

# PERBANDINGAN KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND POZZOLAN DENGAN YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE I

I Made Alit Karyawan Salain<sup>1</sup>

## 1. Pendahuluan

Salah satu faktor yang menentukan kemampuan suatu struktur dalam memikul beban, statis maupun dinamis, adalah kualitas dari bahan pembentuknya. Dengan demikian pemahaman terhadap properti dan karakter dari bahan yang dipilih dalam merespons beban-beban yang bekerja pada struktur selayaknya dikuasai dengan baik oleh para rekayasawan. Hal ini dimaksudkan agar struktur yang direncanakan dapat memberikan kinerja yang optimal.

Beton merupakan bahan bangunan yang sangat populer digunakan dalam dunia jasa konstruksi. Banyak penelitian tentang beton yang sudah dilaksanakan dan akan terus berlanjut sebagai upaya untuk menjawab tuntutan perkembangan zaman dan kondisi lingkungan. Diketahui bahwa kekuatan beton banyak dipengaruhi oleh bahan pembentuknya (air, semen dan agregat) sehingga kontrol kualitas dari bahan-bahan tersebut harus diperhatikan dengan seksama agar diperoleh beton sesuai dengan yang diinginkan.

Semen portland merupakan komponen utama dalam teknologi beton yang berfungsi sebagai perekat hidrolis untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Berbagai jenis semen portland, melalui pengaturan rancangan bahan dasar, telah dikembangkan sesuai dengan jenis bangunan dan persyaratan lingkungan dimana beton akan digunakan. Yang umum digunakan untuk membuat beton adalah semen portland tipe I (PPI). Semen jenis ini dipakai untuk bangunan-bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti panas dan atau waktu hidrasi serta kondisi lingkungan agresif [SNI 15-2049-2004]. Dengan perkembangan teknologi dan juga usaha yang dilakukan untuk menghemat biaya dan energi produksi serta mengatasi permasalahan lingkungan, dewasa ini telah diproduksi semen portland pozzolan (PPC) yang merupakan campuran dari klinker semen portland dengan bahan yang mempunyai sifat pozzolan [SNI 15-0302-2004]. Pozzolan yang digunakan dapat bersumber dari alam seperti batu apung maupun berasal dari limbah industri seperti abu terbang (residu dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik). PPC ini diketahui memiliki karakter dan properti yang berbeda dibandingkan dengan semen portland umum [Lea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998]. Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana perbedaan karakter maupun properti dari PPC dibandingkan dengan PCI.

Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini akan dibandingkan kuat tekan dan permeabilitas dari beton yang dibuat dengan menggunakan PPC dengan beton yang dibuat dengan menggunakan PCI pada umur hidrasi 3, 7, 28 dan 90 hari.

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana, Bali

## 2. Materi dan Metode

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan untuk campuran beton normal yang terdiri dari air, semen, agregat halus dan agregat kasar. Air untuk mencampur beton merupakan PDAM. Untuk perekat hidrolik digunakan PPC dan PC dari produsen yang sama. Sebagai agregat digunakan pasir super dan batu pecah. Distribusi butiran pasir dan batu pecah dirancang menurut SNI 03-2834-2000; dengan ketentuan memenuhi gradasi zona 2 untuk agregat halus dan gradasi dengan diameter maksimum 40 mm untuk agregat kasar. Beberapa sifat fisik dari semen dan agregat yang digunakan dalam penelitian ini dicantumkan pada Tabel 1.

Untuk masing-masing tipe semen dibuat benda uji beton berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Beton dibuat dengan menggunakan perbandingan campuran semen : pasir : batu pecah dalam perbandingan berat 1 : 2 : 3 dan faktor air semen 0,4. 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 pengujian : 3, 7, 28 dan 90 hari.

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

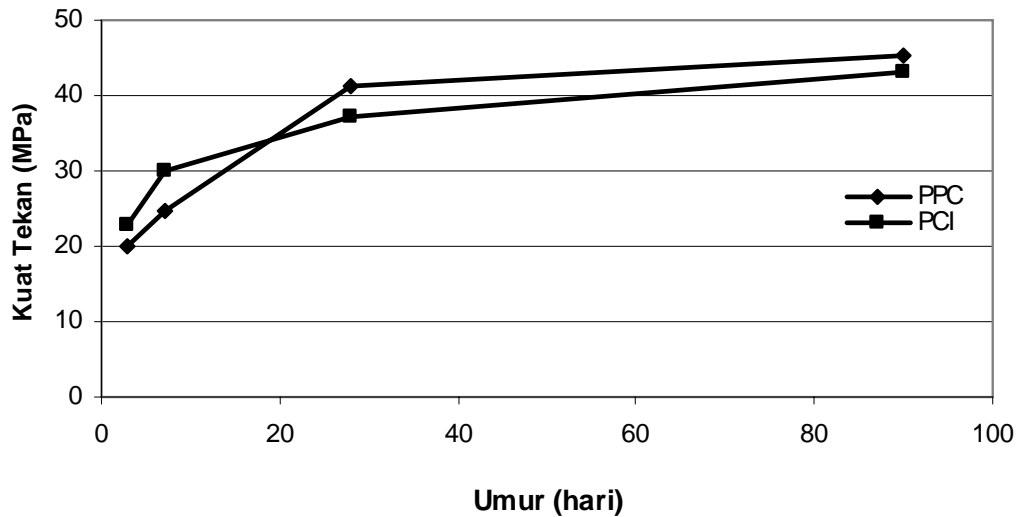
Bahan	PPC	PC	Agregat Halus	Agregat Kasar
Sifat Fisik				
Berat Satuan (kg/l)	1,19	1,25	1,58	1,52
Berat Jenis SSD	-	-	2,56	2,40
Penyerapan Air (%)	-	-	3,63	2,74
Kadar Lumpur (%)	-	-	3,75	-

Uji kuat tekan dilaksanakan dengan menggunakan mesin tekan *Controls* kapasitas 2000 kN sedangkan uji permeabilitas dilakukan dengan memakai *Concrete Permeability Apparatus C530*. Untuk setiap pengujian digunakan masing-masing 3 benda uji.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan semen PPC maupun PCI pada umur uji 3, 7, 28 dan 90 hari ditampilkan pada Gambar 1. Dari gambar tersebut, secara umum dapat dilihat bahwa kuat tekan beton meningkat dengan bertambahnya umur hidrasi. Hal ini terjadi baik pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC maupun pada beton yang dibuat dengan menggunakan PCI.

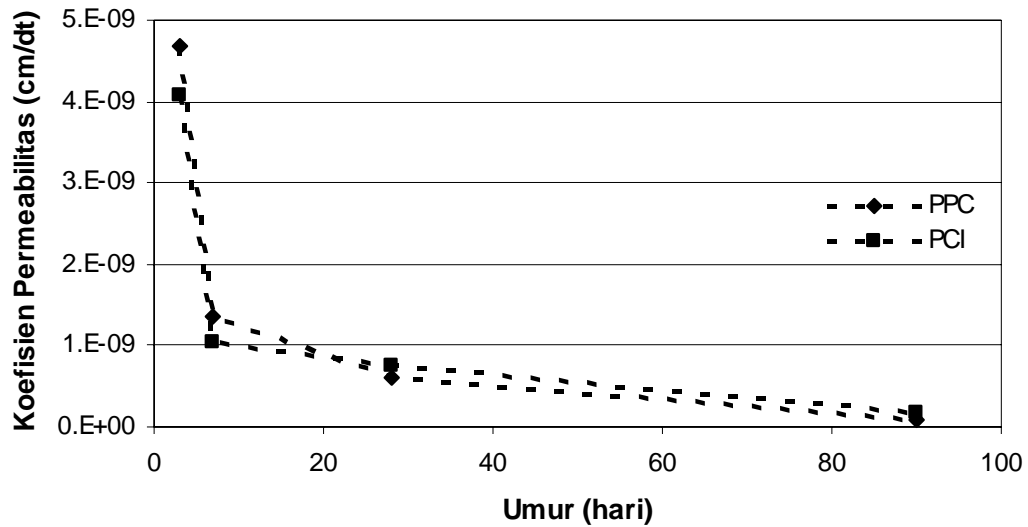


**Gambar 1 Kuat tekan beton yang menggunakan ppc atau pci pada berbagai umur**

Namun demikian, terlihat juga bahwa perkembangan kuat tekan beton yang menggunakan PPC relatif lebih lambat di umur awal bila dibandingkan dengan yang menggunakan PCI. Sampai dengan umur 7 hari, beton yang menggunakan PPC menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah, sekitar 15 %, dibandingkan dengan yang menggunakan PCI. Dengan bertambahnya umur hidrasi, terutama setelah melampaui umur hidrasi 20 hari, beton yang menggunakan PPC mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan PCI. Pada umur 28 dan 90 hari, beton yang menggunakan PPC bahkan mampu menghasilkan kuat tekan sebesar berturut-turut 41 dan 46 MPa, lebih tinggi sebesar berturut-turut 10% dan 8% bila dibandingkan dengan yang menggunakan PCI. Kecenderungan perkembangan kuat tekan ini nampaknya masih berlanjut setelah umur 90 hari.

### 3.2. Uji Permeabilitas

Gambar 2 berikut menampilkan hasil uji permeabilitas beton yang dibuat dengan menggunakan masing-masing jenis semen pada berbagai umur uji. Terlihat pada gambar bahwa koefisien permeabilitas beton,  $k_p$ , berkurang dengan bertambahnya umur hidrasi. Penurunan nilai  $k_p$  yang tajam terutama terjadi dari umur 3 ke 7 hari, selanjutnya penurunan cenderung lebih landai. Gejala ini terjadi pada kedua beton yang menggunakan jenis semen yang berbeda.



**Gambar 2 Koefisien permeabilitas beton yang menggunakan ppc atau pci pada berbagai umur**

Dari Gambar 2 tersebut terlihat juga bahwa pada umur awal koefisien permeabilitas,  $k_p$ , beton yang menggunakan PPC relatif lebih besar dibandingkan dengan beton yang menggunakan PCI. Pada umur 7 hari, nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PPC mencapai 30 % lebih besar bila dibandingkan dengan nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PCI. Namun demikian, setelah umur hidrasi lebih dari 20 hari nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PPC menjadi lebih rendah dibandingkan dengan nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PCI. Saat umur hidrasi mencapai 28 dan 90 hari, nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PPC adalah berturut-turut 6,07 E-10 dan 9,36 E-11 cm/detik. Nilai tersebut berturut-turut hanyalah 80% dan 50% dari nilai  $k_p$  beton yang menggunakan PCI pada umur hidrasi yang sama.

### 3.3. Pembahasan

Hasil pengujian kuat tekan dan permeabilitas pada beton yang dibuat dengan menggunakan perekat hidrolik berupa PPC maupun PCI menunjukkan kecenderungan yang sama dimana kuat tekan meningkat dan koefisien permeabilitas menurun dengan bertambahnya umur hidrasi. Hal ini dapat dihubungkan dengan perkembangan jumlah produk hidrasi yang dihasilkan semen dengan berlalunya waktu.

Diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu dan dalam kondisi perawatan yang memadai, kuantitas dari produk hidrasi, terutama C-S-H yang dihasilkan dari reaksi tricalcium silikat ( $C_3S$ ) dan dicalcium silikat ( $C_2S$ ) yang ada dalam semen dengan air ( $H_2O$ ) semakin meningkat. Meningkatnya kuantitas C-S-H, senyawa utama yang bertanggung jawab terhadap perkembangan properti semen, mengakibatkan ikatan yang dihasilkan oleh semen dengan agregat semakin kuat dan ruang-ruang kosong yang awalnya terisi oleh air dan partikel-partikel semen larut diganti dengan C-S-H sehingga porositas beton berkurang. Peristiwa inilah yang akhirnya memberikan kontribusi utama bagi peningkatan kuat tekan sejalan dengan berkurangnya permeabilitas beton dengan bertambahnya umur hidrasi [Lea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998].

Dari hasil uji juga diperoleh bahwa beton yang menggunakan PPC pada awalnya menghasilkan kuat tekan lebih rendah dan koefisien permeabilitas lebih tinggi

dibandingkan dengan yang menggunakan PCI. Terlihat jelas di sini pengaruh dari kehadiran pozzolan pada PPC yang memperlambat perkembangan awal dari properti beton. Seperti diketahui bahwa reaktivitas dari pozzolan memang lebih rendah dibandingkan dengan klinker semen portland. Dengan demikian pencampuran pozzolan dengan klinker semen portland pada PPC mempengaruhi reaktivitas dari jenis semen tersebut dengan air dan tentunya terhadap perkembangan propertinya.

Dengan bertambahnya waktu, terlihat bahwa beton yang menggunakan PPC mampu memberikan kinerja yang relatif lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan PCI, terutama pada saat umur hidrasi telah melewati 20 hari. Pozzolan yang dicampur di dalam PPC mengandung terutama silika reaktif. Tujuan dari dicampurnya sejumlah tertentu pozzolan dengan klinker semen portland dalam pembuatan PPC adalah untuk mereduksi kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) hasil hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  dan sekaligus menghasilkan produk hidrasi tambahan bersifat perekat, khususnya C-S-H. Kapur bebas ini, tidak banyak memberikan kontribusi dalam perkembangan properti beton, akan bereaksi secara bertahap dengan silika reaktif dari pozzolan untuk membentuk C-S-H tambahan. Proses pembentukan ini akan mereduksi ukuran kristal-kristal besar seperti  $\text{Ca(OH)}_2$  dan selanjutnya C-S-H tambahan akan mengisi rongga-rongga kapiler besar yang terbentuk pada proses hidrasi semen portland umum. Hal ini mengakibatkan porositas dari pasta semen hidrat maupun daerah transisi antara pasta semen hidrat dan agregat akan berkurang secara signifikan. Konsekuensinya, secara simultan kekuatan beton meningkat dan permeabilitasnya turun [Lea, 1970; Mehta, 1986]. Namun demikian, nampaknya setelah periode hidrasi 20 harilah, kontribusi dari reaksi pozzolanik terhadap properti beton yang menggunakan PPC baru dapat melampaui properti yang ditunjukkan oleh beton yang menggunakan PCI.

#### **4. Penutup**

Dari penelitian yang telah dilaksanakan terhadap beton dengan PPC dan beton dengan PCI menyangkut kuat tekan dan permeabilitasnya, dapat disampaikan beberapa hal sebagai berikut :

- Perkembangan kuat tekan sejalan dengan berkurangnya permeabilitas dari beton yang menggunakan PPC lebih lambat di umur awal bila dibandingkan dengan yang menggunakan PCI.
- Beton yang menggunakan PPC baru dapat menunjukkan kinerja yang lebih baik bila dibandingkan dengan yang menggunakan PCI setelah umur hidrasi lebih dari 20 hari.
- Pada umur 90 hari, beton yang menggunakan PPC mampu menghasilkan kuat tekan dan koefisien permeabilitas berturut-turut 8% lebih tinggi dan 50% lebih rendah bila dibandingkan dengan yang menggunakan PCI.

#### **5. Ucapan Terima Kasih**

Penulis, dalam kesempatan ini, menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi di dalam pelaksanaan penelitian ini.

## 6. Referensi

1. Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland (SNI 15-2049-2004).
2. Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland Pozzolan (SNI 15-0302-2004).
3. Badan Standardisasi Nasional, 2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000).
4. Lea F.M., 1970, The Chemistry of Cement and Concrete, third edition, Edward Arnold Ltd, London.
5. Mehta, P.K., 1986, Concrete Structure Properties, and Materials, Englewood Cliffs, New Jersey.
6. Neville, A.M. and Brooks J.J., 1998, Concrete Technology, Longman, Singapore.