

HUBUNGAN ANTARA KUAT TEKAN DAN FAKTOR AIR SEMEN PADA BETON YANG DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND-POZZOLAN

I Made Alit Karyawan Salain¹ dan I.B. Rai Widiarsa¹

Abstrak: Hubungan antara kuat tekan (σ'_b) dan faktor air semen (fas) pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland-pozzolan (PPC) telah diteliti pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari. Sebagai pembanding digunakan beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland tipe I (PC). Campuran beton ditetapkan dalam perbandingan berat, antara semen : agregat halus : agregat kasar sebesar 1 : 2 : 3 dengan variasi fas : 0,4, 0,5, 0,7 dan 0,9. Untuk uji tekan digunakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dimana untuk satu umur uji dan nilai fas dibuat 3 (tiga) buah benda uji. Pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan dengan tata cara standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara σ'_b dan fas pada beton dengan PPC mengikuti hukum Duff Abrams yaitu kuat tekan berkurang secara exponential dengan meningkatnya nilai faktor air semen. Pada umur awal kuat tekan beton dengan PPC lebih rendah dari beton dengan PC, namun lebih tinggi setelah melampaui umur 7 hari. Pada penggunaan nilai faktor air semen antara 0,4 sampai 0,9, perbedaan kuat tekan yang dihasilkan oleh beton yang dibuat dengan PPC dan PC hanyalah sekitar 1-17% dan 3-26% berturut-turut pada umur 28 dan 90 hari.

Kata kunci: PPC, kuat tekan, faktor air semen.

RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSION STRENGTH AND WATER CEMENT RATIO OF CONCRETE MADE BY USING POZZOLAN- PORTLAND CEMENT

Abstract: The relation between compression strength (σ'_b) and water cement ratio (w/c) for concrete made by using Pozzoland-Portland Cement (PPC) has been studied at age of 3, 7, 28 and 90 days. As a control, it was used concrete made by using type I Portland Cement (PC). The mixture of concrete was 1:2:3 by mass and w/c was varied: 0.4, 0.5, 0.7 and 0.9. The compression strength was determined by using cylinders with 150 mm diameter and 300 mm height. Three samples were used for strength test for each w/c and age. The result of this study shows that the relation between σ'_b and w/c for concrete made by using PPC follows Duff Abrams law that is the compression strength exponentially decreases by the increase of w/c. At early age, concrete made by using PPC produces lower strength than made by using PC, but higher after 7 days of hydration. At the use of w/c from 0.4 until 0.9, concrete with PPC gives about 1-17% and 3-26% more compression strength than with PC respectively at 28 and 90 days.

Keywords: PPC, compression strength, w/c.

PENDAHULUAN

Dalam teknologi beton, kekuatan, khususnya kuat tekan, adalah merupakan properti dari beton yang paling di

perhatikan oleh rekayasawan karena berhubungan langsung dengan kemampuan dari material tersebut untuk menahan beban-beban yang bekerja.

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

Diketahui bahwa kuat tekan beton banyak dipengaruhi oleh bahan pembentuknya sehingga kontrol kualitas dari bahan-bahan tersebut maupun komposisinya di dalam beton harus diperhitungkan dengan seksama agar diperoleh beton sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk dapat membuat beton sesuai dengan kualitas yang direncanakan disyaratkan bahwa komposisi beton selanjutnya ditentukan melalui analisis yang dalam teknologi beton disebut Rancangan Campuran Beton (Concrete Mix Design). Salah satu tahapan dalam rancangan tersebut adalah menentukan nilai faktor air semen (fas) yang merupakan perbandingan antara jumlah air bebas dan jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton. Nilai fas ini dapat diprediksi dengan menggunakan kurva yang menghubungkan kuat tekan beton (σ'_b) dan fas.

Standar yang ada biasanya menyediakan kurva-kurva hanya untuk beton yang direncanakan menggunakan tipe semen portland yang umum (SK SNI T-15-1990-03). Padahal saat ini semen portland-pozzolan, yang mempunyai karakteristik berbeda dengan semen portland umum (Mehta, 1986; Murdock and Brook, 1986; Neville and Brooks, 1998; SNI 15-2049-1994; SNI 15-0302-1994) telah banyak digunakan dalam jasa konstruksi (Semen Gresik Group, 1997). Hal ini menimbulkan

pertanyaan apakah kurva-kurva yang tersedia di dalam peraturan masih tetap layak digunakan untuk memprediksi nilai fas dari beton yang direncanakan.

Mengingat kondisi aktual di atas, dalam penelitian ini akan dicari hubungan antara σ'_b dengan fas pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland-pozzolan. Sebagai pembandingan dibuat juga beton dengan memakai semen portland tipe I.

MATERI DAN METODE

Materi

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan untuk campuran beton normal yang terdiri dari air, semen, agregat halus dan agregat kasar. Air untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM yang ada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk perekat hidrolik digunakan dua macam semen dari produsen yang sama : semen portland-pozzolan tipe IP-U (PPC) dan semen portland tipe I (PC). Sebagai agregat halus digunakan pasir yang berasal dari industri pemecahan batu sedangkan untuk agregat kasar digunakan batu pecah dengan diameter maksimum 40 mm.

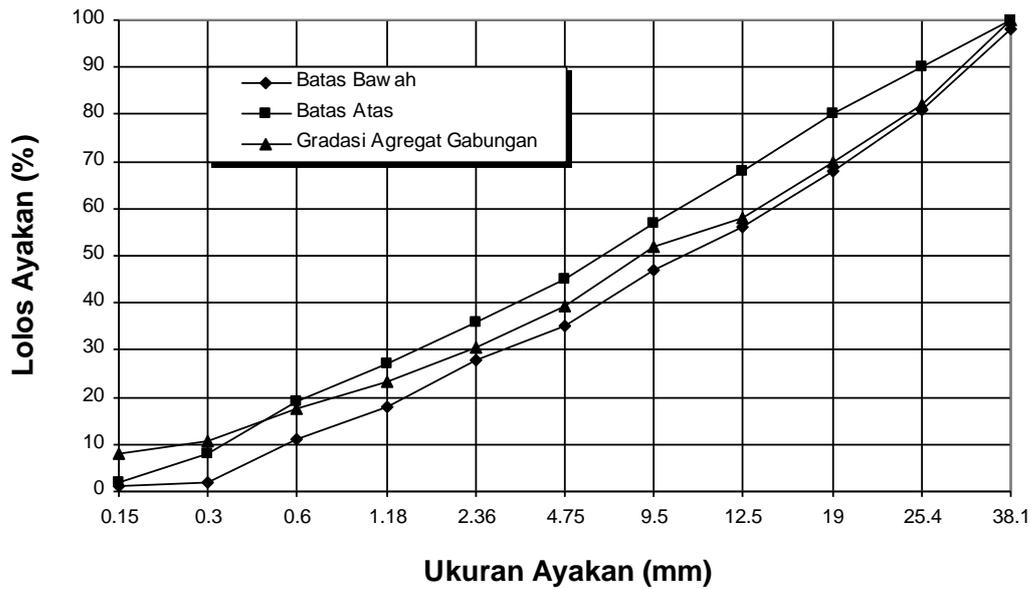
Beberapa sifat fisik dari semen, agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dicantumkan di dalam Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik dari semen, agregat halus dan agregat kasar

| Sifat Fisik \ Bahan | PPC | PC | Agregat Halus | Agregat Kasar |
|-----------------------------------|------|------|---------------|---------------|
| Berat Satuan (kg/l) | 1,21 | 1,30 | 1,46 | 1,37 |
| Berat Jenis SSD | - | - | 2,56 | 2,39 |
| Penyerapan Air (%) | - | - | 1,36 | 3,72 |
| Kadar Lumpur (%) | - | - | 4,44 | 1,20 |
| Kadar Air (%) | - | - | 7,30 | 3,02 |
| Kekerasan dengan Los | - | - | - | 38,60 |

Sedangkan pada Gambar 1 ditunjukkan gradasi dari agregat gabungannya terhadap ketentuan standar SK SNI T-15-1990-03

untuk agregat dengan diameter maksimum 40 mm.



Gambar 1. Gradasi agregat gabungan

Metode

Untuk masing-masing tipe semen dibuat benda uji beton berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan berat yang konstan antara semen : agregat halus : agregat kasar, yaitu sebesar 1 : 2 : 3. Nilai fas yang digunakan adalah 0,4, 0,5, 0,7 dan 0,9. Pencampuran beton dilakukan dengan mesin pencampur dimana sebelum dicampur agregat disiapkan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD).

Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetaknya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetaknya untuk selanjutnya mendapatkan perawatan. Perawatan dilaksanakan dengan merendam benda uji dalam air sampai dengan waktu yang ditentukan untuk uji kuat tekan : 3, 7, 28 dan 90 hari, dengan menggunakan masing-masing 3 benda uji. Sebelum pengujian, benda uji di *capping* untuk mendapatkan permukaan yang rata.

Dari informasi nilai fas yang ditetapkan dan nilai kuat tekan yang dihasilkan untuk berbagai umur uji selanjutnya dilakukan analisis untuk mencari hubungan antara

σ'_b dan fas pada berbagai umur. Hal ini dilakukan baik pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC maupun dibuat dengan PC. Dalam analisis tersebut digunakan nilai rata-rata σ'_b yang diperoleh dari benda uji yang telah memenuhi syarat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan pada berbagai umur uji untuk masing-masing variasi nilai faktor air semen disajikan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 akan terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan beton dengan peningkatan nilai fas, namun dengan bertambahnya umur, untuk suatu nilai fas, terjadi peningkatan kuat tekan. Selisih peningkatan kuat tekan yang terjadi secara umum lebih besar pada penggunaan fas rendah. Hal ini terjadi baik pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC maupun yang menggunakan PC.

Tabel 2. Kuat tekan beton pada berbagai umur uji dan faktor air semen

| Umur (hari) | Kuat tekan (MPa) | | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Faktor air semen | | | | | | | |
| | 0,4 | | 0,5 | | 0,7 | | 0,9 | |
| | PPC | PC | PPC | PC | PPC | PC | PPC | PC |
| 3 | 20,10 | 22,84 | 14,81 | 14,63 | 5,75 | 6,32 | 2,93 | 3,11 |
| 7 | 24,82 | 29,94 | 22,55 | 21,23 | 6,42 | 7,64 | 3,77 | 5,47 |
| 28 | 41,12 | 37,27 | 30,48 | 28,03 | 12,08 | 10,57 | 8,59 | 5,95 |
| 90 | 45,45 | 43,03 | 34,25 | 33,59 | 15,95 | 15,19 | 10,95 | 8,68 |

Hubungan antara kuat tekan dan fas

Hubungan antara σ'_b dan fas pada berbagai umur uji diturunkan melalui analisis regresi dengan menggunakan bentuk persamaan sesuai dengan yang diusulkan oleh Duff Abrams [Mehta,1986; Murdock and Brook, 1986], sebagai berikut :

$$\sigma'_b = \frac{A}{B^{1,5fas}}$$

dimana A dan B adalah konstanta.

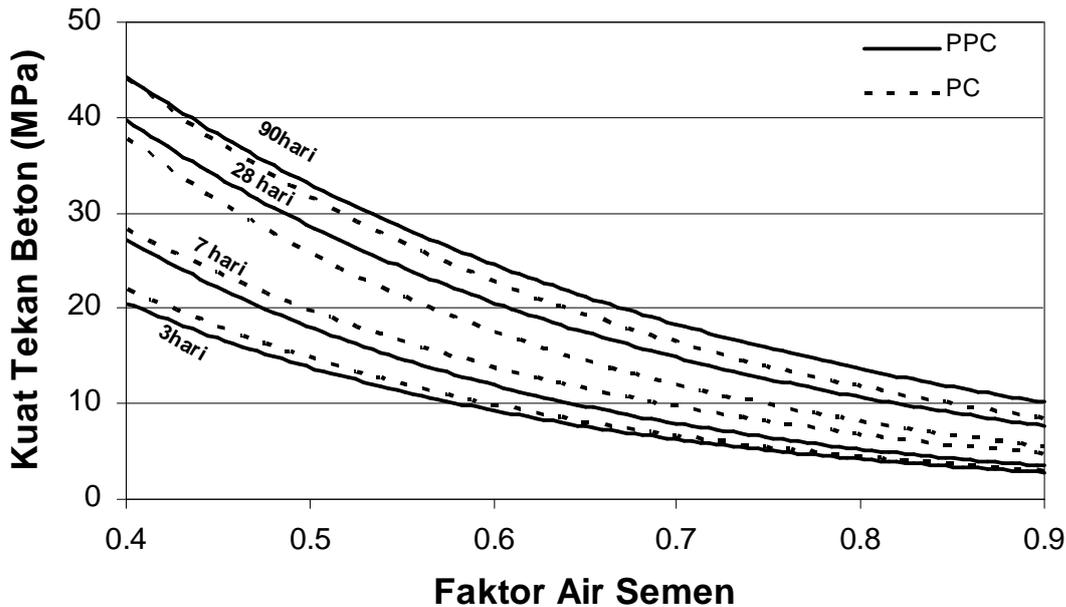
Persamaan yang diperoleh dari analisis tersebut beserta nilai korelasinya diberikan pada Tabel 3. Pada tabel tersebut, terlihat bahwa rumusan yang diusulkan oleh Duff Abrams menggambarkan dengan baik hasil yang diperoleh pada penelitian ini.

Tabel 3. Hasil analisis regresi faktor air semen dan kuat tekan beton pada berbagai umur uji

| Umur Uji (Hari) | PPC | | PC | |
|-----------------|---|-------|---|-------|
| | Persamaan Regresi | R | Persamaan Regresi | R |
| 3 | $\sigma'_b = \frac{100.650}{14.116^{1,5fas}}$ | 0.998 | $\sigma'_b = \frac{109.024}{14.297^{1,5fas}}$ | 1.000 |
| 7 | $\sigma'_b = \frac{141.514}{15.570^{1,5fas}}$ | 0.983 | $\sigma'_b = \frac{117.066}{10.665^{1,5fas}}$ | 0.995 |
| 28 | $\sigma'_b = \frac{148.312}{8.959^{1,5fas}}$ | 0.996 | $\sigma'_b = \frac{174.432}{12.779^{1,5fas}}$ | 0.997 |
| 90 | $\sigma'_b = \frac{144.040}{7.113^{1,5fas}}$ | 0.997 | $\sigma'_b = \frac{164.757}{9,049^{1,5fas}}$ | 0.998 |

Kurva yang menggambarkan hubungan antara σ'_b dan fas pada berbagai umur uji yang didapat dari hasil analisis regresi tersebut, selanjutnya ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut terlihat bahwa kuat tekan berkurang secara exponential dengan meningkatnya nilai fas. Hal ini terjadi baik pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC maupun dengan menggunakan PC.

Selanjutnya terlihat juga bahwa pada usia awal (3 dan 7 hari), beton yang dibuat dengan menggunakan PPC menghasilkan kuat tekan relatif lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan PC. Namun demikian setelah umur hidrasi bertambah, beton yang dibuat dengan menggunakan PPC mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.



Gambar 2. Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen pada berbagai umur

Dari hasil regresi diperoleh bahwa untuk nilai fas antara 0,4 sampai 0,9, beton dengan PPC menghasilkan kuat tekan lebih tinggi 1-17% dibandingkan dengan beton dengan PC pada umur 28 hari dan menjadi lebih tinggi 3-26% pada umur 90 hari.

Pembahasan

Kuat tekan beton berhubungan erat dengan waktu hidrasi, nilai fas yang digunakan pada saat mencampur beton dan jenis semen yang digunakan.

Wajar bahwa waktu hidrasi berhubungan dengan kekuatan beton : semakin bertambah umur beton semakin tinggi kekuatan beton yang dihasilkan walaupun dengan peningkatan kekuatan yang semakin kecil. Hal ini berkaitan dengan proses pengerasan yang terjadi di dalam pasta semen yang mana terkait dengan reaktivitas dari masing-masing senyawa pembentuk semen. Selain itu, hal tersebut juga disebabkan karena proses hidrasi semakin sulit dilaksanakan berkaitan dengan semakin meningkatnya jumlah produk hidrasi dan berkurangnya jumlah air atau akses yang tersedia untuk melangsungkan reaksi.

Di sisi lain dicatat bahwa peningkatan nilai fas menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton yang dihasilkan. Diketahui bahwa jumlah air yang digunakan dalam adukan beton berhubungan dengan jumlah dan ukuran pori yang terbentuk dalam beton. Semakin banyak air yang digunakan untuk mengaduk beton (nilai fas meningkat) maka jumlah dan ukuran pori yang terbentuk semakin besar sehingga struktur beton menjadi semakin porous yang mana akhirnya akan menghasilkan beton dengan kuat tekan rendah [Mehta, 1986; Murdock and Brook, 1986; Dreux et Festa, 1995; Neville and Brooks 1998].

Pada usia hidrasi yang panjang, penggunaan PPC pada beton dapat memberikan kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton yang dibuat dengan menggunakan PC. Dibandingkan dengan PC, umumnya proses hidrasi PPC, karena mengandung pozzolan, berjalan perlahan sehingga perkembangan kekuatannya juga akan berlangsung lambat. Dengan bertambahnya umur, reaksi pozzolanik yang terjadi berikutnya, antara silika dan alumina aktif dari pozzolan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan dari hidrasi C_3S

dan C_2S pada semen portland, akan menambah jumlah produk hidrasi yang dihasilkan (C-S-H dan C-A-S-H) sehingga menyebabkan kekuatan beton dengan PPC mampu melampaui kekuatan yang dihasilkan oleh beton dengan PC. Peristiwa ini terjadi setelah beton berumur lebih dari 7 hari. Namun demikian pada umur 28 hari dan pada penggunaan nilai fas sebesar 0,4 sampai 0,6, peningkatan kuat tekan yang terjadi tidaklah terlalu tinggi, hanya sebesar 1-7%. Hal ini menunjukkan bahwa untuk nilai fas yang umum, beton yang dibuat dengan PPC masih layak dirancang dengan menggunakan kurva standar yang ada.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton dengan PPC mengikuti hukum Duff Abrams yaitu kuat tekan berkurang secara exponential dengan meningkatnya nilai faktor air semen.
- Pada umur awal kuat tekan beton dengan PPC lebih rendah dari beton dengan PC, namun lebih tinggi setelah melampaui umur 7 hari.
- Pada penggunaan nilai faktor air semen antara 0,4 sampai 0,9, perbedaan kuat tekan yang dihasilkan oleh beton yang dibuat dengan PPC dan PC hanyalah sekitar 1-17% dan 3-26% berturut-turut pada umur 28 dan 90 hari.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran dapat disampaikan yaitu:

- Untuk memperkirakan jumlah air pengaduk dalam membuat campuran beton dengan menggunakan PPC, pada kisaran fas 0,4-0,6, dapat digunakan kurva pada SK SNI T-15-1990-03.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap properti lainnya dari beton

yang dibuat dengan menggunakan PPC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan artikel ini dan juga kepada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana yang telah membantu pembiayaan penelitian ini melalui dana hibah SEMI-QUE V tahun 2004.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK SNI T- 15-1990-03)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1994. *Standar Nasional Indonesia Untuk Semen Portland (SNI 15-2049-1994)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1994. *Standar Nasional Indonesia Untuk Semen Portland Pozzolan (SNI 15-0302-1994)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1997. *Seminar Sehari Pertemuan Teknis Tentang Penggunaan Semen*, Kanwil Departemen Pekerjaan Umum Propinsi Bali bekerjasama dengan PT Semen Gresik (Persero) Tbk.
- Mehta, P.K. 1986. *Concrete Structure Properties and Materials*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Murdock, L.J. and Brook, K.M. 1999. *Bahan Dan Praktek Beton* (terjemahan Stepanus Hindarko), Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Neville, A.M. and Brooks J.J. 1990. *Concrete Technology*, Longman, Singapura.