

## Pengaruh Serat Lokal Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur *Reactive Powder Concrete* dengan Teknik Perawatan Penguapan

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@gmail.com

### Abstrak

Penelitian yang dilakukan adalah mempelajari penggunaan serat baja produksi dalam negeri sebagai bahan campuran pada pembuatan *Reactive Powder Concrete* (RPC), guna mengurangi ketergantungan serat baja import yang biasa digunakan dalam pembuatan RPC. Volume serat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,0%, 1,0%, 1,5 % dan 2,0%, sedangkan perbandingan antara panjang serat terhadap diameternya atau disebut sebagai aspek rasio ( $l/d$ ) masing-masing adalah 50, 75 dan 100. Benda uji berupa silinder dengan diameter 75,0 mm, panjang 150,0 mm dan balok berukuran 100,0mm x 100,0mm x 350,0 mm. Dalam proses perawatan seluruh benda uji direndam dalam air selama 3 hari pada temperatur 20°C dilanjutkan dengan penguapan bertemperatur 90°C selama 8 jam. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan dan kuat lentur (modulus of rupture) setelah beton berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan, dengan diameter serat sebesar 0,3 mm berakibat pada penurunan nilai kuat tekan RPC, sebaliknya terjadi peningkatan yang sangat besar terhadap kuat lentur RPC yaitu sebesar 300% - 400%. Kuat tekan dan kuat lentur optimum terjadi pada volume serat 1,5% dan aspek rasio  $l/d = 75$  dengan nilai masing-masing adalah 89,36 MPa dan 27,01 MPa.

**Kata-kata Kunci:** Kuat tekan, Kuat lentur, Serat baja, Perawatan, Penguapan.

### Abstract

The research is studying the use of domestically produced steel fibers, as an ingredient in the manufacture of reactive powder concrete (RPC), in order to reduce dependence on imported steel fiber used in the manufacture of RPC. The volume of steel fibers used in this study was 0.0%, 1.0%, 1.5% and 2.0%, while the ratio between the length of the fiber to its diameter, or was designated aspect ratio ( $l/d$ ) of each is 50, 75 and 100. Test specimen in the form of a cylinder with a diameter of 75.0 mm, 150.0 mm length, the beam size 100,0 mm 100,0 mm x 350.0 mm. In the curing process the specimen is immersed in water for 3 days at 20°C followed by steam curing at 90°C for 8 hours. The specimen was tested on the compressive strength and flexural strength (modulus of rupture) of concrete after 28 days old. The results of the research, 0.3 mm fiber diameter decreases the compressive strength of RPC, otherwise increasing the flexural strength of RPC in the amount of 300% - 400%. Optimum value of compressive strength and flexural strength in 1.5% of fibre volume and aspect ratio  $l/d = 75$  with the value of 89.36 MPa and 27.01 MPa.

**Keywords:** Compressive strength, Flexural strength, Steel fiber, Curing, Steam.

### 1. Pendahuluan

RPC merupakan material yang tersusun dengan ukuran partikel sangat kecil semen: 45  $\mu$ m, mikro silika: 0,15  $\mu$ m, pasir kuarsa: 425  $\mu$ m, tepung kuarsa: 10  $\mu$ m, superplasticizer, serat baja mikro  $\varnothing$  0,13 mm x 12,0 mm. Karena tersusun dari material dengan ukuran partikel sangat kecil maka RPC dapat tersusun secara kompak dan memiliki homogenitas jauh lebih baik bila dibandingkan dengan beton pada umumnya. Serat baja yang umum digunakan dalam pembuatan RPC memiliki ukuran diameter antara 0,11 mm - 0,13 mm dan panjang antara 11,0 mm - 13,0 mm. Serat baja yang

digunakan tersebut dilapisi dengan tembaga supaya tidak berkarat dan mempunyai kuat tarik antara 2000 MPa sampai 2400 MPa. Penambahan serat baja kedalam RPC tersebut berfungsi untuk mereduksi dan menahan penjaralan retak yang terjadi akibat pembebanan atau faktor lainnya.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Richard and Cheyreyzy, (1995) menunjukkan penggunaan serat baja pada RPC mampu menghasilkan kuat tekan yang sangat tinggi 200 MPa – 800 MPa dan modulus rupture sebesar 50 MPa – 60 MPa.

Industri di Indonesia masih belum mampu menghasilkan serat baja seperti yang dispesifikasikan tersebut di atas, sehingga dalam pembuatan RPC serat baja tersebut selalu diimport yang berdampak pada ketergantungan akan bahan baku asing dan biaya produksi yang mahal. Berdasarkan hal tersebut perlu pengkajian mengenai penggunaan serat baja lokal yang mampu menggantikan serat baja import, sehingga mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan import. Kendala yang biasa dijumpai dalam penggunaan bahan lokal adalah kualitas yang kurang baik terutama berkaitan dengan tegangan tarik dan ketidak konsistenan kualitas produksi. Namun hal ini bukan berarti bahan lokal tidak dapat digunakan, karena itu diperlukan sebuah penelitian guna mempelajari pengaruh serat baja lokal terhadap *fracture toughness* dan kuat tekan RPC.

## 2. Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh volume ( $V_f$ ) dan aspek rasio ( $l/d$ ) serat baja lokal atau produksi dalam negeri terhadap kuat tekan dan kuat lentur, kuat lentur untuk mengetahui besarnya tegangan yang dapat ditahan oleh suatu beton sampai mencapai titik keretakan pertama hingga patah. Kuat lentur dapat diketahui dengan menggunakan tes *Third point loading*, dimana dari tes ini dapat dihitung *modulus of rupture* yang terjadi pada benda uji.

## 3. Prosedur Penelitian

Pengumpulan data dalam pekerjaan penelitian ini dimulai dari pemeriksaan properties bahan, merencanakan campuran, membuat benda uji dan pengujian.

### a. Rencana campuran

Periksa data teknis atau spesifikasi bahan untuk pembuatan contoh uji RPC seperti berat jenis, ukuran butiran dan gradasi butiran.

### b. Membuat rencana campuran seperti berikut :

$$V_a + V_s + V_{sf} + V_{qp} + V_p + V_{sp} + V_f = 1$$

$$\frac{f_{a/s}}{\rho_a} m_s + \frac{1}{\rho_s} m_s + \frac{f_{sf/s}}{\rho_s} m_s + \frac{f_{qp/s}}{\rho_s} m_s + \frac{f_{p/s}}{\rho_p} m_s + \frac{f_{sp/s}}{\rho_{sp}} + V_f = 1$$

Indek a, s, sf, qp, p, sp, f berturut-turut menyatakan air, semen, *silica fume*, tepung silika, pasir, superplasticizer, serat.  $f_{a/s}$  menyatakan rasio air terhadap semen dan seterusnya

**Tabel 1. Rencana campuran pembuatan RPC**

$f_{a/s} = 0,20$ ;  $f_{sf/s} = 0,25$ ;  $f_{sp/s} = 0,03$ ;  $f_p/s = 1,5$ ;  $f_{qp/s} = 0,3$

Perbandingan	$V_f$		
	1,0	1,5	2,0
50	S1-50	S1,5-50	S2-50
75	S1-75	S1,5-75	S2-75
100	S1-100	S1,5-100	S2-100

$l/d$  = aspek rasio serat;  $V_f$  = volume serat

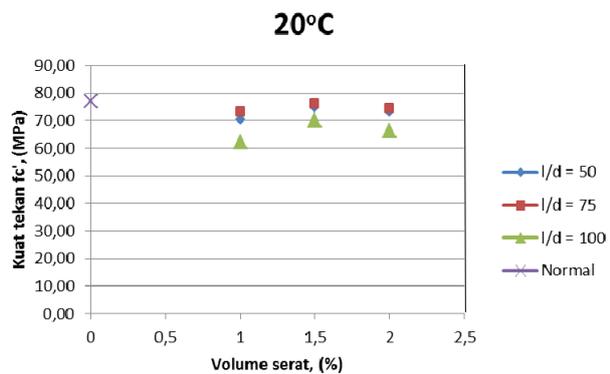
### c. Pengujian mekanis

Pengujian merupakan pengujian kuat tekan dan lendutan. Pengujian dilakukan terhadap terhadap contoh uji silinder yang beriameter  $\varnothing 75,0$  mm, tinggi 150,0 mm dan contoh uji prisma berukuran 100,0 mm x 100,0 mm x 350,0 mm.

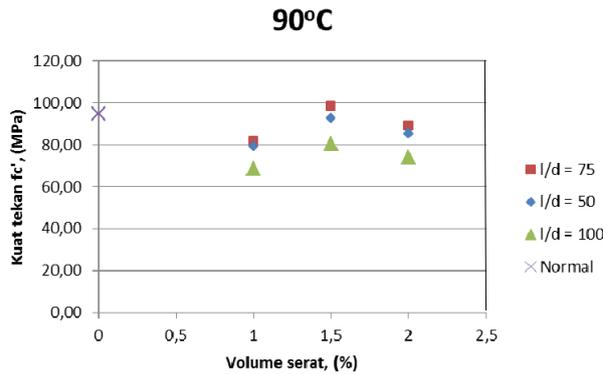
## 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengukuran yang telah dilakukan pada seluruh benda uji menunjukkan perawatan dengan penguapan pada temperatur  $90^\circ\text{C}$ , dapat menghasilkan beton dengan nilai kuat tekan yang lebih baik, apabila dibandingkan dengan beton yang dirawat dengan teknik perendaman biasa bertemperatur  $20^\circ\text{C}$ .

Kuat tekan maksimal yang mampu dicapai pada teknik perawatan penguapan ini sebesar 98,36 MPa, sedangkan dalam teknik perendaman bertemperatur  $20^\circ\text{C}$  kekuatan maksimal yang mampu dicapai sebesar 76,23 MPa seperti diperlihatkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



**Gambar 1. Grafik hubungan kuat tekan terhadap volume serat pada temperatur perawatan  $20^\circ\text{C}$**



Gambar 2. Grafik hubungan kuat tekan terhadap volume serat pada temperatur perawatan 90°C

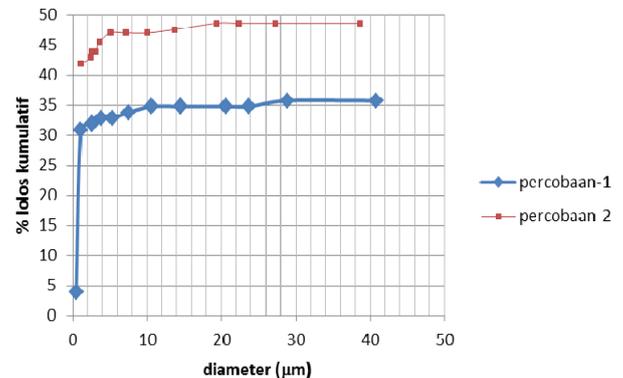
Terjadi penurunan nilai kuat tekan akibat penambahan serat kedalam campuran disebabkan oleh *workability* adukan yang menurun, penurunan *workability* disebabkan diameter serat yang terlalu besar, dalam penelitian ini diameter serat sebesar 0,3 mm, dimana sebaiknya diameter serat yang digunakan sebesar 0.1 mm. Diameter serat yang terlalu besar berakibat volume pori-pori yang dihasilkan semakin banyak sehingga menurunkan nilai kekuatan tekan beton. Namun demikian pada volume serat sebesar 1,5% dan aspek rasio  $l/d = 75$  kuat tekan beton kembali meningkat menyamai kuat tekan semula, dengan demikian aspek rasio ( $l/d$ ) dan volume serat dengan diameter serat yang besar mempengaruhi nilai kuat tekan beton RPC dan mempengaruhi tingkat kemudahan beton dalam pengadukan dan penuangan. Sebagai akibatnya serat dengan nilai  $l/d = 100$  memiliki nilai kuat tekan terendah dibandingkan nilai kuat tekan beton RPC dengan aspek rasio serat  $l/d = 50$  dan  $l/d = 75$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Volume serat juga berpengaruh terhadap kuat tekan contoh uji, dimana pada temperatur perawatan 90°C dengan metode penguapan memberikan nilai kuat tekan lebih baik bila dibandingkan dengan contoh uji yang direndam dalam air bertemperatur 20°C. Terjadi peningkatan kuat tekan sekitar 10% - 20% akibat penambahan serat baja ke dalam beton RPC.

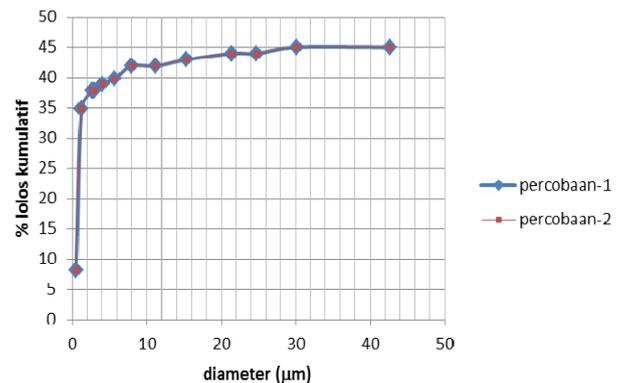
Perbedaan nilai kekuatan ini disebabkan pada proses perawatan penguapan, mempercepat terjadinya reaksi pozolanik yaitu reaksi antara produk hidrasi semen berupa portlandite (CH) dan silika dioksida ( $SiO_2$ ) dari *silica fume* membentuk calcium silikat hidrat (C-S-H) dari jenis tobermorite, sehingga volume C-S-H bertambah dan ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi kuat (Yazici et al., 2009).

Kekuatan sebuah beton didasarkan pada kepadatan dan kekerasan material penyusunnya. Kepadatan didasarkan pada gradasi susunan butiran dan ukuran butiran yang digunakan, dengan menggunakan ukuran butiran yang halus seperti tepung kuarsa dan *silica*

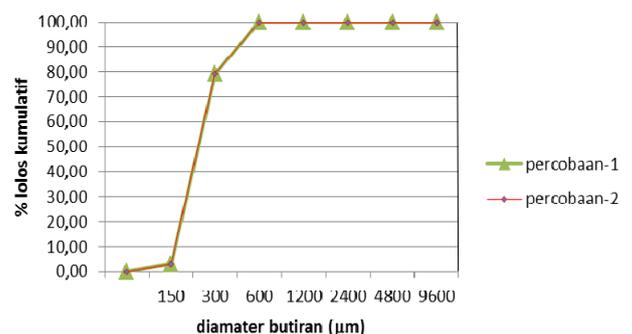
*fume* maka volume pori-pori terbentuk akan semakin kecil, hasil pemeriksaan ukuran dan gradasi butiran ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5. Penambahan tepung kuarsa tidak berdampak pada produksi calcium silikat hidrat namun berdampak pada pengisian rongga-rongga yang sangat halus.



Gambar 3. Gradasi dan ukuran butiran *silica fume*



Gambar 4. Gradasi dan ukuran butiran tepung kuarsa

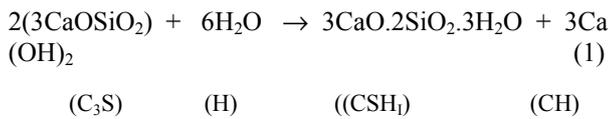


Gambar 5. Gradasi dan ukuran butiran pasir

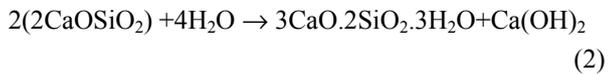
Kompaktibilitas juga dapat ditingkatkan dengan peningkatan kandungan calcium silikat hidrat terbentuk, kandungan calcium silikat hidrat pada RPC dapat ditingkatkan dengan salah satu cara adalah menambahkan material pozolanik seperti *silica fume* dan teknik perawatan. semakin banyak calcium silikat hidrat terbentuk maka akan semakin besar pula kekuatan yang mampu dicapai, hal ini disebabkan

jumlah kandungan pori-pori menjadi berkurang. Kandungan kalsium silikat hidrat terbentuk dapat ditingkatkan semakin banyak lagi bila beton dirawat menggunakan *steam curing*. Pemahaman kekuatan yang terbentuk dalam beton dimulai dari terjadinya proses hidrasi pada semen.

Reaksi hidrasi merupakan reaksi antara komponen utama semen dengan air. Komponen utama semen yang memberikan kontribusi terhadap kuat tekan adalah tri kalsium silikat (C<sub>3</sub>S) dan di kalsium silikat (C<sub>2</sub>S), dengan reaksi adalah sebagai berikut (Mindes et al., 2003):

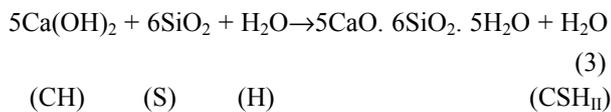


Tri kalsiumsilikat    Air    Kalsium silikat hidrat    Portlandite



Di kalsiumsilikat    Air    Kalsium silikat    Portlandite  
hidrat

Pada reaksi tersebut di atas terbentuk produk hidrasi adalah CSH dan CH, CSH merupakan material dengan nama amorphous atau non kristalin sedangkan CH merupakan kristal. CSH non Kristal ini merupakan produk utama dari reaksi hidrasi, CSH dari C<sub>3</sub>S terbentuk jauh lebih cepat dari yang terbentuk dari C<sub>2</sub>S. Menurut Taylor, (1997) produksi CSH hanya sebesar 30% pada usia 28 hari dan 90% pada usia satu tahun dari seluruh jumlah C<sub>2</sub>S yang ada. CSH dari reaksi pertama tersebut di atas akan bertambah jumlahnya dengan adanya silika reaktif yang berasal *silica fume*, *silica fume* ini menyebabkan terjadinya reaksi sekunder dengan CH membentuk CSH dengan struktur yang berbeda dari CSH pertama, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

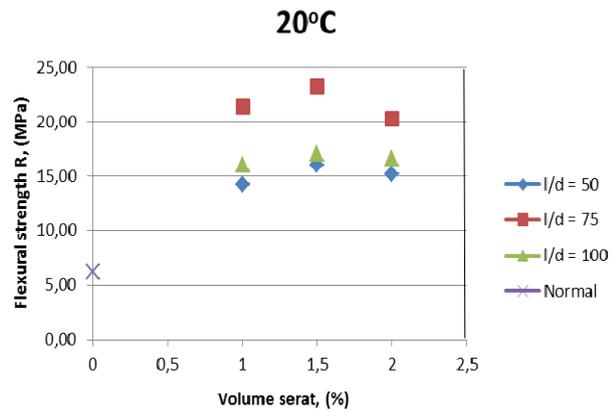


Penurunan panas hidrasi terjadi disebabkan reaksi antara SiO<sub>2</sub> *silica fume* bertemu dengan pasangannya yaitu salah satu produk hidrasi berupa portlandite atau kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>), dengan adanya pelepasan sejumlah panas dari reaksi hidrasi semen maka reaksi antara SiO<sub>2</sub> dengan Ca(OH)<sub>2</sub> dapat berlangsung lebih cepat diperlukan sejumlah panas, reaksi ini dikenal sebagai reaksi pozolanik seperti yang ditunjukkan dalam **Persamaan reaksi (3)**. Penambahan *silica fume* dalam campuran RPC menyebabkan panas hidrasi yang dilepaskan oleh semen diserap kembali untuk berlangsungnya reaksi pozolanik, sehingga dalam setiap pembuatan RPC penggunaan semen yang tinggi bukan merupakan

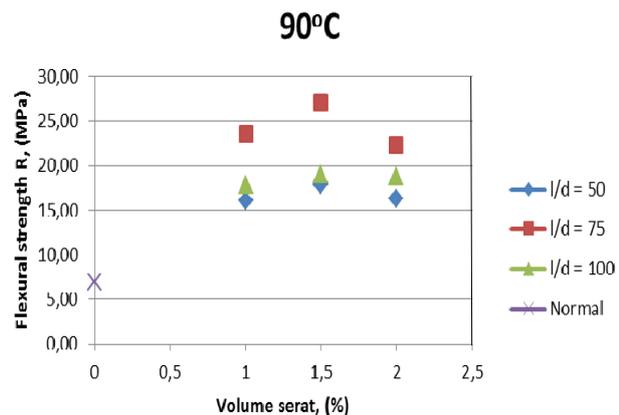
masalah bagi munculnya penyusutan ataupun tegangan termal karena selalu diikuti oleh penambahan jumlah *silica fume* yang tinggi pula. Hasil analisis ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Jo-Byung., et al., (2007). Dengan demikian pengeringan yang terlalu cepat terutama pada bagian permukaan campuran RPC akibat peningkatan temperatur selama berlangsungnya proses hidrasi dapat dikurangi dengan menambahkan *silica fume* ke dalam campuran RPC.

Penambahan *silica fume* dalam jumlah yang tinggi pada pembuatan RPC mempunyai dampak positif, pertama meningkatkan workabilitas campuran, kedua menurunkan panas hidrasi campuran, ketiga memperbaiki struktur mikro campuran yang berdampak pada peningkatan kuat desak beton RPC.

Penambahan serat baja ke dalam *reactive powder concrete (RPC)* sangat berpengaruh terhadap peningkatan kuat lentur RPC, seperti yang diperlihatkan dalam **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



**Gambar 6.** Grafik hubungan kuat lentur (*modulus of rupture*) terhadap volume serat pada temperatur perawatan 20°C



**Gambar 7.** Grafik hubungan kuat lentur (*modulus of rupture*) terhadap volume serat pada temperatur perawatan 90°C

Apek rasio memberikan kontribusi paling besar terhadap nilai kuat lentur dibandingkan volume serat, nilai optimum kuat lentur beton RPC ditunjukkan dengan aspek rasio  $l/d = 75$  dan volume serat 1,5 %, baik perawatan menggunakan teknik perendaman pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  maupun teknik perawatan menggunakan penguapan pada temperatur  $90^{\circ}\text{C}$ . Pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  kuat lentur optimum sebesar 23,17 MPa dan kuat lentur optimum pada temperatur perawatan  $90^{\circ}\text{C}$  sebesar 27,01 MPa, terjadi peningkatan sebesar 18%.

Peningkatan kuat lentur ini dapat dijelaskan dengan mengagap RPC menjadi sebuah material komposit dengan tegangan yang dapat dituliskan seperti **Persamaan (4)** (Hull and Clyne, 1996), sebagai berikut ini:

$$\sigma_c = V_f \sigma_f + (1 - f) \sigma_m \quad (4)$$

Dimana:  $\sigma_c$  = tegangan tarik komposit;  $\sigma_f$  = tegangan tarik serat;  $\sigma_m$  = tegangan tarik matrik;

$V_f$  = fraksi volume.

Model geser lag menjelaskan distribusi tegangan geser elastik pada fiber Model geser lag menjelaskan distribusi tegangan geser elastik pada fiber. Pada setiap serat gaya yang bekerja, terdistribusi sebagai tegangan tarik  $\sigma_{(x)}$  dan tegangan geser  $\tau_{(x)}$ . Jika panjang serat adalah  $l$  dan diameter  $d$ , pada kondisi setimbang gaya yang bekerja pada sebuah serat ( $T_f$ ) dapat dituliskan sebagai sebuah persamaan (Bentur and Mindess, 1990):

$$\int_0^{l/2} \left( \pi \cdot d \cdot \tau_{(x)} \cdot dx + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot d\sigma_{(x)} \right) = T_f \quad (5)$$

Ini yang mendasari nilai kuat lentur RPC dengan serat didalamnya menjadi lebih besar.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap beton RPC berpenguat serat baja lokal, dengan teknik perawatan penguapan tersebut diatas, diperoleh sebuah kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknik perawatan beton RPC dengan penguapan pada temperatur  $90^{\circ}\text{C}$ , mempercepat terjadinya reaksi hidrasi dan memicu reaksi pozolanik. Reaksi pozolanik ini membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) baru dari jenis tobermorite, sehingga volume C-S-H total yang terbentuk akibat reaksi hidrasi dan reaksi pozolanik menjadi bertambah. Pertambahan volume C-S-H yang terbentuk pada

beton RPC, berpengaruh pada peningkatan kuat tekan beton tersebut.

2. Kuat tekan maksimum yang mampu dicapai pada pembuatan beton RPC berpenguat serat baja lokal, teknik perawatan penguapan bertemperatur  $90^{\circ}\text{C}$  adalah sebesar 98,36 MPa dengan volume serat 1,5% dan aspek rasio  $l/d = 75$ .
3. Pada teknik perawatan perendaman bertemperatur  $20^{\circ}\text{C}$ , kuat tekan maksimum yang mampu dicapai adalah 76, 23 MPa dengan volume serat 1,5% dan aspek rasio  $l/d = 75$ .
4. Serat baja lokal atau produksi dalam negeri, mampu memberikan kontribusi yang baik pada kuat lentur dalam beton RPC. Penambahan serat baja lokal mampu meningkatkan kuat lentur beton RPC sebesar 300% - 400%.
5. Volume dan aspek rasio serat yang digunakan berpengaruh terhadap kuat lentur, akibat pengaruh tegangan tarik dan tegangan geser yang bekerja pada serat. Volume serat optimum yaitu sebesar 1,5% dan aspek rasio optimum sebesar  $l/d = 75$ , kuat lentur optimu yang dicapai adalah sebesar 27,01 MPa dengan volume serat 1,5% dan aspek rasio  $l/d = 75$ .
6. Penggunaan serat baja lokal memiliki kelemahan yaitu produk yang beredar di pasaran memiliki diameter cukup besar sebesar 0,3 mm, ukuran ini sangat mempengaruhi kemudahan beton dalam pengadukan dan penuangan, sehingga akan diperoleh beton dengan kekuatan yang menurun bila dibandingkan dengan beton normal tanpa serat.

## Daftar Pustaka

- Bentur, A., Mindess, S., 1990, *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, New York: Elsevier Applied Science.
- Hull, D. and Clyne, T.W., 1996, *An Introduction Composite Materials*, Cambridge University Press.
- Jo-Byung, W., Kim-Chang, H., Lim-Jae, H., 2007, Characteristics of Cement Mortar with Nano-SiO<sub>2</sub> Particles, *ACI Materials Journal*, ACI Materials Journal, July-Agustus.
- Mindes, S., Young, J.F.; Darwin, D., 2003, *Concrete*, U.S.A: Prentice Hall, Perason Education.

- Richard, P., Cheyrezy, M., 1995, *Composition of Reactive Powder Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol 25, No 7, pp 1501-1511, Pergamon.
- Taylor, H.F.W., 1997, *Cement Chemistry*, London:Thomas Telford Publishing.
- Yazici, H., Yardimci, M.Y., Aydin, S., Karabulut, 2009, *Mechanical Properties O Reactive Powder Concrete Containing Mineral Admixture Under Different Curing Regimes*, Construction and Building Materials, pp 1223-1231, Elsevier.