

## Pengaruh Penggunaan Serat Baja Terhadap *Flexural Toughness Reactive Powder Concrete*

**Widodo Kushartomo**

Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No.1 Jakarta 11440, E-mail: widodo@untar.ac.id

**Daniel Christianto**

Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No.1 Jakarta 11440, E-mail: dcmihan@yahoo.com

**Jenny Suryani**

Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No.1 Jakarta 11440, E-mail: suryani\_jenny@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini menjelaskan perilaku flexural toughness dari reactive powder concrete berpenguat serat baja lokal dengan fraksi volume dan aspek rasio yang berbeda-beda. Contoh uji berbentuk prisma dengan ukuran 100 x 100 x 350 mm yang dibuat dengan serat baja dan tanpa serat baja. Serat baja yang digunakan 0% (kontrol), 1,0%, 1,5%, dan 2,0% terhadap volume dan aspek rasio 75, 100, 125. Contoh uji dikehurkan dari cetakan setelah 24 jam kemudian direndam dalam air selama 3 hari, setelah itu contoh uji dirawat dengan penguapan selama 8 jam pada temperatur 90°C. Pengujian Flexural toughness dilakukan ketika prisma telah berumur 28 hari. Hasil penelitian memperlihatkan, volume dan aspek rasio serat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap flexural toughness reactive powder concrete.

**Kata-kata Kunci:** Reactive powder concrete, Flexural toughness, Serat baja, Fraksi volume, Aspek rasio.

### Abstract

This research present flexural toughness behavior of local steel fiber reinforced reactive powder concrete produced with different steel fibers volume fraction and aspect ratio. Prismatic concrete specimens of 100 x 100 x 350 mm were prepared with and without steel fiber. Steel fiber was used of 0% (control), 1,0%, 1,5%, and 2,0% by volume and 75, 100 and 125 as aspect ratio. Specimens were de-molded after 24 hours and cured in water until 3 days, after that the specimens were cure by steam curing for 8 hours at 90°C. Flexural toughness of the prisms has been defined at 28 day old. The result show that the effects of fibre volume and aspec ratio on flexural toughness of reactive powder concrete are very significant.

**Keywords:** Reactive powder concrete, Flexural toughness, Steel fiber, Volume fraction, Aspect ratio.

## 1. Pendahuluan

Reactive Powder Concrete (RPC) pertama kali dikembangkan diakhir abad 19 oleh Bouge Laboratoy Perancis sebagai sebuah terobosan baru dalam perkembangan teknologi beton, karena diketahui memiliki kinerja yang sangat baik dengan kuat tekan mampu mencapai 200 MPa. Penggunaan serat baja dalam RPC mampu meningkatkan kuat lentur hingga mencapai 50-60 MPa (Richard dan Cheyreyzy, 1995).

Kekuatan dan ketangguhan merupakan parameter mekanik utama pada beton, sehingga diperlukan kehati-hatian dalam pertimbangan perancangan struktur. Indeks ketangguhan (*toughness index*) digunakan untuk mengkarakterisasi kemampuan sebuah material beton sebagai komponen struktur dalam menyerap energi selama deformasi. Indeks ketangguhan menjadi salah

satu faktor menentukan dalam penggunaan beton berkekuatan sangat tinggi, mengingat beton berkekuatan sangat tinggi juga sangat mudah patah. Indeks ketangguhan menggambarkan kemampuan beton dalam pencegahan supaya tidak mudah patah sebagai sebuah komponen struktur bila terjadi bencana atau kegagalan. Guna memanfaatkan kelebihan sifat mekanis yang dimiliki oleh RPC, diperlukan sebuah penilaian yang tepat terhadap ketangguhan dan kemampuan penyerapan energi RPC dan pengembangannya dalam komponen struktur.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan berbagai variasi campuran, ukuran benda uji dan teknik pengukuran menunjukkan bahwa kekuatan senantiasa berbanding terbalik dengan ketangguhan, semakin kuat beton yang dihasilkan maka semakin mudah patah juga beton tersebut (Yang et al., 2009).

Penelitian berkaitan dengan pengaruh panjang serat, diameter dan fraksi volume terhadap kekuatan lentur RPC juga dipelajari oleh para peneliti. Yazici et al., (2009) menggunakan serat baja yang dilapisi *chrome* dengan diameter serat 0,11 mm dan aspek rasio 100, mampu menghasilkan RPC dengan *modulus of rupture* sebesar 38,7 MPa.

Kushartomo dan Christianto (2015) mempelajari pengaruh penggunaan serat baja lokal terhadap kuat tekan dan kuat lentur RPC, penelitian yang telah dilakukan menunjukkan jumlah serat baja dan faktor aspek rasio mempengaruhi kuat tekan dan kuat lentur RPC. Peningkatan sangat signifikan terjadi pada kuat lentur RPC yaitu sebesar 350% dibandingkan dengan RPC tanpa serat dengan volume optimum serat sebesar 1,5% dan aspek rasio 75, sedangkan kuat tekan RPC hanya meningkat sebesar 10%.

Pengaruh terpenting pada penggunaan serat baja dalam RPC adalah mencegah terjadinya penjarangan retak, fenomena ini jelas sekali terlihat pada perilaku lentur RPC. Ketika RPC di bebani pada sebuah pengujian lentur, tegangan tarik maksimum terjadi pada bagian bawah contoh uji dan retak pertama berkembang mulai dari sana. Keberadaan serat dalam RPC membantu menyalurkan gaya ke dalam matrik RPC sehingga retak tidak terus berkembang.

Tulisan ini menjelaskan kontribusi serat baja lokal dalam indeks ketangguhan RPC dikaitkan dengan variasi fraksi volume serat dan aspek rasio.

## 2. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dikembangkan RPC menggunakan bahan-bahan yang tersedia di pasaran lokal. Semen portland jenis PCC, *silica fume* dengan ukuran maksimum butiran 40 mm, pasir kuarsa dengan ukuran butiran antara 150-600 mm, tepung kaca dengan ukuran butiran maksimum 75 mm dan *superplasticizer* dari jenis poli karboksilat. Serat baja di peroleh dari pemotongan kawat baja dengan diameter 0,2 mm dan tegangan tarik 1050 MPa. Sebanyak sembilan jenis variasi campuran diperiksa dalam penelitian ini, pada semua variasi campuran semen, *silica fume*, pasir, tepung kaca dan *superplasticizer* fraksi volumenya dipertahankan tetap dengan perbandingan jumlah air semen sebesar 0,2. Fraksi Volume serat baja yang di campurkan dalam RPC sebesar 1,0%, 1,5% dan 2,0% serta aspek rasio (l/d) sebesar 75, 100 dan 125. Detail serat baja dan rencana campuran ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Selama proses pencampuran, serat baja dimasukkan secara merata kedalam adukan dengan orientasi acak, benda uji dibuat dalam cetakan berukuran 100 x 100 x 350 mm. Setelah berumur 24 jam seluruh benda uji direndam dalam air selama 3 hari kemudian dilanjutkan dengan proses penguapan pada temperatur 90°C selama 8 jam. Pada umur 28 hari seluruh contoh uji dilakukan pengujian *toughness* mengikuti prosedur ASTM C-1018 (2002), seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.

**Tabel 1. Dimensi dan sifat serat baja**

Panjang (l) mm	Diameter (d) mm	Aspek Rasio (l/d)	Kerapatan g/cm <sup>3</sup>	Tegangan Tarik N/mm <sup>2</sup>
15,0	0,2	75	7,5	1050
20,0	0,2	100	7,5	1050
25,0	0,2	125	7,5	1050

**Tabel 2. Rencana campuran RPC**

Material	Jumlah, (kg)		
	I	II	III
Semen	759	755	751
Air	152	151	150
<i>Silica fume</i>	190	189	188
Tepung kaca	228	226	225
Pasir	1138	1132	1127
<i>Superplasticizer</i>	23	23	23
Fraksi volume serat	1,0%	1,5%	2,0%



**Gambar 1. Pengujian indeks ketangguhan benda uji**

Pengujian *toughness* dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi BPPT Puspitek Serpong.

### 3. Hasil Pengujian dan Diskusi

Penambahan serat ke dalam RPC berakibat sangat mendasar terhadap perubahan tegangan regangan. Perubahan tersebut umumnya dikarakterisasi oleh peningkatan regangan pada puncak tegangan dan peningkatan keuletan (*ductility*) yang diindikasikan dalam kurva tegangan regangan (Hasso dan Barr, 1985). Parameter serat yang berbeda-beda dalam material RPC, memberikan pengaruh yang berbeda-beda pula pada *fracture toughness* RPC, volume, panjang dan diameter serat merupakan parameter utama dalam penggunaan serat (Fanella dan Naaman, 1985).

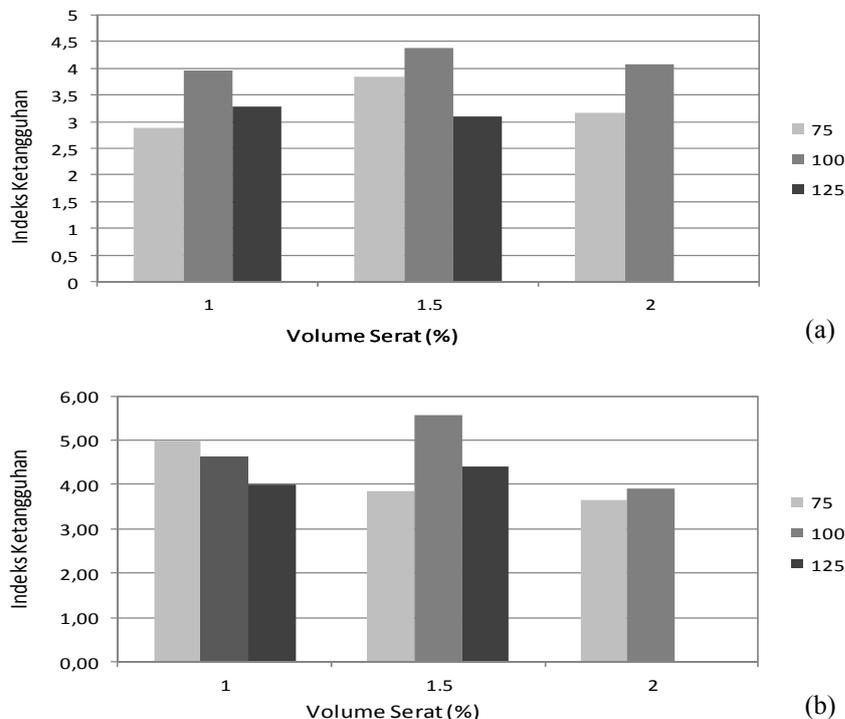
#### 3.1 Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan dapat didefinisikan sebagai luas daerah dibawah kurva tegangan-regangan sedangkan indeks ketangguhan didefinisikan sebagai perbandingan antara ketangguhan RPC menggunakan serat dengan RPC tanpa serat (Fanella dan Naaman, 1985). Harga indeks ketangguhan terhadap volume serat ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada gambar tersebut dapat dilihat (1) indeks ketangguhan optimum dicapai pada penggunaan volume serat 1,5% dengan aspek rasio 100, (2) Volume serat dan aspek rasio sangat mempengaruhi nilai indeks ketangguhan RPC.

Pada **Gambar 2** *workability* sangat rendah pada volume serat 2% dan aspek ratio 125, sehingga benda uji tidak terbentuk. Dengan demikian indeks ketangguhan pada **Gambar 2** tidak dimunculkan.

Pada sebuah material yang mudah patah seperti beton, didalamnya terdapat sejumlah keretakan mikro, serat dalam material tersebut bertindak sebagai jembatan diantara dua permukaan keretakan. Dalam kondisi terbebani keretakan memiliki kecenderungan untuk menjalar, tetapi dengan adanya serat didalamnya maka gaya-gaya yang bekerja akan disalurkan kedalam serat sehingga retak tidak akan menjalar. Pada dasarnya penambahan serat pada sebuah material yang mudah patah akan meningkatkan *fracture toughness* dan kuat tekan (Hoon Cha dan Suk Kim, 1998). Logikanya gaya-gaya yang diterima oleh serat didistribusikan menjadi gaya gesek dan gaya lekat antara serat dan beton. Gaya gesek dan gaya lekat tersebut semakin bertambah besar seiring dengan pertambahan luas permukaan serat.

Ketangguhan menurut didefinisikan sebagai luas area yang terbentuk dibawah kurva tegangan regangan, sedangkan indeks ketangguhan didefinisikan sebagai perbandingan antara ketangguhan beton berserat dibandingkan dengan ketangguhan beton tanpa serat (Fanella dan Naaman, 1985). Nilai indeks ketangguhan yang teramati terhadap fraksi volume serat ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada gambar tersebut memperlihatkan (1) indeks ketangguhan optimum dicapai pada penggunaan volume serat 1,5%, (2) dalam jumlah volume serat yang sama nilai aspek rasio (l/d) sebesar 100 menunjukkan indeks ketangguhan paling tinggi dibandingkan dengan nilai aspek rasio 75 dan 125.



**Gambar 2.** Pengaruh volume serat dan aspek rasio terhadap indeks ketangguhan RPC pada temperatur perawatan a) 20°C, b) 90°C

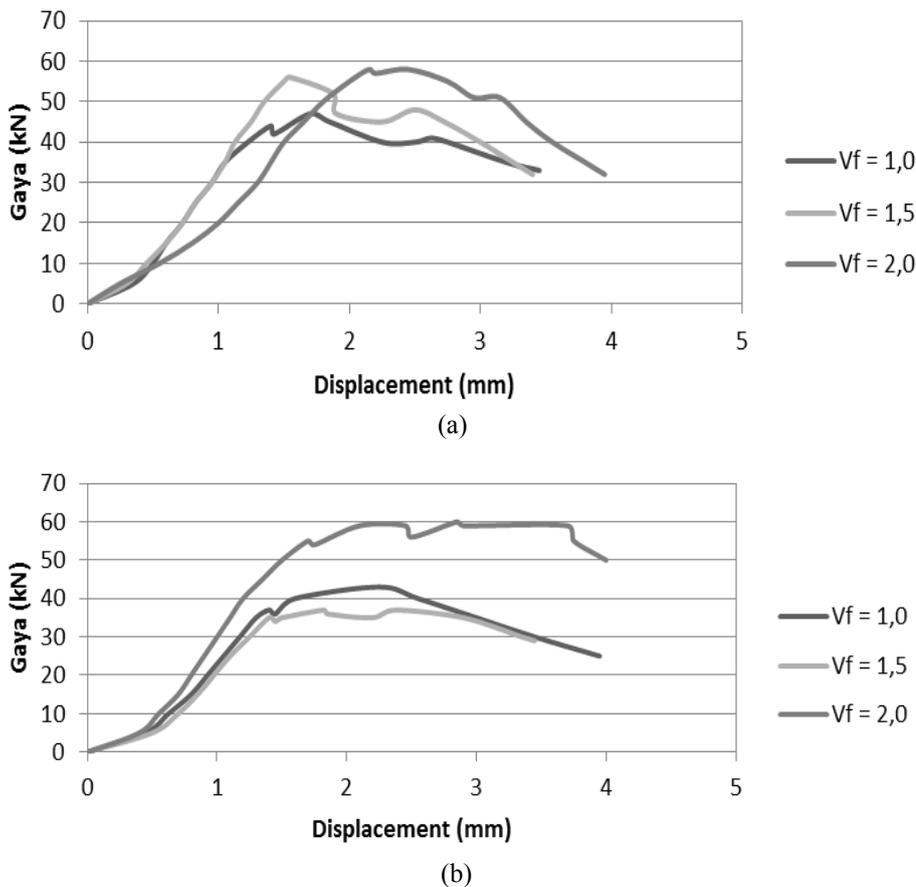
**Gambar 2**, memperlihatkan perbedaan yang sangat besar nilai indeks ketangguhan antara RPC menggunakan serat dan tanpa serat, dalam proses pengujian RPC tanpa serat langsung patah terbagi menjadi dua bagian, ketika indikasi keretakan awal muncul maka akan cepat sekali menjalar dan pemberian beban hingga maksimum terjadi dalam waktu sangat pendek. Kurva beban dan defleksi terlihat tegak keatas dan lurus, hal ini mengindikasikan sebuah material yang mudah patah (*brittle*). Jika kedalam RPC ditambahkan serat, inisiasi terjadinya retak terjadi pada puncak pembebanan yang diketahui sebagai retak pertama, keretakan akan terus menjalar secara perlahan seiring dengan penambahan beban, sebuah deformasi yang sangat besar tergambar dan RPC tidak patah. Kurva pembebanan dan defleksi terlihat merendah kemudian membentuk *loop*, yang menunjukkan gambaran material ulet. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

### 3.2 Kuat lentur

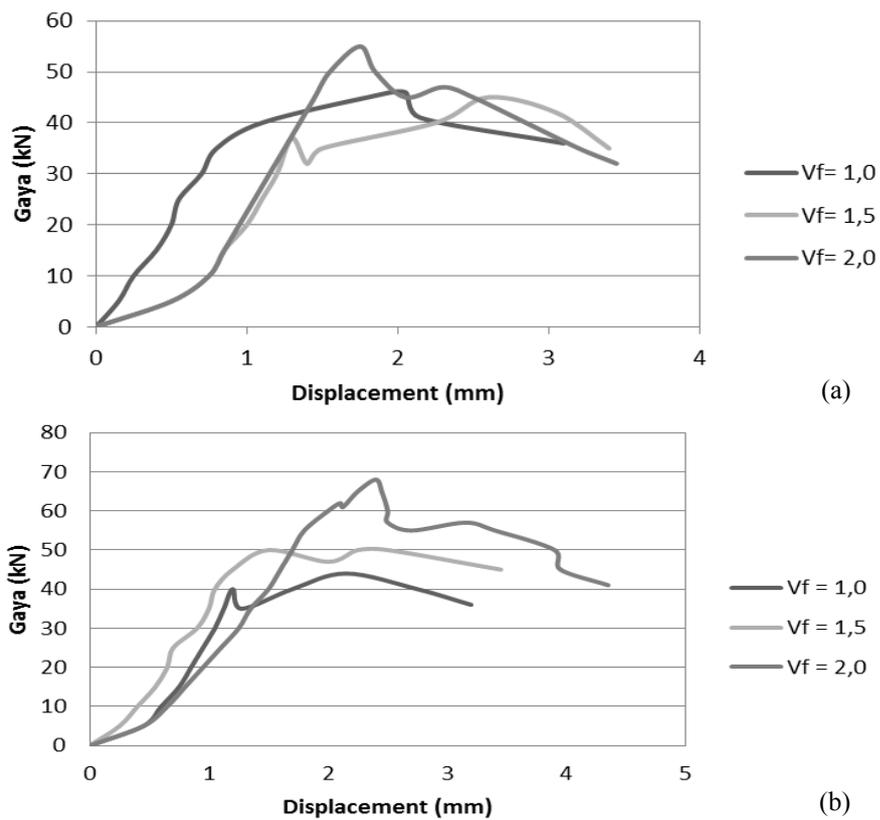
Kekuatan lentur beton yang dinyatakan dalam *Modulus of Rupture* digunakan untuk mengetahui besarnya tegangan yang dapat ditahan beton hingga

mencapai retak dan patah. Besar kecilnya kekuatan lentur dinyatakan dalam *modulus of rupture* yang ditentukan besarnya dengan tes *third-point loading*. Nilai pengujian *modulus of rupture* ditunjukkan pada **Gambar 5**.

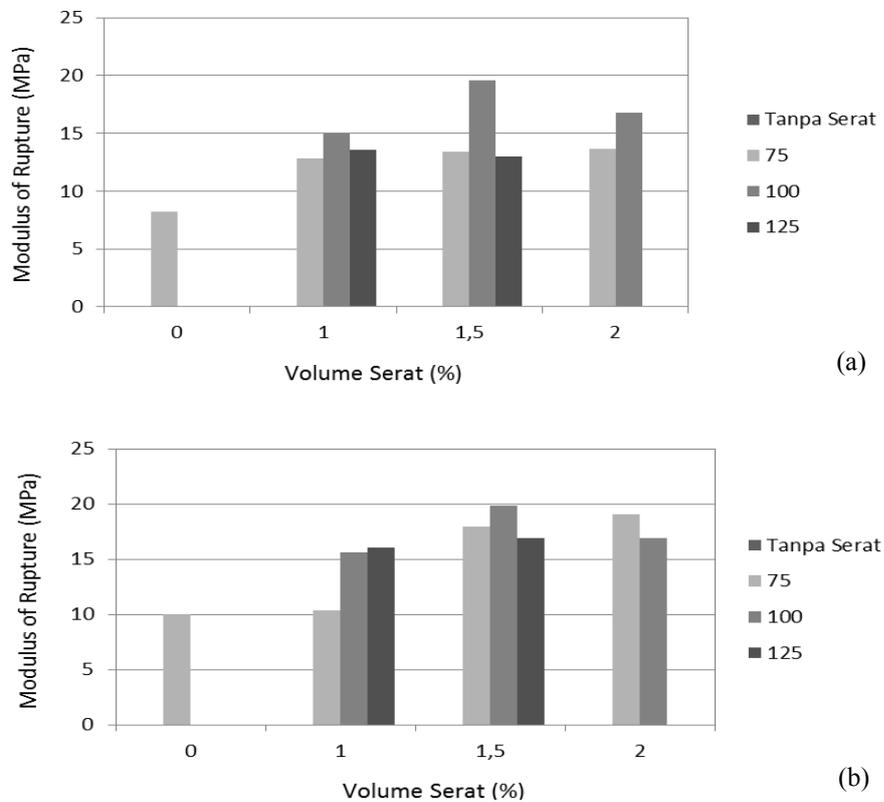
Nilai kuat lentur balok tanpa penambahan serat menggunakan metode penguapan menghasilkan nilai yang lebih baik daripada menggunakan metode perendaman, hal ini terjadi karena reaksi hidrasi yang terjadi pada beton dipercepat oleh *heat treatment* dari *steam curing*, dan juga adanya reaksi *pozzolanic* yang membutuhkan bantuan *heat treatment* agar dapat bereaksi optimal. Penambahan serat baja pada balok akan sangat berpengaruh pada kekuatan lentur. Semakin besar aspek rasio serat baja maka akan mendapatkan hasil *modulus of rupture* yang lebih optimal, tetapi perlu dilihat juga besarnya volume yang akan digunakan. Penambahan volume serat baja dapat menambah kekuatan tarik beton (Kushartomo dan Christianto, 2015). Aspek rasio dan volume serat yang menghasilkan *Modulus of Rupture* paling optimal adalah aspek rasio 100 dan volume 1,5% dengan menggunakan metode penguapan.



**Gambar 3.** Pengaruh volume serat terhadap keuletan beton RPC perawatan perendaman (a) Aspek rasio 75, (b) Aspek rasio 100



Gambar 4. Pengaruh volume serat terhadap keuletan beton RPC *steam curing* 90 °C  
(a) Aspek rasio 75, (b) Aspek rasio 100



Gambar 5. Pengaruh volume serat dan aspek rasio terhadap *modulus of rupture* RPC pada temperatur perawatan a) 20°C, b) 90°C

#### 4. Kesimpulan

- 1) Penambahan serat baja lokal meningkatkan kekuatan lentur beton hingga sebesar 13 MPa dibandingkan dengan *Reactive Powder Concrete* (RPC) tanpa serat.
- 2) Nilai aspek rasio 100 dengan volume 1,5%, menghasilkan nilai *modulus of rupture* paling optimum dengan menggunakan metode penguapan.
- 3) Indeks ketangguhan yang paling optimum terdapat pada *Reactive Powder Concrete* dengan volume serat baja lokal 1,5 % dan aspek rasio 100.
- 4) Nilai indeks ketangguhan dipengaruhi oleh volume serat dan aspek rasio.
- 5) Metode perawatan beton dengan penguapan menghasilkan kekuatan lentur lebih baik dibandingkan dengan perendaman.

#### Daftar Pustaka

- ASTM C-1018, 2002, *Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading)*.
- Fanella, D.A., Naaman, A.E., 1985, Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Mortar in Compression, *ACI Journal*, July-August, pp. 575-483.
- Hasso, E.B.D., Barr, B.I.G., 1985, *Astudy of Toughness Indices*, Magazine of Concrete Research Vol.37, No. 132, September.
- Hoon Cha, Y., Suk Kim, K., Joong Kim, D., 1998, Evaluation on the fracture Toughness and Strength of Fiber Reinforced Brittle Matrix Composites, *KSME International Journal*, Vol 12, No. 3, pp. 370 - 379.
- Kushartomo, W., Christianto, D., 2015, Pengaruh Serat Lokal Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur *Reactive Powder Concrete* dengan Teknik Perawatan Penguapan, *Jurnal Teknik Sipil - Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol.22, No. 1, pp. 31-36.
- Richard, P., Cheyrezy, M., 1995, *Composition of Reactive Powder Concretes*, Cement Concrete Research, Vol. 25 No.7, pp. 1501-1511.
- Yang, Ju, Hong Bin Liu, Jia, Y.D., Peng, P.H., 2009, *Toughness And Characterization Of Reactive Powder Concrete With Ultra-High Strength*, Science in China Series E – Technological Science, Vol. 52, No. 4, April, China.

Yazici, H., Yigiter, H., Karabulut, S. Anil, B.B., 2009, *Utilization of Fly Ash And Ground Granulated Blast Furnace Slag As An Alternative Silica Source in Reactive Powder Concrete*, Fuel 87, pp 2401-2407.