

# Effect of Cement- Fly Ash Ratio for Absorption and Sorptivity High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete

Sunarmasto<sup>1,a</sup>, STEFANUS Adi Kristiawan<sup>2,b</sup> and DUWI Santosa<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>SMARTCrete Research Group, Civil Engineering Department, Sebelas Maret University, Indonesia

<sup>2</sup>SMARTCrete Research Group, Civil Engineering Department, Sebelas Maret University, Indonesia

<sup>3</sup>Civil Engineering Department, Sebelas Maret University, Indonesia

[a.....](#), [sa\\_kristiawan@uns.ac.id](mailto:sa_kristiawan@uns.ac.id) (corresponding author), [mahfuzhridlo@gmail.com](mailto:mahfuzhridlo@gmail.com)

**Kata Kunci :** *Fly ash*, HVFA-SCC, Durabilitas, Absorpsi, Sorptivity

**Abstrak.** Penggunaan beton pada bangunan yang berhubungan langsung dengan air seperti atap beton, tangki air, dan daerah basement memerlukan beton yang kedap air. Peresapan ini terjadi saat air memasuki beton melalui pori dan rongga-rongga kapiler. Penggunaan high volume fly ash concrete (HVFA) mampu memperkecil ruang antar agregat dan membuat ruang antar partikel pada beton berkurang sehingga akan didapat kepadatan yang lebih baik dan akan mengurangi peresapan air pada beton. Penggunaan high volume fly ash-self compacting concrete atau HVFA-SCC dengan penggunaan fly ash minimal 50% dan menggunakan self compacting concrete diharapkan dapat meningkatkan performa beton. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variasi kadar fly ash 50%, 55%, 60%, 65% dan 70% dari berat binder. Nilai absorpsi ditentukan dengan menggunakan standar ASTM C642 97 dengan cara menghitung prosentasi antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (saturated Surface dry), digunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 10 cm sebanyak 5 buah. Tingkat penyerapan (sorptivity) diukur untuk menentukan koefisien sorptivity (initial absorpsi dan secondary absorpsi) dengan menggunakan standar ASTM C1585 – 4, digunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 5 cm sebanyak 5 buah. Pengambilan data benda uji nilai absorpsi dan sorptivity dilakukan pada saat beton umur 7 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari dengan variasi rasio semen – fly ash 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan fly ash dengan kadar 55% menghasilkan nilai absorpsi dan koefisien sorptivity yang paling kecil pada saat beton umur 7 hari dan 28 hari, tetapi pada saat beton umur 56 hari dan 90 hari beton dengan penggantian sebagian semen dengan fly ash dengan kadar 65% menghasilkan nilai absorpsi dan koefisien sorptivity yang paling kecil dan menghasilkan nilai absorpsi dan koefisien sorptivity yang optimum.

## Pendahuluan

Beton merupakan material utama untuk konstruksi yang banyak digunakan di seluruh dunia. Semakin meluasnya penggunaan beton dan makin meningkatnya pembangunan menunjukkan juga semakin banyak kebutuhan beton di masa yang akan datang. Penggunaan beton ini yang sangat besar (bersifat *konsumtif*), maka harus ada inovasi-inovasi tentang material penyusun beton yang akan digunakan, salah satunya adalah penggunaan *fly ash*. *Fly ash* adalah salah satu bahan tambahan yang berasal dari material sisa pembakaran batu bara yang umumnya terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Limbah ini dapat dimanfaatkan untuk konstruksi yaitu sebagai pengganti sebagian semen *portland* pada campuran beton (Fandhi, 2009). Penggunaan *fly ash* juga dapat difungsikan sebagai *pozzolan* yang dapat bereaksi dengan kapur (CaOH) pada beton. Sebagaimana diketahui hasil utama dari proses hidrasi semen tersebut adalah  $C_3S_2H_3$  (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas  $Ca(OH)_2$ , yang merupakan sisa dari reaksi antara  $C_3S$  dan  $C_2S$  dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton, karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan proses korosi pada beton. Unsur silikat dan aluminat sebagai unsur dari *fly ash* yang reaktif akan bereaksi dengan kapur padam aktif ( $Ca(OH)_2$ ) yang merupakan hasil sampingan dari proses hidrasi antara semen portland dan air menjadi kalsium silikat hidrat ( $C_3S_2H_3$  atau "*tobermorite*"). Sisa *Fly ash* juga dapat berfungsi sebagai *filler* pada campuran beton, dengan demikian pori-pori pada beton dapat berkurang sehingga dengan berkurangnya kandungan pori-pori pada beton maka diharapkan beton lebih padat dan penyerapan air dapat berkurang.

Penggunaan beton normal memiliki kekurangan salah satunya pada tahap pengecoran. Kondisi desain konstruksi yang padat tulangan pada penggunaan beton konvensional sudah tidak memadai, karena tidak memungkinkan alat *vibrator* mencapai daerah padat pada tulangan tersebut. Padahal dalam pekerjaan konstruksi beton, pemadatan beton adalah hal yang penting untuk dilakukan. Tujuannya adalah untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogen dan tidak terjadi rongga-rongga di dalam beton, sehingga dibutuhkan beton khusus yang dapat mencapai konstruksi yang padat tulangan salah satu teknologinya adalah penggunaan beton yang dapat memadat mandiri yaitu beton dengan teknologi SCC (*self compacting concrete*).

*High volume fly ash self-compacting concrete* merupakan perpaduan dari teknologi beton HVFA dan *Self Compacting Concrete* (SCC). Bentuk butiran *fly ash* yang bulat akan meningkatkan *workability* beton segar sehingga kemampuan beton untuk mengalir akan lebih baik dengan penggunaan faktor air semen yang lebih kecil, dengan menggunakan beton tipe HVFA-SCC yang mengganti sebagian semen dengan *fly ash* beton ini memiliki kedekatan yang sangat tinggi dan mempunyai rongga pori yang sedikit dan kecil sehingga beton lebih *durable*.

## Bahan dan Metode Penelitian

### Proporsi Bahan

Semen yang digunakan adalah *portland pozzolanic cement* (PPC) sedangkan *fly ash* yang digunakan diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Cilacap. Komposisi senyawa kimia *fly ash* yang didapat dari uji XRF ditunjukkan pada Tabel 1. *Fly ash* digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan volume penggantian 50%, 55%, 60%, 65% dan 70% dari total berat binder (semen + *fly ash*). Agregat kasar yang digunakan menggunakan kerikil dengan ukuran maksimal 10 mm dengan *bulk specific gravity* sebesar 2,513 gr/cm<sup>3</sup>. Agregat kasar memenuhi syarat gradasi sesuai dengan ASTM C33 dengan modulus halus 6,028. Sementara agregat halus memiliki *bulk specific gravity* 2,50 gr/cm<sup>3</sup> dan modulus halus 2,97 serta memenuhi syarat gradasi maupun syarat kandungan bahan organik/lumpur sesuai dengan ASTM C33. Komposisi campuran beton selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Komposisi senyawa Kimia

| Senyawa kimia                   | Satuan | konsentrasi |
|---------------------------------|--------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>                | %      | 44,86       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | %      | 23,87       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | %      | 15,27       |
| CaO                             | %      | 7,07        |
| MgO                             | %      | 2,08        |
| TiO <sub>2</sub>                | %      | 1,76        |
| K <sub>2</sub> O                | %      | 1,17        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | %      | 0,79        |
| Cl                              | %      | 0,77        |
| SrO                             | %      | 0,42        |
| MnO                             | %      | 0,23        |
| ZrO <sub>2</sub>                | %      | 0,21        |
| ZnOCeO <sub>2</sub>             | %      | 0,14        |
| CeO <sub>2</sub>                | %      | 0,13        |
| Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> | %      | 0,11        |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | %      | 0,07        |
| NiO                             | %      | 0,06        |
| CuO                             | %      | 0,05        |
| SnO <sub>2</sub>                | %      | 0,03        |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | %      | 0,03        |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | %      | 0,03        |
| PbO                             | %      | 0,02        |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | %      | 0,01        |
| Rb <sub>2</sub> O               | %      | 0,01        |

Tabel 2 Komposisi Campuran

| Kode         | Kadar<br>Fly Ash | Semen<br>(Kg) | Fly Ash<br>(Kg) | Kerikil<br>(Kg) | Pasir<br>(Kg) | Air<br>(Kg) | Sp<br>(Kg)    |
|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|
| C-A0         | 0%               | 768.6         | 0               | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| C-A50        | 50%              | 384.3         | 384.3           | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| C-A55        | 55%              | 422.73        | 345.87          | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| C-A60        | 60%              | 461.16        | 307.44          | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| C-A65        | 65%              | 499.59        | 269.01          | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| C-A70        | 70%              | 538.02        | 230.58          | 709.8           | 595.35        | 231         | 7.686         |
| <b>Total</b> |                  | <b>3074.4</b> | <b>1537.2</b>   | <b>4258.8</b>   | <b>3572.1</b> | <b>1386</b> | <b>46.116</b> |

### Benda Uji dan Pengetesan

Setiap variasi campuran dari benda uji direndam didalam air sampai pengujian dilakukan. Waktu pengetesan ditentukan selama 7, 28, 56, dan 90 hari. Dimensi dan tata cara pengujian sesuai dengan setandar yang digunakan, untuk absorpsi menggunakan standar ASTM C642-97 dan untuk pengujian Sorptivity menggunakan standar ASTM C1585-04.

#### Absorpsi (ASTM C642-97)

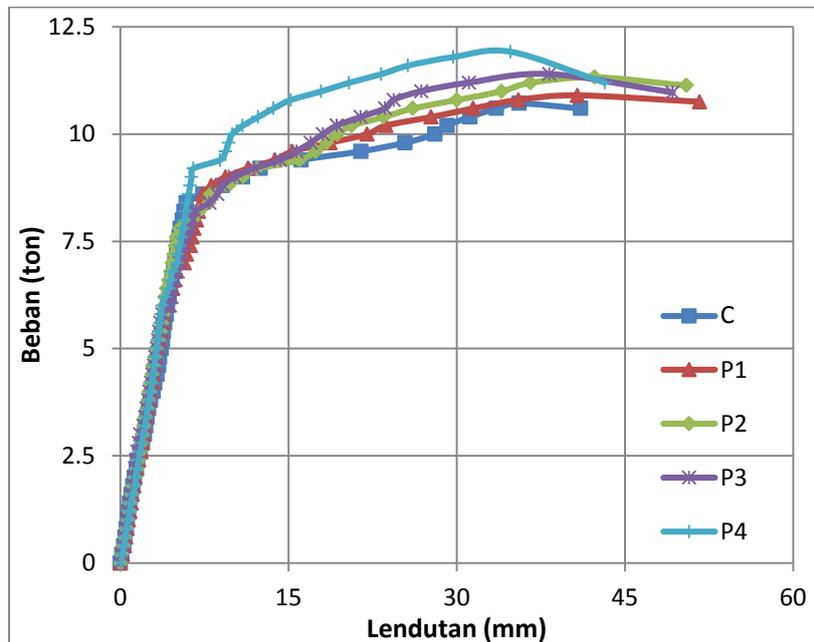
Absorpsi diukur dengan menghitung prosentasi antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (*saturated Surface dry*) dan percobaan ini dilakukan dengan merendam benda uji seluruhnya sehingga air masuk secara bebas melalui pori pada beton. Benda uji berjumlah 5 buah berbentuk silinder dengan diameter 7,5 mm dan tebal 100 mm untuk setiap vareasi campuran dan waktu pengetesan. Pengukuran massa dari benda uji ditentukan sesuai dengan yang tertera pada standar.

#### Sorptivity (ASTM C1585-04)

Benda uji berjumlah 5 buah berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tebal 50 mm untuk setiap vareasi campuran dan waktu pengetesan. Benda uji dimasukkan didalam oven dengan suhu 50°C dengan RH 80% selam 3 hari, kemudian ditempatkan pada kontainer tertutup selam 15 hari pada suhu ruangan yang bertujuan menyeimbangkan kelembaban didalam benda uji. Benda uji diséal dengan menggunakan plastik pada bagian atas permukaan dan pada bagian samping permukaan diséal dengan menggunakan material epoxy. Pada bagian yang terexpose dibiarkan untuk dilakukan pengukuran resapan air selama 8 hari periode pengukuran. Perubahan massa pada benda uji selama pengukuran digunakan untuk menentukan initial dan secondary tingkat penyerapan pada beton.

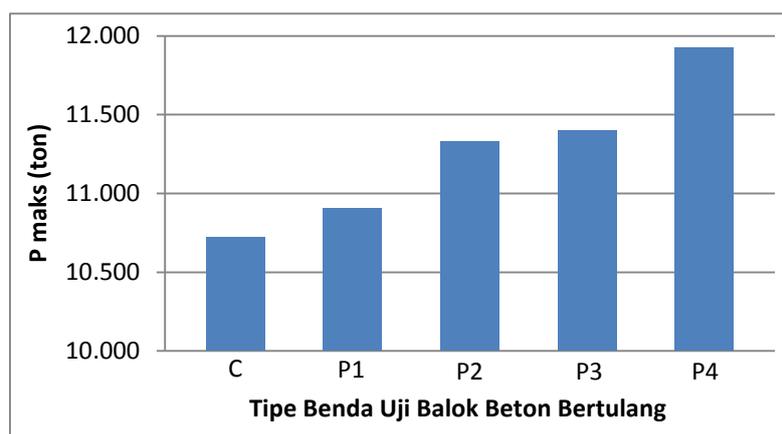
### Hasil dan Pembahasan

**Beban-Lendutan.** Hasil pembacaan beban dan lendutan dari hasil pengujian lentur diplot ke dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 7. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada beban awal, perilaku beban dan defleksi balok yang ditambah dengan balok kontrol hampir sama, namun setelah mencapai batas leleh perilaku beban dan defleksi setiap balok berubah. Adanya penambalan dengan material UPR-Mortar yang dilakukan variasi panjang penambalan mempengaruhi pola retak yang terjadi. Retak pada balok beralih pada posisi yang tidak mengalami penambalan. Akibat persebaran retak yang tidak merata maka kepadatan daerah beton pun tidak sama sehingga kekuatan dalam memikul beban berbeda. Adanya perbedaan konsentrasi dalam memikul beban menyebabkan daktilitas balok bertambah, sehingga defleksi akhir pada saat runtuh dari balok yang ditambah lebih besar dibandingkan dengan balok kontrol. Penggunaan UPR-Mortar sebagai bahan penambalan dengan dilakukan variasi panjang memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan balok dalam menahan beban maksimum. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa semakin panjang penambalan, semakin besar beban maksimum yang dapat diterima.



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji balok

Dari hasil penjelasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kesamaan perilaku balok yang ditambah dengan balok kontrol pada beban awal menunjukkan bahwa dari 5 (lima) buah benda uji balok memiliki kekakuan yang hampir sama. Kekakuan adalah parameter yang berhubungan dengan deformasi dari suatu elemen struktur akibat adanya beban. Parameter ini berkorelasi dengan modulus elastisitas dari suatu elemen. Pada dasarnya materi dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi akan memberikan kekakuan yang lebih tinggi sehingga deformasi yang terjadi lebih rendah dan sebaliknya sebagaimana ditegaskan oleh Mangat dan O'Flaherty [3]. Hal tersebut tidak berlaku untuk balok beton bertulang yang ditambah dengan UPR-Mortar. Meskipun modulus elastisitas material penambalan UPR-Mortar lebih rendah dibandingkan beton induk, tetapi kekakuan yang diamati hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa balok yang ditambah memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah namun diimbangi dengan perilaku retak yang terjadi karena adanya penambalan. Sedangkan perbedaan perilaku balok pada akhir pembebanan menunjukkan perbedaan daktilitas dari setiap balok. Balok yang ditambah memiliki daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan balok kontrol. Selain itu, penggunaan UPR-Mortar sebagai bahan penambalan dengan dilakukan variasi panjang memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan balok dalam menahan beban maksimum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari diagram tersebut dapat dilihat bahwa kemampuan balok dalam menahan beban maksimum meningkat sebanding dengan pertambahan panjang penambalan dibandingkan dengan balok kontrol.



Gambar 8. Diagram perbandingan beban maksimum dari benda uji balok

**Pola Retak.** Gambar. 9-13 menunjukkan pola retak dari benda uji balok beton bertulang dalam penelitian ini. Berdasarkan pola retak yang terjadi dapat dilihat bahwa pada balok control (C), pola retak awal terjadi pada posisi tengah bentang kemudian menyebar disetiap sisi balok seiring dengan penambahan pembebanan hingga terjadinya keruntuhan. Sedangkan pada balok beton bertulang yang ditambal dengan UPR-Mortar terlihat bahwa pola retak awal terjadi diluar daerah penambalan. Untuk pola keruntuhan, dari semua benda uji balok berada pada  $1/3$  bentang tengah. Pada balok normal pola keruntuhan terlihat merata pada bagian tengah bentang, hal ini berbeda dengan pola keruntuhan pada balok yang ditambal. Pola keruntuhan pada balok yang ditambal mulai terlihat setelah material penambalan UPR-Mortar mengalami retak yang menjadikan titik lemah sehingga retak berlanjut pada beton di atasnya dan mulailah terbentuk pola keruntuhan pada  $1/3$  bentang tengah balok.

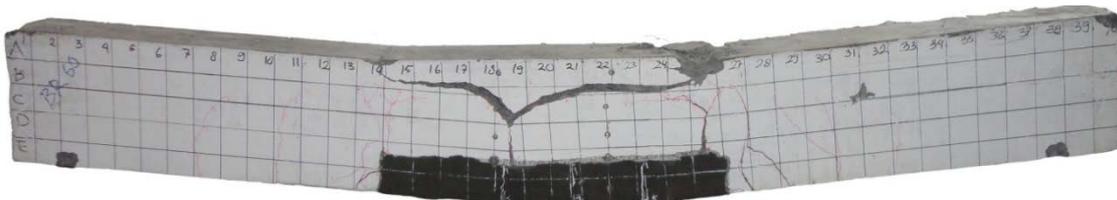
Material UPR-Mortar sebagai bahan penambalan pada penelitian ini mengalami retak pertama berkisar pada beban 6 ton sedangkan untuk beton normal mengalami retak pertama berkisar pada beban 2 ton. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material UPR-Mortar sebagai bahan penambalan mampu meningkatkan kuat tarik balok yang membuat retak awal balok yang ditambal terjadi diluar daerah penambalan. Dari pola retak yang terjadi, penggunaan variasi panjang penambalan ikut berperan mengubah pola retak yang terjadi. Semakin panjang penambalan, retak yang terjadi pada balok semakin sedikit. Dengan berkurangnya retak yang terjadi akibat penambalan membuat daerah penampang balok yang utuh/tidak mengalami retak lebih besar sehingga mempengaruhi kekakuan balok. Kekakuan balok dengan retak yang lebih sedikit akan lebih besar. Kekakuan balok yang timbul karena perilaku retak ini dapat menyeimbangkan pengaruh modulus elastisitas yang rendah dari material penambalan seperti yang disebutkan sebelumnya.



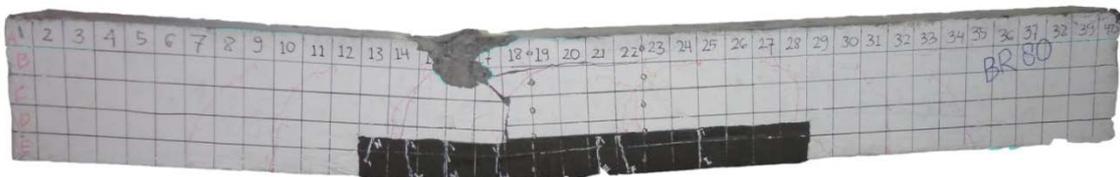
Gambar 9. Pola Retak Benda Uji Balok Kontrol (C)



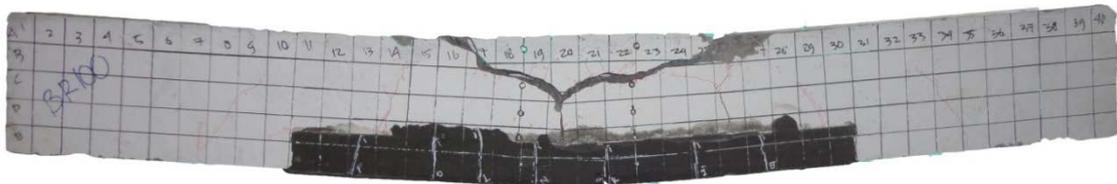
Gambar 10. Pola Retak Benda Uji Balok dengan Panjang Penambalan 400mm (P1)



Gambar 11. Pola Retak Benda Uji Balok dengan Panjang Penambalan 600mm (P2)



Gambar 12. Pola Retak Benda Uji Balok dengan Panjang Penambalan 800mm (P3)



Gambar 13. Pola Retak Benda Uji Balok dengan Panjang Penambalan 1000mm (P4)

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian secara eksperimental ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Perilaku lentur balok beton bertulang yang ditambal dengan UPR-Mortar menunjukkan kekakuan yang hampir sama dengan balok kontrol. Namun dilihat dari perilaku setelah mengalami leleh hingga terjadi keruntuhan, balok beton bertulang yang ditambal menunjukkan perilaku yang lebih daktail.
- Penggunaan UPR-Mortar sebagai material penambalan dengan dilakukan variasi panjang penambalan memberikan pengaruh terhadap kemampuan balok dalam menahan beban maksimum yang sebanding dengan pertambahan panjang penambalan dibandingkan dengan balok kontrol.
- Penggunaan UPR-Mortar sebagai material penambalan dengan dilakukan variasi panjang penambalan ikut berperan mengubah pola retak yang terjadi. Semakin panjang penambalan, retak yang terjadi pada balok semakin sedikit.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan dukungan keuangan dari DIPA PNBPN UNS 2014 melalui skema Hibah Unggulan Fakultas.

## Referensi

- [1] Kristiawan, S.A., 2011, Menambal Beton dengan UPR, Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [2] JSCE, 2007, Standart Specification for concrete structures – Maintenance, Japan Society of Civil Engineering, Tokyo.
- [3] O. Rio, C. Andrade, D. Izquierdo dan C. Alonso : Journal of Materials in Civil Engineering Vol. 17 No.2 (2005), p. 168-177.
- [4] D.C. Teychene, R.E. Franklin dan H.C. Erntroy, 1997, Design of normal concrete mixes. Second Edition, Building Research Establishment Ltd, Garston, Watford, UK.
- [5] P.S. Mangat dan F.J.O'Flaherty : Cement and Consrete Research Vol.30 (2000), p. 125-136.