

KAJIAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON BUBUK REAKTIF MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME 15% DAN VARIASI KOMPOSISI PASIR KUARSA

Wibowo, Bambang Santoso, Muhammad Naufal Muslim

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp (0271)647069, Fax 662118
Email: wibowotsipil87@ft.uns.ac.id

Abstract

Concrete as a commonly used construction material is required to have high quality, therefore, in this study, we tested reactive powdered concrete with 15% silica fume as a partial substitution of cement and variations in the composition of quartz sand by 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, and 40% which aims to analyze the effect of the substitution on the split tensile strength of reactive powdered concrete. Reactive powdered concrete removes coarse aggregate in the mixture and replaces it with fine aggregate to increase the homogeneity of the concrete mixture and produce high-strength concrete. Research on the value of split tensile strength using experimental methods with a total of 21 specimens. The test object to obtain the value of split tensile strength is cylindrical, 30 cm high, 15 cm in diameter, which has reached the age of 28 days, and is tested using a CTM (compression testing machine). The results of the split tensile strength test with a variation of 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; and 40% quartz sand, having a value of 33.91 MPa; 4.34 MPa; 4.45 MPa; 4.81 MPa; 5.07 MPa; 4.93 MPa; and 4.69 MPa, respectively.

Keywords: high strength concrete, reactive powder concrete, split tensile strength, quartz sand.

Abstrak

Beton sebagai bahan konstruksi yang umum digunakan dituntut memiliki kualitas yang tinggi, oleh karena itu, pada penelitian ini kami melakukan pengujian terhadap beton bubuk reaktif dengan *silica fume* 15% sebagai substitusi parsial semen dan variasi komposisi pasir kuarsa sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi tersebut terhadap kuat tarik belah beton bubuk reaktif. Beton bubuk reaktif menghilangkan agregat kasar dalam campurannya dan menggantikannya dengan agregat halus sehingga mampu meningkatkan homogenitas campuran beton dan menghasilkan beton mutu tinggi. Penelitian terhadap nilai kuat tarik belah menggunakan metode eksperimental dengan total benda uji 21 buah. Benda uji untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah berbentuk silinder, tinggi 30 cm, diameter 15 cm, yang telah mencapai umur 28 hari, dan diuji menggunakan mesin CTM (*compression testing machine*). Hasil pengujian kuat tarik belah dengan variasi pasir kuarsa 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40%, memiliki nilai berturut-turut sebesar 33,91 MPa; 4,34 MPa; 4,45 MPa; 4,81 MPa; 5,07 MPa; 4,93 MPa; dan 4,69 MPa.

Kata Kunci : beton bubuk reaktif, beton mutu tinggi, kuat tarik belah, pasir kuarsa.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur seperti infrastruktur bangunan dan infrastruktur transportasi akan meningkat sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk. Pembangunan infrastruktur yang terus dilaksanakan tentunya akan berbanding terbalik dengan ketersediaan lahan yang ada, pada infrastruktur gedung tentunya diperlukan infrastruktur yang dapat memanfaatkan lahan dengan efisien seperti diantaranya mendirikan bangunan gedung tinggi. Bangunan gedung tinggi yang menggunakan beton tentunya harus dibangun menggunakan beton berkualitas tinggi yang memiliki kekuatan, kekakuan, dan durabilitas yang tinggi sehingga juga akan menghasilkan infrastruktur yang berkualitas tinggi.

Beton bubuk reaktif (*reactive powder concrete*) merupakan inovasi terkini di bidang teknologi beton. Sekitar tahun 1990, Beton bubuk reaktif pertama kali dikembangkan oleh P. Richard dan M. Cheyrezy di laboratorium HDR Perancis. Beton bubuk reaktif merupakan beton yang menghilangkan penggunaan agregat kasar dari material pembentuknya kemudian menggantikannya dengan memanfaatkan penggunaan partikel halus berukuran nanometer seperti air, *portland cement*, *silica fume*, pasir kuarsa, *superplasticizer*, dan *steel fibers* jika di perlukan.

Menghilangkan agregat kasar dan menggunakan partikel halus berukuran nanometer pada beton bubuk reaktif bertujuan agar tercapainya homogenitas antara semen dengan material pembentuk lainnya, sehingga menghasilkan beton yang padat dengan mutu yang sangat tinggi. Kekuatan dari beton bubuk reaktif disebabkan oleh penggunaan

faktor air semen (FAS) yang sangat rendah dan gradasi agregat halus berupa pasir alam dan pasir kuarsa yang berukuran nanometer sehingga dapat meminimalkan rongga antar partikel di dalam beton bubuk reaktif.

Penggunaan serat baja berfungsi sebagai tulangan mikro yang dapat membantu mengikat beton sehingga dapat memberikan kekuatan yang lebih pada beton bubuk reaktif. Serat baja pada beton bubuk reaktif bersama dengan pasta beton akan menghasilkan suatu matriks komposit, di dalam campuran beton serat baja akan menahan gaya yang terjadi pada beton melalui besarnya modulus elastisitas yang dimilikinya, kemudian bersamaan dengan modulus elastisitas beton akan meningkatkan kekuatan tekan dan tarik pada beton. Salah satu kelemahan dari beton yaitu lemah akan kuat tarik, sehingga meningkatkan kekuatan tarik pada beton merupakan sesuatu yang penting dalam perkembangan infrastruktur yang menggunakan beton.

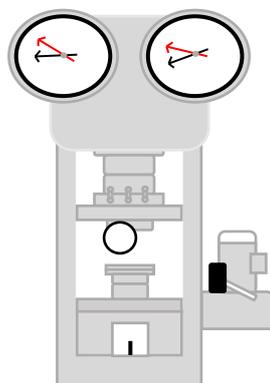
Reactive Powder Concrete (RPC) merupakan beton yang tidak menggunakan agregat kasar dalam campurannya, akan tetapi, RPC menggunakan semen, *silica fume*, pasir halus, *superplasticizer*, bubuk kuarsa, dan serat baja dengan menggunakan nilai faktor air-semen (FAS) yang sangat rendah. Meniadakan agregat kasar dalam RPC merupakan kunci aspek mikrostruktur dan bertujuan untuk mengurangi heterogenitas antara matriks campuran semen dan agregat (Athulya, 2016).

Silica fume merupakan material yang memiliki kandungan silika tinggi sehingga *silica fume* dikatakan sebagai material yang bersifat *pozzolan*. Silika yang terkandung di dalam *silica fume* akan bereaksi dengan semen pada saat semen melepaskan zat kapur sehingga akan terjadi pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang dapat bermanfaat untuk meningkatkan kekuatan tekan dari beton (Aisyah, 2018).

Serat merupakan potongan-potongan bahan komponen yang berbentuk memanjang utuh dan berfungsi untuk memperbaiki sifat beton berupa meningkatkan daktilitas dan meningkatkan kekuatan lentur pada beton apabila di tambahkan ke dalam campuran beton (Nugraheni, 2011).

Pasir kuarsa (*quartz sand*) merupakan bahan galian yang diperoleh dari pengikisan batuan dan terdiri atas kristal-kristal silika. Pasir kuarsa dapat mengurangi porositas beton sehingga akan meningkatkan kekuatan tekan beton pada umur akhir (Soumya, 2018).

Nilai kuat tarik belah pada beton merupakan nilai dari kuat tarik yang diperoleh secara tidak langsung dari pengujian benda uji silinder, benda uji tersebut dibebani menggunakan alat yang sama dengan pengujian kuat tekan pada beton yaitu *compression testing machine*. Perbedaan antara pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton yaitu pada posisi perletakan benda uji pada alat uji tekan, dimana pada pengujian kuat tarik belah benda uji diposisikan mendarat horizontal sejajar dengan plat pada alat uji tekan. (Dewi, 2010).



Gambar 1. *Set up* pengujian kuat tarik belah

Perhitungan guna mendapatkan nilai kuat tarik belah pada beton diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$f'_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots [1]$$

dengan,

f_t = kuat tarik belah beton (MPa)

P = beban maksimum dari alat uji (N)

L = panjang/tinggi silinder (mm)

D = diameter silinder (mm)

METODE

Penelitian terhadap nilai kuat tarik belah beton bubuk reaktif yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Benda uji silinder yang memiliki tinggi 30 cm dan diameter 15 cm berjumlah 21 buah digunakan pada penelitian ini, kemudian dilakukan pengujian setelah beton bubuk reaktif dikeluarkan dari proses perendaman dan ketika umur beton bubuk reaktif mencapai 28 hari. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin *compression testing machine* di Laboratorium Bahan dan Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian bahan-bahan penyusun beton yang dilakukan pada agregat bertujuan untuk menilai apakah bahan yang dipersiapkan untuk menjadi agregat pada beton memenuhi standar yang telah ditentukan atau tidak, sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap pasir alam, pasir kuarsa, dan *silica fume* yang merupakan agregat penyusun beton RPC pada penelitian ini. Pasir alam dan pasir kuarsa memiliki pengujian yang sama yaitu berupa pengujian *specific gravity*, kandungan zat organik, kandungan lumpur, dan modulus kehalusan yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta, sementara itu, pengujian *silica fume* bertujuan untuk melihat komposisi kimia yang terkandung pada *silica fume* berupa pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Pengujian Beton Segar

Beton bubuk reaktif yang masih segar perlu dilakukan pengujian *slump flow* yang bertujuan untuk melihat kemampuan beton bubuk reaktif dalam mengisi ruang (*filling ability*).

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Standar yang digunakan pada pengujian ini yaitu SNI 2491-2014. Kuat tarik belah didefinisikan sebagai nilai dari kuat tarik yang merupakan pendekatan terhadap nilai pengujian kuat tarik sebenarnya. Benda uji pada pengujian ini diletakkan mendatar horizontal atau sejajar dengan plat penekan pada mesin *compression testing machine*, plat penekan dari mesin uji tersebut akan membebani benda uji hingga benda uji terbelah menjadi 2 bagian, kemudian setelah itu mencatat angka yang terdapat pada mesin uji yang menandakan beban terbesar yang dapat ditahan oleh benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Penyusun

Agregat yang akan digunakan pada beton bubuk reaktif harus melalui beberapa pengujian berupa pengujian *specific gravity*, kandungan zat organik, kandungan lumpur, dan modulus kehalusan. Hasil dari pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pasir Alam dan Pasir Kuarsa

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

Berdasarkan hasil pengujian XRF yang dilakukan, kandungan silika (SiO₂) yang terkandung di dalam *silica fume* yaitu sebesar 85,76%. Berdasarkan ASTM C-1240, kadar minimum kandungan SiO₂ adalah 85%, sehingga dapat dikatakan bahwa *silica fume* yang digunakan pada penelitian ini memenuhi syarat yang telah ditentukan.

Rancang Campur RPC

Pembuatan beton bubuk reaktif dengan *silica fume* 15% dan variasi komposisi pasir kuarsa menggunakan rancang campur (*mix design*) yang mengacu kepada rancang campur penelitian Richard dan Cheyrezy (1995). Beton bubuk reaktif pada penelitian ini menggunakan binder sebesar 800 kg/m³, *silica fume* sebesar 15% dari berat binder, *superplasticizer* sebesar 1,9% dari berat binder dan FAS sebesar 0,19. *Mix design* beton bubuk reaktif yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancang campur beton bubuk reaktif

Kode Benda Uji	Pasir Alam (kg/m ³)	Pasir Kuarsa (kg/m ³)	Steel Fiber (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Air (lt/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)
RPC-PK-0%	1430,40	0	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-15%	1215,84	214,56	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-20%	1144,32	286,08	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-25%	1072,80	357,60	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-30%	1001,28	429,12	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-35%	929,76	500,64	11,6	680	120	152	7,79
RPC-PK-40%	858,24	572,16	11,6	680	120	152	7,79

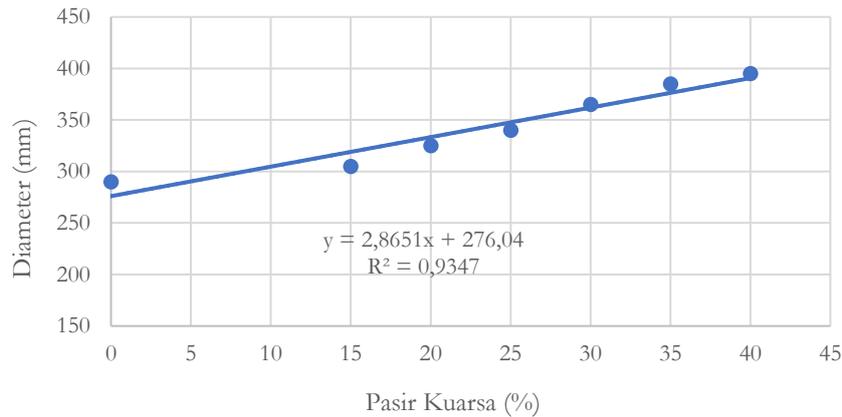
Hasil Pengujian Beton Segar

Beton segar dari beton bubuk reaktif dengan *silica fume* 15% dan variasi komposisi pasir kuarsa dilakukan pengujian berupa pengujian *slump flow* yang dapat dilihat hasilnya pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian beton segar pada beton bubuk reaktif

Kode Benda Uji	Pengujian Slump Flow			
	T _{rata-rata} (detik)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D rata-rata (mm)
RPC-PK-0%	6,28	290	290	290
RPC-PK-15%	7,24	300	310	305
RPC-PK-20%	7,90	330	320	325
RPC-PK-25%	8,89	340	340	340
RPC-PK-30%	9,12	360	370	365
RPC-PK-35%	9,63	380	390	385
RPC-PK-40%	9,81	400	410	395

Berdasarkan Tabel 3, grafik hubungan antara hasil pengujian *slump flow* dengan variasi komposisi pasir kuarsa dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara hasil pengujian *slump flow* dengan variasi komposisi pasir kuarsa

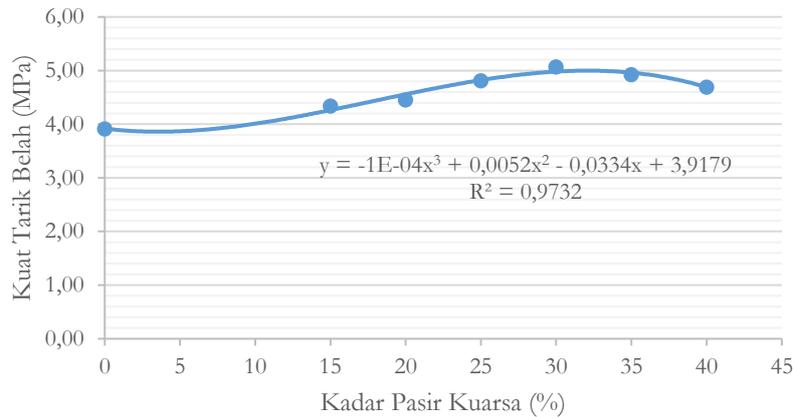
Berdasarkan Tabel 3 dan grafik pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa nilai *slump flow test* akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya persentase penambahan penggunaan pasir kuarsa sebagai pengganti sebagian dari pasir halus. Penambahan nilai *slump flow* disebabkan peningkatan kadar pasir kuarsa yang digunakan dalam adukan beton RPC. Pasir kuarsa memiliki nilai absorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan pasir halus, hal tersebut menyebabkan pasir kuarsa menyerap lebih sedikit air dibandingkan dengan pasir halus pada saat dilakukan adukan beton yang akan membuat air bebas dipermukaan butiran pasir menjadi lebih banyak.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah pada beton didapatkan dengan melakukan pengujian menggunakan mesin uji desak yaitu *compression testing machine*. Benda uji yang digunakan memiliki bentuk silinder, tinggi 30 cm, diameter 15 cm, dan berumur 28 hari. Hasil yang di dapat dari pengujian kuat tarik belah pada beton bubuk reaktif dengan penambahan *silica fume* 15% dan variasi komposisi pasir kuarsa dapat dilihat pada Tabel 4, sementara untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Bubuk Reaktif

No.	Nama Benda Uji	Kode	D (mm)	L (mm)	P (N)	f_{ct} (MPa)	f_{ct} Rata-Rata (MPa)	Kenaikan (%)
1.	RPC-PK-0-TB	I	150	300	280000	3,96	3,91	-
		II	150	300	280000	3,96		
		III	150	300	270000	3,82		
2.	RPC-PK-15-TB	I	150	300	310000	4,38	4,34	10,84
		II	150	300	300000	4,24		
		III	150	300	310000	4,38		
3.	RPC-PK-20-TB	I	150	300	325000	4,60	4,45	13,86
		II	150	300	305000	4,31		
		III	150	300	315000	4,45		
4.	RPC-PK-25-TB	I	150	300	330000	4,67	4,81	22,89
		II	150	300	335000	4,74		
		III	150	300	355000	5,02		
5.	RPC-PK-30-TB	I	150	300	350000	4,95	5,07	29,52
		II	150	300	355000	5,02		
		III	150	300	370000	5,23		
6.	RPC-PK-35-TB	I	150	300	355000	5,02	4,93	25,90
		II	150	300	340000	4,81		
		III	150	300	350000	4,95		
7.	RPC-PK-40-TB	I	150	300	325000	4,60	4,69	19,88
		II	150	300	345000	4,88		
		III	150	300	325000	4,60		



Gambar 3. Grafik hubungan variasi komposisi pasir kuarsa pada beton RPC terhadap kuat tarik belah

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan grafik pada Gambar 3, hasil yang diperoleh dari pengujian kuat tarik belah pada penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan variasi komposisi pasir kuarsa pada beton bubuk reaktif dengan komposisi 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% mengakibatkan kenaikan nilai kuat tarik belah beton dibandingkan dengan beton bubuk reaktif yang menggunakan pasir kuarsa dengan komposisi 0% dengan persentase kenaikan secara berturut-turut yaitu sebesar 10,84%; 13,86%; 22,89%; 29,59%; 25,90%; dan 19,79%.

Beton bubuk reaktif menggunakan bahan tambah pasir kuarsa dengan variasi komposisi 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% dapat membuat nilai dari kuat tarik belah beton semakin tinggi. Nilai kuat tarik belah beton RPC tanpa menggunakan pasir kuarsa tercatat sebesar 3,91 MPa. Variasi kadar pasir kuarsa dengan komposisi 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% beton RPC mengakibatkan kenaikan nilai kuat tarik belah beton dengan nilai berturut-turut yaitu 4,34 MPa; 4,45 MPa; 4,81 MPa; 5,07 MPa, 4,93 MPa dan 4,69 MPa.

Nilai kuat tarik belah beton RPC akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai kuat lenturnya (Haris, 2021). Berdasarkan penelitian Difya *et al* (2017), nilai kuat lentur pada beton dengan variasi pasir kuarsa 25% dari jumlah agregat dapat meningkat dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan pasir kuarsa.

Meningkatnya nilai kuat tarik belah pada beton bubuk reaktif diakibatkan oleh pengaruh variasi pasir kuarsa yang ditambahkan dalam campuran beton bubuk reaktif. Ukuran partikel pasir kuarsa yang tidak seragam berfungsi sebagai pengisi antar muka agregat atau *interlocking* sehingga dapat mengurangi pori yang terdapat pada beton bubuk reaktif, membuat beton bubuk reaktif memiliki permeabilitas yang rendah, dan meningkatkan kuat tarik belah beton bubuk reaktif.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan data yang telah dilakukan pada beton bubuk reaktif dengan penambahan *silica fume* dan variasi komposisi pasir kuarsa adalah sebagai berikut :

1. Variasi kadar pasir kuarsa sebagai substitusi sebagian dari pasir halus dapat membuat nilai kuat tarik belah beton bubuk reaktif semakin meningkat. Nilai kuat tarik belah beton RPC dengan variasi kadar 0%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% masing-masing adalah 3,91 MPa; 4,34 MPa; 4,45 MPa; 4,81 MPa; 5,07 MPa; 4,93 MPa; dan 4,69 MPa.
2. Nilai kuat tarik belah pada beton bubuk reaktif mulai mengalami peningkatan pada variasi kadar pasir kuarsa sebanyak 15% hingga 30% kemudian turun kembali pada kadar pasir kuarsa sebanyak 35% dan 40%
3. Nilai kuat tarik belah maksimum beton bubuk reaktif terdapat pada variasi komposisi pasir kuarsa 30% sebesar 5,07 MPa.
4. Penambahan komposisi pasir kuarsa dalam campuran beton bubuk reaktif dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah beton bubuk reaktif sebesar 29,59% dibandingkan dengan beton bubuk reaktif yang tidak menggunakan pasir kuarsa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada rekan-rekan penelitian beton bubuk reaktif, rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil UNS 2018, serta Laboratorium Bahan dan Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta yang telah mendoakan dan mendukung hingga penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu.

REFERENSI

- Aisyah, G.N., 2018, "Penggunaan Bahan Silica Fume, Superplasticizer dan Fiber Polypropylene pada Roller Compacted Concrete (RCC) dengan Alat Pematatan Standard Proctor". Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- American Standard Testing and Material, 1995, "ASTM C.1240 : Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar".
- E.Divya, R.Shanthini, and S.Arulkumaran, "Study on Behavior of Concrete Partially Replacing Quartz Sand as Fine Aggregate", <https://www.engineeringcivil.com/study-on-behaviour-of-concrete-partially-replacing-quartz-sand-as-fine-aggregate.html>. accessed: 08-08-22.
- Habibi, Haris M., (2021), "Kajian Kuat Tarik Belah dan Modulus of Rupture pada Beton Bubuk Reaktif Dengan Variasi Komposisi Silica Fume", Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Nugraheni, M.W., (2011), "Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berserat Baja dengan Menggunakan Filler Nanomaterial", Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Richard P., and Cheyrezy M., 1995, "Composition of Reactive Powder Concretes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No.7, pp. 1501-1511.
- Setyawati, D. R., 2010, "Kajian Kuat Tarik Belah dan Modulus of Rupture Beton Normal dengan Bahan Tambah Metakaolin dan Serat Alumunium", Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Standar Nasional Indonesia, 2014,"SNI 2491-2014 : Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder".
- Soumya, Gumma, and Karthiga S., 2018, "Study on Mechanical Properties Of Concrete Using Silica Fume And Quartz Sand As Replacements", *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol. 119 No. 14, pp. 151-157.
- Sugathan, Athulya, 2016, "Steel Reinforced Reactive Powder Concrete", *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. Vol. 3 No.7, pp. 236797.