

## HUBUNGAN ANTARA MODULUS ELASTISITAS DENGAN KUAT TEKAN PADA BETON YANG DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND-POZZOLAN MAUPUN SEMEN PORTLAND TIPE I

I Made Alit Karyawan Salain<sup>1</sup> dan Ida Bagus Rai Widiarsa<sup>1</sup>

**Abstrak:** Hubungan antara modulus elastisitas ( $E_c$ ) dengan kuat tekan ( $\sigma'_b$ ) pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland-pozzolan (PPC) maupun semen portland tipe I (PC) telah diteliti. Sebagai benda uji digunakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. 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. Pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan dengan tata cara standar. Pengukuran  $E_c$  dan  $\sigma'_b$  dilaksanakan pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari, sesuai dengan ketentuan ASTM C 469-95 dengan menggunakan 3 (tiga) benda uji untuk setiap fas dan umur uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus elastisitas dan kuat tekan beton berkurang dengan meningkatnya fas dan meningkat dengan bertambahnya umur beton. Hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan beton menunjukkan hubungan non linier, dalam bentuk  $E_c = 4525,2 \text{ Ln } \sigma'_b - 3961,4$  untuk beton dengan PPC dan  $E_c = 4302,3 \text{ Ln } \sigma'_b - 3582,2$  untuk beton dengan PC. Pengaruh jenis semen terhadap modulus elastisitas baru terlihat pada beton dengan kuat tekan lebih besar dari 15 MPa, dimana untuk suatu nilai kuat tekan, modulus elastisitas beton dengan PPC mampu melampaui, sekitar 3% - 4%, modulus elastisitas beton dengan PC.

Kata kunci : PPC, PC, modulus elastisitas dan kuat tekan.

## RELATIONSHIP BETWEEN MODULUS OF ELASTICITY AND COMPRESSION STRENGTH FOR CONCRETE MADE BY USING POZZOLAN - PORTLAND CEMENT AND ALSO PORTLAND CEMENT TYPE I

**Abstract:** The relation between elastic modulus ( $E_c$ ) and compression strength ( $\sigma'_b$ ) for concrete made by using Pozzoland-Portland Cement (PPC) and also type I Portland Cement (PC) has been studied. The test was realized by using cylinders with 150 mm diameter and 300 mm height. 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 measurement of  $E_c$  and  $\sigma'_b$ , realized at 3, 7, 28 and 90 days, was done based on ASTM C 469-95 Three samples were used for each measurement. The result of this study indicates that the elastic modulus and the compression strength of concrete decrease by the increase of w/c and increase by the increase of age. The relation between the elastic modulus and the compression strength is non linear, i.e.:  $E_c = 4525.2 \text{ Ln } \sigma'_b - 3961.4$  for concrete with PPC and  $E_c = 4302.3 \text{ Ln } \sigma'_b - 3582.2$  for concrete with PC. The influence of the type of cement to the elastic modulus can only be seen when the compression strength is bigger than 15 MPA, in which for a given compression strength, the elastic modulus with PPC gives about 3 - 4% more elastic modulus than with PC.

Keywords : PPC, PC, modulus of elasticity and compression strength.

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

**PENDAHULUAN**

Semen yang biasa digunakan untuk membuat beton adalah semen portland tipe I (PC). Semen jenis ini dipakai untuk bangunan-bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti panas dan atau waktu hidrasi serta kondisi lingkungan agresif. Perkembangan teknologi dan upaya yang dilaksanakan untuk mengatasi permasalahan yang berhubungan dengan lingkungan menyebabkan diproduksi jenis semen yang disebut dengan semen portland-pozzolan (PPC). Beton yang dibuat dengan PPC umumnya lebih tahan terhadap lingkungan agresif walaupun perkembangannya lebih lambat bila dibandingkan dengan yang dibuat dengan menggunakan PC (Mehta, 1986; Murdock and Brooks, 1986; Neville and Brooks, 1998; SNI 15-2049-1994; SNI 15-0302-1994; Semen Gresik Group, 1997).

Selain kekuatan, parameter yang juga dapat digunakan untuk menunjukkan kualitas beton adalah modulus elastisitas. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) adalah jenis dari bahan penyusunnya. Untuk menentukan  $E_c$ , umumnya digunakan persamaan empiris linier, antara  $E_c$  dengan kuat tekan ( $\sigma'_b$ ), tanpa membedakan jenis dari semen yang digunakan (SNI 03-2847-2002). Mengingat PPC

mempunyai karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan PC lalu timbul pertanyaan sejauh mana jenis semen ini mempengaruhi nilai dari modulus elastisitas beton yang dihasilkan.

Berdasarkan kondisi tersebut maka dalam penelitian ini akan dicari hubungan antara  $E_c$  dengan  $\sigma'_b$  pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC dan PC.

**MATERI DAN METODE**

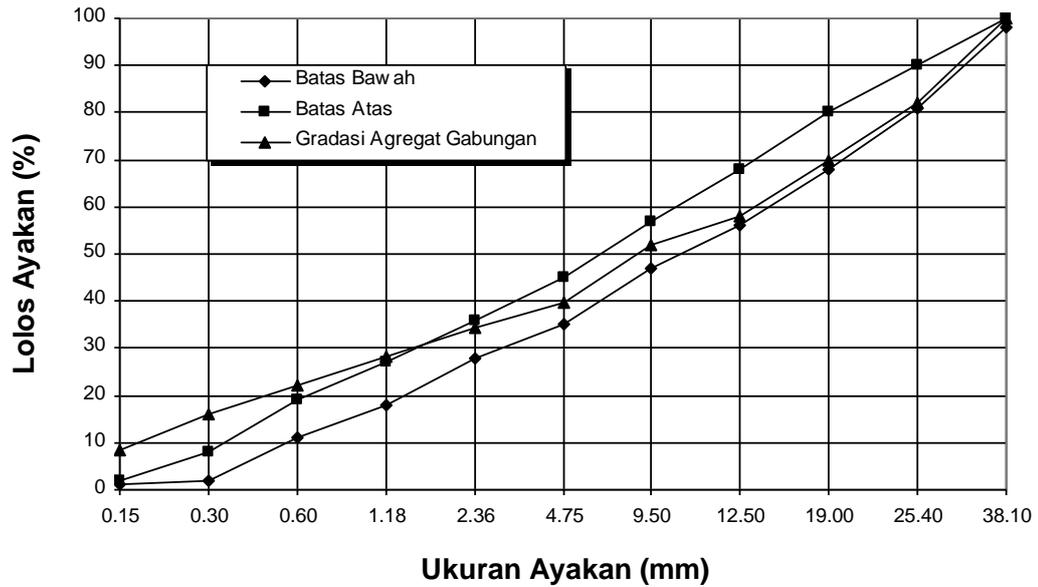
**Materi**

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 air PDAM yang ada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk perekat hidrolik digunakan PPC dan PC dari produsen yang sama. Sebagai agregat digunakan pasir super dan batu pecah dengan diameter maksimum 40 mm.

Sifat fisik dari semen dan agregat yang digunakan dalam penelitian ini dicantumkan dalam Tabel 1. Gradasi dari agregat gabungan terhadap ketentuan standar SK SNI T-15-1990-03 untuk agregat dengan diameter maksimum 40 mm diberikan pada Gambar 1.

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

<b>Sifat Fisik</b> \ <b>Bahan</b>	PPC	PC	Agregat Halus	Agregat Kasar
Berat Satuan (kg/l)	1,19	1,25	1,58	1,52
Berat Jenis SSD	-	-	2,54	2,32
Penyerapan Air (%)	-	-	3,63	2,74
Kadar Lumpur (%)	-	-	3,75	-
Kadar Air (%)	-	-	8,89	1,32
Kekerasan dengan Los Angeles	-	-	-	40,97

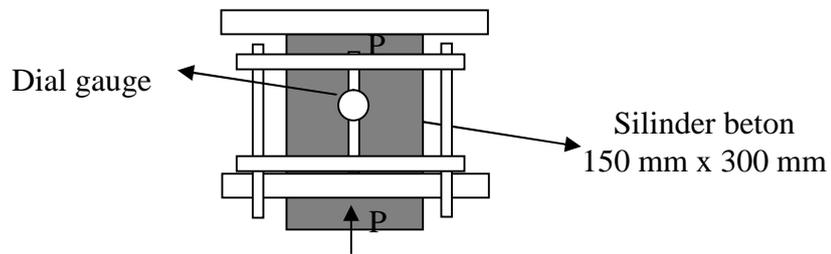


**Gambar 1. Gradasi Agregat Gabungan**

**Metode**

Benda uji beton berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dibuat untuk masing-masing tipe semen. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan berat yang konstan antara semen : agregat halus : agregat kasar, yaitu sebesar 1 : 2 : 3. Untuk mendapatkan jumlah data kuat tekan dan modulus elastisitas yang representatif, dibuat campuran beton dengan variasi nilai fas : 0,4, 0,5, 0,7 dan 0,9. Sebelum dicampur agregat disiapkan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) dan selanjutnya pengadukan beton dilakukan dengan mesin pencampur.

Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetaknya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetaknya untuk selanjutnya dirawat dengan cara menutup benda uji dengan karung goni basah. Pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari dan dengan menggunakan masing-masing 3 benda uji untuk setiap nilai fas, dilaksanakan pengukuran perpindahan akibat beban tekan (lihat Gambar 2) untuk dapat menentukan kurva yang menghubungkan tegangan dengan regangan. Pembacaan perpindahan dan beban terkait dilaksanakan setiap penambahan beban sebesar 10 kN yang mana ini dilaksanakan hingga mencapai beban batas.



**Gambar 2. Pengukuran Perpindahan dan Beban**

Dari kurva tegangan dan regangan yang diperoleh, kemudian dihitung nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) untuk setiap

perlakuan dengan menggunakan rumusan dari ASTM C 469-95 sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005}$$

dimana :

- $E_c$  = modulus elastisitas beton (MPa)
- $S_2$  = 40 % dari tegangan batas/ $\sigma'_b$  (MPa)
- $S_1$  = tegangan pada saat regangan 0,00005 (MPa)
- $\epsilon_2$  = regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

Berdasarkan data yang diperoleh untuk setiap umur uji dan nilai fas selanjutnya dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan hubungan antara  $E_c$

dan  $\sigma'_b$  baik pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC maupun yang dibuat dengan PC. Dalam analisis tersebut digunakan nilai rata-rata yang diperoleh dari benda uji yang telah memenuhi syarat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan

Nilai modulus elastisitas dan kuat tekan untuk setiap nilai fas dan umur uji pada beton yang dibuat dengan menggunakan masing - masing jenis semen diberikan pada Tabel 2a dan 2b.

**Tabel 2a. Modulus elastisitas dan kuat tekan untuk yang dibuat dengan PPC dan PC pada berbagai umur uji dan faktor air semen**

fas \ Umur (hari)		PPC							
		0,4		0,5		0,7		0,9	
		$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$
		(MPa)		(MPa)		(MPa)		(MPa)	
3		9382	19,9	8512	17,3	4389	5,5	759	3,7
7		9987	28,3	8993	19,5	5155	7,8	2143	4,1
28		11560	34,5	10847	30,6	7501	8,6	2811	5,1
90		14212	39,2	11515	30,8	8000	12,6	7152	8,7

**Tabel 2b. Modulus elastisitas dan kuat tekan untuk yang dibuat dengan PC pada berbagai umur uji dan faktor air semen**

fas \ Umur (hari)		PC							
		0,4		0,5		0,7		0,9	
		$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$	$E_c$	$\sigma'_b$
		(MPa)		(MPa)		(MPa)		(MPa)	
3		9351	16,4	8216	12,6	2985	4,5	353	2,6
7		9770	23,8	9120	25,2	5522	9,1	2229	4,7
28		11124	34,1	9791	30,8	7092	10,6	4194	6,9
90		12418	34,5	11513	31,5	9517	12,6	5883	9,8

Dari Tabel 2a dan 2b dapat dilihat bahwa modulus elastisitas dan kuat tekan berkurang dengan meningkatnya nilai fas dan meningkat dengan bertambahnya umur beton. Hal ini berlaku baik pada beton yang dibuat dengan PPC maupun dengan PC. Namun demikian, pada

penggunaan fas yang rendah, beton yang dibuat dengan PPC menghasilkan modulus elastisitas dan kuat tekan yang relatif lebih tinggi.

**Hubungan antara Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan**

Hubungan antara  $E_c$  dan  $\sigma'_b$  ditentukan melalui analisis regresi dalam bentuk persamaan non linier sebagai berikut

$$E_c = A \text{Ln } \sigma'_b - B$$

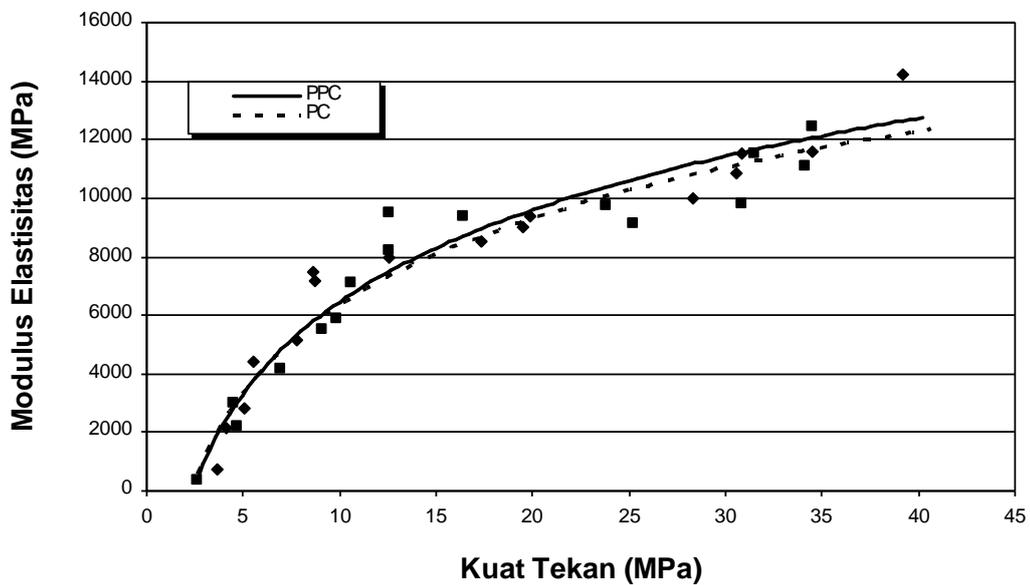
dengan A dan B adalah konstanta.

Hasil analisis regresi untuk kedua jenis semen ditampilkan pada Tabel 3. Dengan memperhatikan nilai korelasi R yang dihasilkan, dapat dinyatakan bahwa rumusan yang diusulkan mampu menggambarkan dengan baik hubungan antara  $E_c$  dan  $\sigma'_b$ .

**Tabel 3. Hasil analisis regresi modulus elastisitas dan kuat tekan pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC atau PC**

PPC		PC	
Persamaan Regresi	R	Persamaan Regresi	R
$E_c = 4525,2 \text{Ln } \sigma'_b - 3961,4$	0,971	$E_c = 4302,3 \text{Ln } \sigma'_b - 3582,2$	0,967

Pada Gambar 3 ditampilkan kurva yang menggambarkan hubungan antara  $E_c$  dan  $\sigma'_b$  yang diperoleh dari hasil analisis regresi tersebut.



**Gambar 3. Hubungan antara Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC atau PC**

Dari Gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa modulus elastisitas meningkat tidak linier dengan meningkatnya kuat tekan beton. Peningkatan lebih tajam terjadi pada beton dengan kuat tekan yang bernilai lebih rendah atau sama dengan 15 MPa. Untuk beton dengan kuat tekan di atas nilai tersebut, meningkatnya nilai modulus elastisitas seiring dengan bertambahnya kuat tekan beton cenderung lebih landai.

Ditinjau dari jenis semen yang digunakan, kurva yang dihasilkan untuk pemakaian kedua jenis semen cenderung

berimpit sampai dengan kuat tekan 15 MPa. Selanjutnya, di atas nilai tersebut, kurva mulai jelas menunjukkan pemisahan dimana, untuk suatu nilai kuat tekan, beton dengan PPC menghasilkan nilai modulus elastisitas relatif lebih tinggi dibandingkan beton dengan PC.

**Pembahasan**

Modulus elastisitas dan kuat tekan dari beton dipengaruhi oleh fas dan umur: berkurang dengan meningkatnya fas dan meningkat dengan bertambahnya umur beton. Peningkatan fas akan mening-

katkan jumlah pori dalam beton sehingga praktis akan mengurangi kepadatan yang akhirnya berimplikasi pada berkurangnya modulus elastisitas dan kekuatan beton. Sebaliknya dengan bertambahnya umur, reaksi pada semen semakin sempurna dan jumlah produk hidrasi yang dihasilkan dari reaksi tersebut semakin bertambah sehingga kepadatan beton semakin meningkat. Dengan demikian modulus elastisitas dan kekuatan beton juga meningkat.

Hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan beton menunjukkan hubungan non linier dan modulus elastisitas meningkat dengan bertambahnya kuat tekan beton. Di daerah dengan nilai kuat tekan hingga mencapai 15 MPa, modulus elastisitas meningkat lebih tajam dibandingkan dengan di daerah dengan kuat tekan lebih besar dari 15 MPa. Menurut Mehta (Mehta, 1986), beton dengan kuat tekan rendah, dihasilkan dari penggunaan fas yang tinggi, mengandung relatif lebih banyak pori-pori berukuran besar dibandingkan dengan beton dengan kekuatan lebih tinggi. Ini menyebabkan kemampuan beton untuk mentransfer tegangan menjadi berkurang dan konsekuensinya nilai modulus elastisitasnya rendah. Dengan bertambahnya umur beton dan jumlah pori berkurang karena proses hidrasi lebih sempurna, peningkatan modulus elastisitas nampaknya lebih besar dibandingkan dengan peningkatan kuat tekan sehingga kurva memberikan kelengkungan yang lebih tajam di daerah tersebut.

Di sisi lain dicatat bahwa perbedaan nilai modulus elastisitas untuk kedua jenis semen baru jelas terlihat pada kuat tekan beton lebih besar dari 15 MPa. Untuk beton dengan kuat tekan sampai dengan 15 MPa, tidak terlihat adanya pengaruh dari kedua jenis semen terhadap modulus elastisitas yang dihasilkan. Namun demikian, dengan meningkatnya kuat tekan, modulus elastisitas pada beton yang dibuat dengan menggunakan PPC mampu melampaui, sekitar 3% - 4%, modulus elastisitas beton yang dibuat dengan

menggunakan PC. Ini terkait dengan adanya pozzolan pada PPC yang mengandung silika dan alumina reaktif. Kedua unsur terakhir ini dapat mengikat kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$ , dihasilkan dari hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$ , untuk membentuk gel CSH maupun CASH yang dapat mengisi rongga-rongga beton yang kosong yang berimplikasi pada meningkatnya kepadatan beton dan akhirnya juga pada modulus elastisitasnya (Mehta, 1986; Murdock and Brooks, 1986; Neville and Brooks, 1998).

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

- Modulus elastisitas dan kuat tekan beton berkurang dengan meningkatnya fas dan meningkat dengan bertambahnya umur beton.
- Hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan beton menunjukkan hubungan non linier, dalam bentuk  $E_c = 4525,2 \text{ Ln } \sigma'_b - 3961,4$  untuk beton dengan PPC dan  $E_c = 4302,3 \text{ Ln } \sigma'_b - 3582,2$  untuk beton dengan PC.
- Pengaruh jenis semen terhadap modulus elastisitas baru terlihat pada beton dengan kuat tekan lebih dari 15 MPa, dimana untuk suatu nilai kuat tekan, modulus elastisitas beton dengan PPC mampu melampaui, sekitar 3% - 4%, modulus elastisitas beton dengan PC.

### Saran

- Walaupun nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada kedua jenis semen tidak berbeda jauh untuk suatu nilai kuat tekan beton, dalam kondisi praktis dan bila tidak ditentukan lain, direkomendasikan untuk menggunakan PPC agar dihasilkan kinerja beton yang lebih baik.
- Untuk menambah informasi, penelitian yang sejenis dapat dilaksanakan dengan menggunakan agregat kasar berupa batu kali.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua 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 SP4 tahun 2005.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Anonim. 1995. *Annual Book of ASTM Standards C 469, Section 4, Construction*, Volume 04.02, Concrete and Agregates
- 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.