam cetakan atau bekisting lalu dilaksanakan pengujian berat jenis beton untuk mengetahui berat volume rata rata dari beton RPC tersebut. Hasil pengujian berat jenis beton disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian berat jenis beton

Kadar Pasir Kuarsa	Rata-rata Berat (gr)	Rata-rata Volume (cm)	Rata-rata Berat Volume (gr/cm ³)
RPC-S- PK 0%	1405,00	628,04	2,24
RPC-S- PK 15%	1409,50	628,74	2,24
RPC-S- PK 20%	1368,50	615,79	2,22
RPC-S- PK 25%	1377,00	626,73	2,20
RPC-S- PK 30%	1427,00	643,74	2,22
RPC-S- PK 35%	1429,00	640,08	2,23
RPC-S- PK 40%	1390,00	617,76	2,25

Bedasarkan Tabel 3 dan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa seluruh benda uji serapan CO₂ termasuk ke dalam beton normal dengan memiliki berat jenis yang berkisar dari 2,2 gr/cm³ hingga 2,5 gr/cm³ menurut SNI 03-2847-2002.

Hasil Pengujian *Slump Flow Test* Beton RPC

Beton segar yang telah diaduk sampai homogen lalu dilaksanakan pengujian *slump flow test* untuk mengetahui nilai kelecakan atau kemudahan pengerjaan pada beton RPC tersebut. Hasil pengujian *slump flow test* disajikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil pengujian beton segar RPC

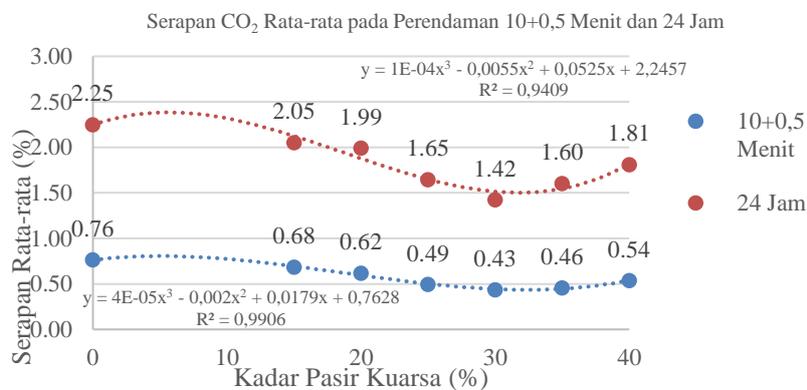
Nama Benda Uji	<i>Slump Flow</i>	
	D _{rata-rata} (mm)	T _{rata-rata} (detik)
RPC-S- PK 0%	290,0	6,28
RPC-S- PK 15%	305,0	7,24
RPC-S- PK 20%	325,0	7,90
RPC-S- PK 25%	340,0	8,89
RPC-S- PK 30%	365,0	9,12
RPC-S- PK 35%	385,0	9,63
RPC-S- PK 40%	395,0	9,81

Hasil Pengujian Serapan CO₂ Beton RPC

Pengujian serapan CO₂ dilakukan dengan menggunakan benda uji berupa beton yang telah berumur 28 hari dan memiliki bentuk tabung dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Uji serapan ini dimaksudkan untuk mengukur daya serap larutan karbonat 4% dalam beton. Hasil serapan CO₂ pada beton bubuk reaktif pada perendaman 10+0,5 menit dan perendaman 24 jam dilarutan karbonat 4% dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Serapan CO₂ Rata-rata pada Perendaman 10+0,5 Menit dan 24 Jam

Kadar Pasir Kuarsa	Waktu Perendaman 10+0,5 Menit	Syarat	Waktu Perendaman 24 Jam	Syarat	Kesimpulan
RPC-S- PK 0%	0,76		2,25		Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 15%	0,68	≤2,5% Berat Kering Oven SNI 03– 2914– 1992	2,05	≤6,5% Berat Kering Oven SNI 03– 2914– 1992	Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 20%	0,62		1,99		Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 25%	0,49		1,65		Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 30%	0,43		1,42		Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 35%	0,46		1,60		Memenuhi Syarat
RPC-S- PK 40%	0,54		1,81		Memenuhi Syarat



Gambar 1. Grafik serapan CO₂ rata-rata pada perendaman 10+0,5 menit dan 24 jam

Berdasarkan hasil yang dipaparkan pada Tabel 5. dan Gambar 1. dapat disimpulkan bahwa seluruh benda uji serapan beton bubuk reaktif telah mencapai standar serapan pada beton yang telah ditetapkan oleh SNI 03-2914-1992 yaitu berat beton setelah direndam selama 10+0,5 menit tidak melebihi 2,5% dan pada perendaman selama 24 jam tidak melebihi 6,5% dari berat beton kering oven. Dari hasil uji serapan terlihat bahwa daya serap CO₂ beton menurun pada kadar tertentu bila menggunakan pasir kuarsa dan mendapatkan nilai serapan CO₂ terendah pada penggunaan 30% pasir kuarsa dari total berat agregat.

Dari hasil data pengujian dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan pasir kuarsa yang mampu mengurangi nilai serapan terendah pada *reactive powder concrete* pada penelitian ini adalah penggunaan pasir kuarsa dengan kadar 30% dari berat total agregat. Penggunaan pasir kuarsa mampu menurunkan nilai serapan beton sebesar 43,18% dalam beton yang telah direndam selama 10+0,5 menit dan menurunkan serapan beton hingga 36,77% pada perendaman di larutan karbonat 4% selama 24 jam.

Penyerapan CO₂ terjadi ketika ada pori-pori di dalam beton sehingga cairan dapat menembus melalui pori-pori beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mayhoub. (2020), pasir kuarsa merupakan butiran mampu

menutupi *void* pada campuran beton, mengurangi dimensi pori pada pasta semen dan menurunkan nilai permeabilitas pada beton.

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir kuarsa dapat menurunkan nilai serapan beton karena penggunaan pasir kuarsa mampu menutup pori-pori pada beton serta meningkatkan daya rekat antar agregat pada beton sehingga permeabilitasnya berkurang.

Penambahan pasir kuarsa mampu meningkatkan daya ikat dan saling mengunci (*interlocking*) dalam campuran beton dan secara otomatis mampu meningkatkan daya ikat yang akan mengurangi porositas beton dan meningkatkan densitas beton. Semakin kecil rongga yang terbentuk, semakin tertutup rongga antar rongga menyebabkan terjadinya dekolonisasi yang dapat memutuskan ikatan antara pori-pori dan daerah antarmuka, sehingga mengurangi penyerapan cairan dan gas rongga beton.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Seluruh hasil nilai serapan CO₂ beton RPC mampu mencapai standar serapan yang ditentukan oleh SNI 03-2914-1992, yaitu berat beton setelah direndam selama 10+0,5 menit tidak melebihi 2,5% dan pada perendaman selama 24 jam tidak melebihi 6,5% dari berat beton kering oven.
2. Penggunaan pasir kuarsa mampu mengurangi nilai serapan CO₂ pada kadar tertentu.
3. Nilai serapan paling rendah didapatkan pada penggunaan pasir kuarsa sebesar 30% dari total berat agregat, penggunaan kadar sebesar 30% pasir kuarsa mampu menurunkan nilai serapan CO₂ sebesar 43,18% pada beton yang direndam selama 10+0,5 menit dan 36,77% pada beton yang direndam selama 24 jam dilarutkan karbonat 4% dari beton tanpa menggunakan pasir kuarsa.
4. Penggunaan pasir kuarsa pada campuran beton bubuk reaktif mampu meminimalisir jumlah rongga dan *void* pada beton karena pasir kuarsa memiliki modulus kehalusan yang tinggi sehingga mampu mengisi rongga-rongga pada beton. Jumlah rongga atau *void* yang berkurang secara otomatis nilai serapan dan permeabilitas beton RPC menjadi rendah sehingga nilai kuat tekan dan durabilitas dari beton RPC meningkat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu terselenggaranya kegiatan eksperimental dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan peneliti yang selalu memberikan motivasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

REFERENSI

- Ahmed, Sara et al., 2021, "Impact of Using Different materials, Curing Regimes, and Mixing Procedures on Compressive Strength of Reactive Powder Concrete – A Review", *Journal of Building Engineering*.
- Jackson and Dhir R.K., 1996, "Near-Surface Characteristics Of Concrete Permeability", *Magazine of Concrete Research*.
- Lamond, J., 2006, "Properties of concrete and concrete making materials", *International standards of worldwide*.
- Mayhoub, O.A., Nasr, E.S.A., Ali, Y.A. and Kohail, M., 2021. The influence of ingredients on the properties of reactive powder concrete: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp.145-158.
- Masdar, Widyawati, Ratna., Irianti, Laksmi., Annisa, Mufidah A., 2019, "Sifat Mekanik Beton Reaktif yang Menggunakan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Semen dan Perlakuan Perawatan Panas (Heat Curing)". Universitas Lampung, Lampung.
- Mostofinejad, D., Nikoo, M.R. and Hosseini, S.A., 2016. Determination of optimized mix design and curing conditions of reactive powder concrete (RPC). *Construction and Building Materials*, 123, pp.754-767.
- Peng, G.F., Kang, Y.R., Huang, Y.Z., Liu, X.P. and Chen, Q., 2012. Experimental research on fire resistance of reactive powder concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2012.
- Richard P and Cheyrezy M, 1995, "Composition of Reactive Powder Concretes", *Cement and Concrete Research*. Vol. 25, No.7, pp. 1501-1511.
- Saloma, Hanafiah and Veriza A, 2019, "Mechanical Properties Analysis of Reactive Powder Concrete with Curing Temperature Variation", *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. Vol 620 No 1, pp. 012045.
- Standar Nasional Indonesia, 2000, "SNI 03-6468-2000 : Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang".
- Standar Nasional Indonesia, 1992, "SNI 03-2914-1992 : Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air".