

ANALISIS PENGGUNAAN POLIAMIDA PADA RPC UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN TERHADAP TEMPERATUR

Widodo Kushartomo¹ dan John Tory²

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

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
johntory11@gmail.com

Masuk: 04-01-2024, revisi: 14-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 16-01-2024

ABSTRACT

Concrete is a very important material to be applied in the world of construction, especially in Indonesia. An idea that can be useful for making normal concrete is to use additional materials in the form of polyamide. By adding polyamide to concrete, it is hoped that it can make the concrete resistant to high temperatures. The experiment carried out in this research was to burn concrete that had been mixed with polyamide with a polyamide content percentage of 0%, 0.02%, 0.04% and 0.06% of the cement. Compressive testing and flexural testing were also carried out in this research. The test sample treatment was carried out using the evaporation technique. Experimental results show that the use of polyamide fiber can help prevent spalling in concrete. Using too much polyamide fiber can cause a decrease in the strength value of the concrete. The optimal use of fiber in this research was 0.04% because it obtained the highest strength value.

Keywords: Reactive Powder Concrete; Polyamide Fiber; Elevated Temperature; Spalling

ABSTRAK

Beton merupakan suatu material yang sangat penting untuk diaplikasikan dalam dunia konstruksi terutama Indonesia. Suatu ide yang dapat bermanfaat untuk membuat beton normal adalah dengan menggunakan bahan tambahan berupa Poliamida. Dengan ditambahkan poliamida pada pembuatan beton maka diharapkan dapat membuat beton tersebut tahan terhadap temperatur yang tinggi. Percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan membakar beton yang telah tercampur oleh poliamida dengan persentase kandungan poliamida sebesar 0%, 0,02%, 0,04%, dan 0,06% dari semen. Pengujian tekan dan pengujian lentur juga dilakukan pada penelitian ini. Perawatan sampel pengujian dilakukan dengan Teknik penguapan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan serat poliamida dapat membantu mencegah terjadinya *spalling* pada beton. Penggunaan serat poliamida yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan nilai kekuatan dari beton. Penggunaan serat paling optimal dalam penelitian ini adalah sebanyak 0,04% karena memperoleh nilai kekuatan yang paling tinggi.

Kata kunci: Reactive Powder Concrete; Serat Poliamida; Suhu Tinggi; Spalling

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

RPC adalah bahan konstruksi berkekuatan sangat tinggi yang pertama kali dikembangkan oleh Richard dan Cheyrezy di Laboratorium Bouygues Prancis pada tahun 1990. Struktur halus RPC dipadatkan dan distandarisasi karena penggunaan rasio W/C yang rendah dengan pengepakan partikel yang dioptimalkan. Penggabungan bahan dengan luas permukaan tinggi seperti asap silika dan bubuk kuarsa menghasilkan struktur mikro yang homogen. Kebutuhan bahan konstruksi berkekuatan tinggi meningkat dari hari ke hari karena urbanisasi yang cepat, bahan berkekuatan tinggi meningkat dari hari ke hari karena urbanisasi yang cepat, bahan berkekuatan sangat tinggi ini secara signifikan menghemat biaya konstruksi secara keseluruhan dengan mengurangi ukuran anggota struktur dan meningkatkan kemudahan servis (Hiremat & Yaragal, 2023).

Diakui secara luas saat ini bahwa pengelupasan beton yang eksplosif pada suhu tinggi menimbulkan masalah yang menjadi perhatian utama. Ketika sebuah bangunan terkena api, beton retak, lapisannya hancur dan tulangan baja menjadi terbuka. Akibatnya, daya dukung struktur berkurang dan menimbulkan risiko bagi pengguna bangunan (Chadli, et.al., 2021).

Percobaan ekstensif telah dilakukan pada sifat respons api dari bahan yang digunakan untuk beton dan rasionya mempengaruhi kualitas dan kinerja beton. Setiap bahan yang digunakan memiliki dampak pada beton. Diketahui bahwa agregat merupakan salah satu unsur utama yang mempengaruhi sifat – sifat beton sebagai bahan penyusunnya. Meskipun suhu tinggi dari kebakaran alami atau tidak sengaja dapat mencapai hingga 1000°C, hampir semua kuat tekan beton akan hilang bila panas melebihi 800°C (Chadli, et.al., 2021).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai peneliti telah menerapkan tes eksperimental dan simulasi numerik untuk menyelidiki hubungan antara medan tegangan yang diinduksi suhu dan *spalling* eksplosif dari beton berkekuatan tinggi dan beton kinerja tinggi selama proses pemanasan (Ju, et.al., 2016).

Pengaruh penambahan serat baja terhadap peningkatan kuat tekan benda uji lebih efektif dengan rasio fraksi volume yang kecil pada temperatur ruang. Menurut ahli, rasio penambahan serat baja berperan dalam mengurangi retakan pada RPC akibat penyusutan, yang merupakan titik awal kegagalan akibat beban tekan (Chadli, et.al., 2021).

Serat kaca tanah alkali (AR) yang digunakan dalam penelitian oleh para ahli diperoleh dari Owen Corning Company. Serat kaca AR digunakan dengan semen Portland. Zirkonium dalam serat kaca AR merupakan penghalang reaksi antara semen dan serat kaca. Serat gelas yang dipotong menjadi dimensi 10mm digunakan dalam campuran beton. Penambahan *fiberglass* pada campuran RPC dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap keretakan (*crack resistance*) yang disebabkan oleh panas hidrasi, mulur, dan penyusutan. Peningkatan kuat tekan beton tersebut karena penambahan serat baja lebih besar dibandingkan dengan penambahan serat kaca (*fiberglass*). Penggunaan serat kaca (*fiberglass*) dan serat baja pada RPC dapat mencegah keretakan yang disebabkan oleh panas hidrasi, mulur, dan penyusutan (Kushartomo & Ivan, 2017).

Rumusan Masalah

1. Apakah penggunaan serat poliamida berdampak pada pengurangan penurunan sifat mekanis RPC?
2. Apakah penggunaan serat poliamida berdampak pada pencegahan terjadinya *spalling* selama proses pemanasan?
3. Apakah penggunaan serat poliamida dapat mencegah terjadinya retak setelah proses pemanasan?

Tujuan Penelitian

1. Menghitung persentase penurunan sisa sifat mekanik pada RPC yang sudah mengalami proses pemanasan.
2. Mencari hubungan antara temperatur pemanasan terhadap tegangan sisa.
3. Memetakan tampilan permukaan dari RPC setelah dilakukan pemanasan.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang diaplikasikan pada penelitian berikut adalah metode penelitian eksperimental di mana dilaksanakan pengujian penambahan serat sintesis berupa poliamida terhadap sifat mekanis RPC. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara. Penelitian berikut dimulai pada 3 Agustus 2023. Sampel yang akan diuji terbagi menjadi 2 bentuk yaitu berupa balok dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 5 cm dan kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, dengan total sampel yang dibuat berjumlah 96 buah. Persentasi serat poliamida yang digunakan sebesar 0.02%, 0.04%, dan 0.06% dari berat pasir. Pengujian RPC dilakukan ketika beton berumur 28 hari. RPC akan diuji dengan di oven dengan suhu yang berbeda – beda yaitu dengan suhu 200, 500, dan 700 derajat setelah proses *curing* selesai. Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini berupa kuat tekan dan kuat lentur. Desain campuran ditampilkan pada Tabel 1. Jumlah sampel yang dibakar dijelaskan pada Tabel 2. Jumlah sampel pembanding ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. *Mix Design*

Bahan	0%	0,02%	0,04%	0,06%
Semen (kg)	5,63	5,63	5,63	5,63
Pasir (kg)	6,19	6,19	6,19	6,19
Air (kg)	1,13	1,13	1,13	1,13
Silica Fume (kg)	1,41	1,41	1,41	1,41
Tepung Marmer (kg)	0,56	0,56	0,56	0,56
Superplasticizer (kg)	0,17	0,17	0,17	0,17
Poliamida (kg)	0	0,1125	0,225	0,34

Tabel 2. Jumlah sampel yang akan dibakar

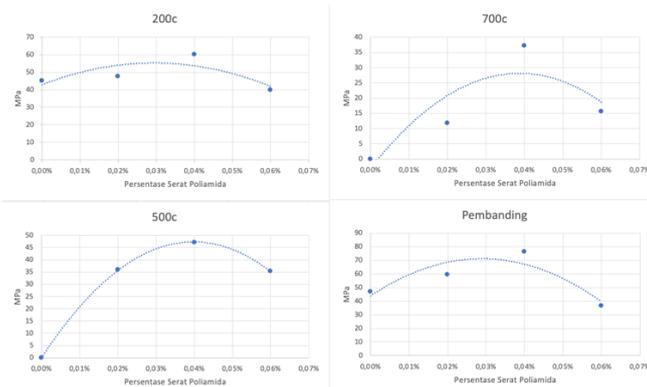
Bakar	0%		0,02%		0,04%		0,06%	
	5x5x5	5x5x20	5x5x5	5x5x20	5x5x5	5x5x20	5x5x5	5x5x20
200	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3
Total	18		18		18		18	

Tabel 3. Jumlah sampel pembanding

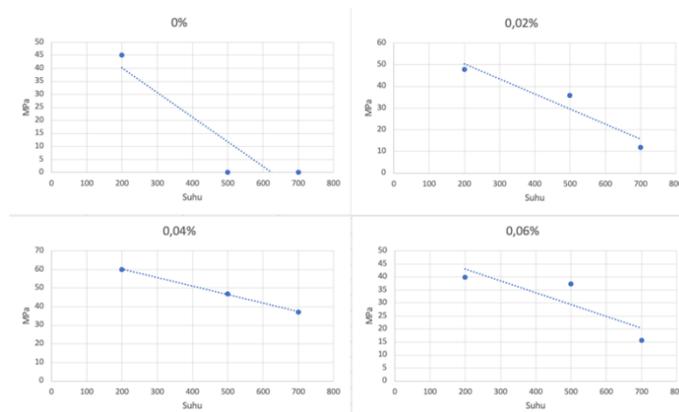
Pembanding	5x5x5	5x5x20
0%	3	3
0,02%	3	3
0,04%	3	3
0,06%	3	3
Total	12	12

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Beton



Gambar 1. Grafik hubungan antara kuat tekan dengan jumlah serat poliamida



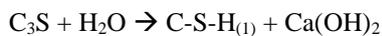
Gambar 2. Grafik hubungan antara kuat tekan dengan suhu

Tabel 4. Rata-rata hasil kuat tekan beton

	Rata-rata (MPa)			
	200°C	500°C	700°C	Pembanding
0 %	45,1	0	0	47,0
0,02 %	47,7	35,9	11,8	59,5
0,04 %	60,1	47,1	37,2	76,4
0,06 &	39,9	35,3	15,7	36,6

Berdasarkan Gambar 1 hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas serat maksimum yang dapat diterima oleh beton berada pada persentase serat 0,04%. Karena pada persentase tersebut beton telah mencapai nilai kuat tekan yang paling tinggi diantara semua sampel yang diuji. Pada persentase serat 0,06% nilai kuat tekan mulai menurun karena dalam sampel beton tersebut terlalu banyak kandungan serat poliamida.

SiO₂ yang terkandung dalam *silica fume* dapat bereaksi dengan Ca(OH)₂ yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen dan air. Dimana reaksi hidrasi dapat dilihat sebagai berikut (Kushartomo & Supiono, 2014):



Yang kemudian Ca(OH)₂ dan SiO₂ bereaksi dengan bantuan dari panas hidrasi yang dihasilkan, sehingga menimbulkan reaksi *pozzolanic* pada beton RPC yang menjadikan beton ini lebih kuat dibandingkan dengan beton biasa, hal ini disebabkan karena jumlah C-S-H meningkat. Persamaan *pozzolanic* ini dapat ditulis sebagai berikut (Kushartomo & Supiono, 2014):



Reaksi ini sama dengan reaksi yang terjadi pada kandungan *silica* pada *silica fume*, karena memiliki karakteristik yang sama yaitu *amorphous* (Kushartomo & Supiono, 2014).

Dalam penelitian ini, terjadi peningkatan kuat tekan beton karena terdapat reaksi *pozzolanic* yang terjadi. Berdasarkan gambar 2 pada saat berada di suhu yang semakin tinggi, serat poliamida akan mengalami leleh yang dimana akan memberikan jalur keluarnya udara yang berada pada RPC sehingga hal tersebut mencegah terjadinya *spalling* pada beton RPC. Serat poliamida memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu pada 260°C.

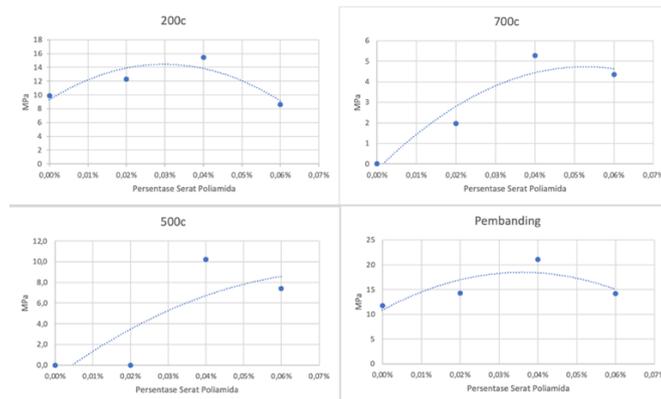
Pada gambar 2 pada persentase serat 0% dapat dilihat bahwa pada suhu 500 & 700°C, terjadi *spalling* karena tidak adanya kandungan serat poliamida pada RPC. Terjadi penurunan nilai kuat tekan yang terjadi pada masing-masing sampel seperti yang sudah dijelaskan di atas.

Hubungan antara tegangan termal dan kuat tekan beton berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Ahmad, et.al., 2009) ketika temperatur bertambah besar akan menyebabkan penurunan nilai kekuatan tekan beton dan dari hasil regresi liner dan polynomial yang dihitung koefisien determinasi yang dihasilkan mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa adanya keterkaitan yang kuat antara temperatur dan kuat tekan beton.

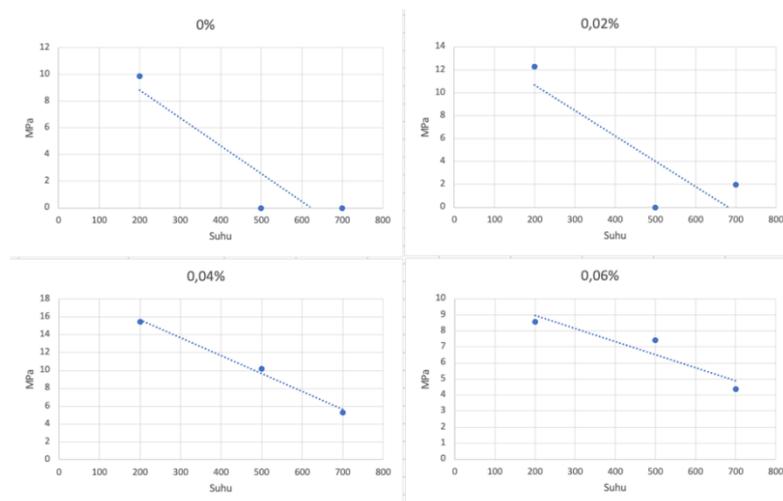
Selain komposisi material dan kualitas material penyusun, faktor utama yang menunjang kekuatan RPC adalah volume pori-pori. Susunan butiran yang baik dapat menghasilkan kepadatan yang tinggi dan porositas minimum. Gradasi agregat memiliki peran penting, apabila agregat mempunyai ukuran butiran yang lebih halus dan dengan ukuran yang bervariasi, maka volume pori beton menjadi kecil. Butiran yang lebih kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar. Dimana pori-pori menjadi sedikit dan beton akan memiliki kepadatan yang tinggi. Semakin besar volume pori-pori yang terbentuk maka nilai kuat tekan beton akan semakin menurun (Sutandi & Kushartomo, 2019).

Dengan bertambahnya tekanan udara yang terjebak di dalam pori-pori RPC, hal ini menyebabkan adanya desakkan/dorongan yang terjadi pada daerah dinding-dinding RPC. Apabila dinding RPC tidak kuat menahan desakkan tersebut maka akan terjadi peristiwa *spalling*. Contohnya dapat terlihat pada gambar 2 dengan persentase serat 0% terjadi peristiwa *spalling* pada suhu 500 & 700°C. Pada persentase serat 0,04% peristiwa *spalling* tidak terjadi karena terdapat serat yang dapat mengisi pori-pori yang ada di dalam RPC sehingga adanya aliran untuk udara dapat keluar, keuntungannya juga tekanan udara yang berada pada RPC semakin berkurang dan akan mengurangi peristiwa terjadinya *spalling*.

Kuat Lentur Beton



Gambar 3. Grafik hubungan antara kuat tekan dengan jumlah serat poliamida

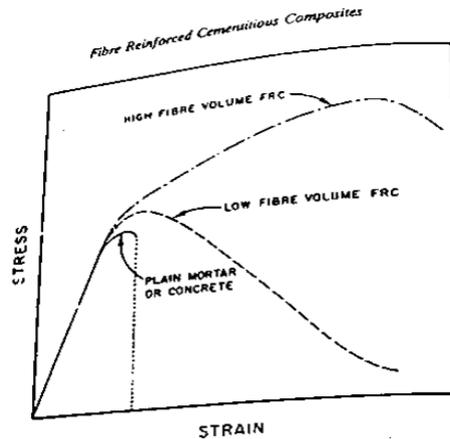


Gambar 4. Grafik hubungan antara kuat tekan dengan suhu

Tabel 5. Rata-rata hasil kuat lentur

	Rata-rata (MPa)			
	200°C	500°C	700°C	Pembanding
0 %	9,9	0	0	11,7
0,02 %	12,3	0	2,0	14,3
0,04 %	15,5	10,2	5,3	21,1
0,06 &	8,6	7,4	4,4	14,1

Berdasarkan Gambar 4, hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas serat optimum yang dapat diterima oleh beton berada pada persentase serat 0,04%. Pada persentase tersebut beton telah mencapai nilai kuat tekan yang paling tinggi diantara semua sampel yang diuji. Pada persentase serat 0,06% nilai kuat tekan mulai menurun karena dalam sampel beton tersebut terlalu banyak kandungan serat poliamida.



Gambar 5. Kurva tegangan & renggangan tipikal untuk volume serat rendah dan serat tinggi (Bentur & Mindes, 1990)

Serat tidak digunakan untuk meningkatkan kekuatan (baik tarik ataupun lainnya) beton, meskipun terkadang peningkatan kekuatan dapat dihasilkan dari penggunaannya. Sebaliknya peran serat adalah untuk mengontrol retaknya FRC (*Fiber Reinforced Composite*) dan untuk mengubah perilaku beton setelah matriksnya retak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 Dengan demikian serat meningkatkan 'keuletan' material atau lebih tepatnya, kapasitas penyerapan energinya. Memang benar, jika upaya yang dilakukan adalah untuk mengoptimalkan FRC (*Fiber Reinforced Composite*) hanya untuk kekuatan, hal ini sering kali menyebabkan berkurangnya ketangguhan dan perilaku yang lebih rapuh. Selain itu, sering kali terdapat peningkatan dalam ketahanan benturan, sifat leleh, dan ketahanan abrasi. Penerapan FRC (*Fiber Reinforced Composite*) sangat beragam sesuai dengan jenis serat yang digunakan.

Berdasarkan Gambar 5 dapat diamati bahwa dengan adanya penggunaan serat pada beton, hal itu mampu meningkatkan kekuatannya tarik. Ketika beton tidak memiliki kandungan serat maka berdasarkan Gambar 5 tersebut beton langsung putus, berbeda dengan penggunaan serat pada beton, ada 2 tipe serat jika dilihat berdasarkan gambar dimana serat dengan volume yang banyak dan sedikit.

Penggunaan serat polimer baru-baru ini telah menghasilkan peningkatan yang cukup signifikan pada sifat mekanik material berbasis semen dengan menunda transformasi retakan mikro menjadi bentuk makro, namun penggunaan serat polimer ini tidak sepenuhnya menghilangkan retakan makro. Penambahan penggunaan serat pada beton terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik, kimia dan termal matriks beton (Parveen, et al., 2013).

Berdasarkan penelitian tersebut, komposisi serat poliamida mempengaruhi nilai kuat lentur beton RPC. Dan temperatur juga mempengaruhi nilai kuat tekan beton, semakin tinggi temperatur maka nilai kuat lentur akan semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Menurut perolehan penelitian, bisa disimpulkan seperti di bawah ini:

1. Terjadi peningkatan kuat tekan beton karena terjadinya reaksi pozzolanic yang dimana silika fume mengandung SiO₂ yang bereaksi dengan panas hidrasi sehingga hal tersebut membuat sampel beton menjadi lebih kuat.
2. Besarnya kuat tekan beton berdampak oleh seberapa besar persentase serat poliamida pada campuran beton. Semakin tinggi persentase serat poliamida, semakin besar nilai kuat tekan yang didapatkan. Nilai kuat tekan beton dengan persentase serat 0%, 0,02%, 0,04%, dan 0,06% secara berurutan adalah 45,1 MPa; 47,7 MPa; 60,1 MPa; 39,9 MPa pada suhu 200oC.
3. Besarnya kuat lentur beton berdampak oleh seberapa besar persentase serat poliamida pada campuran beton. Semakin tinggi persentase serat poliamida, semakin besar nilai kuat lentur yang didapatkan. Nilai kuat lentur dengan persentase serat 0%, 0,02%, 0,04%, 0,06% secara berurutan adalah 9,9 MPa; 12,3 MPa; 15,5 MPa; 8,6 MPa pada suhu 200oC.
4. Penggunaan serat poliamida dapat mencegah terjadinya spalling pada beton. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan semakin banyak persentase serat poliamida yang digunakan maka beton akan semakin tahan terhadap panas yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.
5. Terjadi penurunan kekuatan pada beton yang dibakar dan tidak dibakar. Hal ini terjadi karena adanya proses tegangan termal pada beton, yang dimana akan terjadi retakan-retakan pada beton sehingga ikatan pasta dan agregat lepas dan hal itu yang menyebabkan kekuatan dari beton tersebut menurun.

6. Penggunaan serat poliamida yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan nilai kekuatan beton. Hal ini dapat dilihat melalui Gambar 1 dan 2, yang dikarenakan komponen material penyusun beton dipenuhi oleh serat sehingga akan mengganggu ikatan antara pasta semen dengan material pengikat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. A., Taufieq, N. A., & Aras, A. H. (2009). Analisis pengaruh temperatur terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 16(2), 63-70.
- Bentur, A., & Mindess, S. (1990). Fibre reinforced cementitious composites. *ELSEVIER APPLIED SCIENCE*.
- Chadli, M., Tebbal, N., & Mellas, M. (2021). High temperature impact on reactive powder concrete behavior and microstructure. *Construction and Building Materials*, 300(8), 478-485.
- Hiremath, P. N., & Yaragal, S. C. (2018). Performance concrete reactive powder reinforced polypolypropelena and polyester fiber at high temperature. *Construction and Building Materials*, 169(6), 499-512.
- Kushartomo, W., & Ivan, R. (2017). Pengaruh serat kaca pada kekuatan kompresif, lentur dan pemisahan serbuk reaktif konkret. *MATEC Web of Conferences*, 138(03010), 1-6.
- Kushartomo, W., & Supiono, C. W. (2014). Pengaruh copper slag terhadap sifat mekanis reactive powder concrete. *Jurnal Kajian Teknologi*, 10(3), 176-182.
- Parveen, S., Rana, S., & Fanguerio, R. (2013). A review on nanomaterial dispersion, microstructure and mechanical properties of carbon nanotube and nanofiber based cement composites. *Journal of Nanomaterials*, 2013(710175), 1-19.
- Sutandi, A., & Kushartomo, W. (2019). Pengaruh ukuran butiran maksimum terhadap kuat tekan reactive powder concrete. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 161-170.
- Ju, Y., Liu, J., Liu, H., Tian, K., & Ge, Z. (2016). On the thermal spalling mechanism of reactive powder concrete exposed to high temperature: numerical and experimental studies. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 98(12), 493-507.

