

Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen PCC (Portland Composite Cement)

Ashari Ibrahim

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang , Makassar

Koresponden : ashariibrahim@yahoo.com

ABSTRAK

Korelasi umur terhadap kuat tekan beton yang digunakan sampai saat ini adalah yang dikeluarkan oleh Peraturan Beton Indonesia (PBI 71) dengan menggunakan jenis semen OPC tipe I yaitu : 3 hari = 0,46, 7 hari = 0,65, 14 hari = 0,88, 21 hari = 0,95, 28 hari = 1,00 dan 92 hari = 1,18. Masalah utama yang terjadi di laboratorium maupun di lapangan adalah: nilai koefisien umur semen OPC tipe I digunakan juga terhadap beton yang menggunakan jenis semen PCC . Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan umur dan kuat tekan beton dengan menggunakan semen PCC (Portland Composite Cement) berupa koefisien umur beton untuk dikonversi ke 28 hari. Pengambilan data diawali dengan uji karakteristik agregat (pasir dan kerikil), mix design beton dengan menetapkan salah satu mutu beton yang umum diterapkan pada dunia konstruksi/diprojek yaitu kuat tekan karakteristik 225 kg/cm². Selanjutnya membuat benda uji kubus (15 x 15 x 15) cm dengan menggunakan semen PCC, kemudian dilakukan perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 60 dan 92 hari. Kuat tekan yang dihasilkan dari tiap – tiap umur beton dibandingkan terhadap kuat tekan beton 28 hari sehingga diketahui korelasi antara umur dan kuat tekan dapat diketahui. Dari hasil penelitian diperoleh koefisien umur beton yang berpedoman pada nilai kuat tekan rata - rata masing – masing umur beton, dengan menggunakan semen PCC PT Semen Tonasa memberikan hasil berturut – turut : umur 3 hari = 0,45, 14 hari = 0,84, 28 hari = 1,0, 60 hari = 1,12 dan 92 hari = 1,22. Demikian halnya dengan beton menggunakan Semen PCC PT Semen Bosowa memberikan hasil : umur 3 hari = 0,47, 14 hari = 0,79, 28 hari = 1,0, 60 hari = 1,06 dan 90 hari = 1,20. Kedua jenis semen PCC tersebut menghasilkan nilai koefisien umur beton yang relative sama..

Kata Kunci : Kuat tekan beton, korelasi umur, semen PCC.

PENDAHULUAN

Semen adalah perekat hidrolis bahan bangunan, artinya akan terjadi perekat bila bercampur dengan air. Bahan dasar semen pada umumnya ada 3(tiga) macam yaitu: 1) klinker/terak (70% hingga 95%), merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan lempung. 2) gypsum (sekitar 5%, sebagai zat untuk

memperlambat pengerasan) dan 3) material berupa batu kapur, pozzolan, abu terbang dan lain – lain. Jika unsur material ketiga tersebut tidak lebih dari 3% umumnya masih

memenuhi kualitas OPC (Ordinary Portland Cement) tipe I. Namun bila kandungan material ketiga lebih besar 3% hingga 25% maka semen tersebut akan berganti menjadi PCC (Portland Composite Cement). Dengan

demikian PCC kadar klinkernya dikurangi (umumnya 75%) dan digantikan dengan material kapur, pozzolan dan fly ash (abu terbang).

PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC tipe I, sehingga pengerjaannya lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plesteran yang lebih rapat dan lebih halus. Penggunaan PCC sangat cocok untuk plesteran, pasangan dinding batu bata dan bangunan yang tidak terlalu tinggi (disarankan tidak melebihi lantai tiga) sedangkan gedung dengan lantai melebihi tiga lantai sebaiknya menggunakan OPC tipe I. Saat ini penggunaan jenis semen PCC cenderung meningkat sehingga pabrik semen bersaing untuk menguasai pemasaran/konsumen termasuk di Sulawesi Selatan. Hal ini disebabkan selain biaya produksi lebih murah juga lebih ramah lingkungan (menghabiskan energi lebih rendah dibandingkan dengan OPC tipe I).

Umur pengujian benda uji yang sangat umum diterapkan pada pekerjaan beton dilaboratorium dan diproyek dalam rangka untuk mengetahui kualitas (kuat tekan) beton adalah : 3, 14, 28 dan 90 hari. Umur beton yang diuji pada 3, 14, 21 hari bertujuan untuk mengetahui lebih awal mutu beton sehingga bila terjadi kesalahan rancangan komposisi beton atau metode pelaksanaan yang tidak sesuai standar pelaksanaan maka kualitas beton dapat dievaluasi lebih awal. Demikian halnya umur pengujian beton yang melebihi 28 hari, karena sesuatu hal beton terlambat diuji atau struktur beton telah dibangun namun kekuatannya diragukan. Struktur beton semacam ini diuji dengan alat palu beton (Hammer Test) dan acuan pengujian adalah 90 hari. Standar umur kuat tekan beton yang menjadi acuan dalam perencanaan struktur beton adalah 28 hari, artinya benda uji beton yang diuji pada umur 3,14, 21, 60 dan 90 hari harus dikonversi kekuatan tekannya ke umur 28 hari. Metode yang digunakan untuk mengkonversi kuat tekan beton menjadi 28 hari adalah dengan menggunakan korelasi

kuat tekan beton terhadap umur (koefisien umur beton).

Wangsadinata dkk. (1971), korelasi kuat tekan dan umur beton yang digunakan sampai saat ini adalah yang dikeluarkan oleh Peraturan Beton Indonesia dengan menggunakan jenis semen OPC tipe I yaitu : 3 hari (0,46), 14 hari (0,88), 28 hari (1,00) dan 90 hari (1,18). Masalah utama yang terjadi di laboratorium maupun di lapangan (diprojek konstruksi) adalah: nilai koefisien digunakan juga terhadap beton yang menggunakan jenis semen PCC. Hasil konversi kuat tekan beton yang diperoleh sudah pasti tidak akurat, hal ini disebabkan kandungan senyawa kimia khususnya kadar tricalcium silicate (C3S) dan dikalsium silicate (C2S) dan panas hidrasi antara kedua jenis semen ini berbeda. Departemen Pekerjaan Umum (1989), mengemukakan bahwa nilai konversi/perbandingan kuat tekan beton pada umur 28 hari seharusnya menggunakan nilai konversi yang diperoleh dari hasil percobaan di laboratorium untuk beton yang sama mengingat adanya variasi sifat-sifat semen dari berbagai hasil produksi semen.

Hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya secara umum mengkaji hubungan antara faktor air semen (berat air dibagi berat semen) dengan kuat tekan beton pada umur tertentu, antara lain :

1. Rahardianto (2008), melakukan penelitian korelasi antara variasi faktor air semen 0,35, 0,40, 0,45 dan diameter maksimum agregat kasar 10 mm, 20 mm, dan 40 mm terhadap kuat tekan beton pada umur 7 hari. Hasil penelitian yang diperoleh adalah semakin tinggi nilai faktor air semen maka nilai kuat tekan beton semakin rendah, demikian halnya semakin besar butir maksimum agregat kasar maka semakin kecil kuat tekan beton yang dihasilkan.
2. Wesli (2011), melakukan penelitian kuat tekan beton pada umur 7 dan 14 hari dengan menggunakan faktor air semen bervariasi 0,45 sampai dengan

0,65. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai faktor air semen maka semakin rendah kuat tekan beton dan koefisien umur beton pada 7 hari (0,66) dan 14 hari (0,88) terhadap 28 hari.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui : korelasi (hubungan) antara umur dan kuat tekan beton yang menggunakan jenis semen PCC (Portland Composite Cement) pada umur 3 hari, 14 hari, 28 hari, 60 hari dan 92 hari. Kuat tekan beton yang direncanakan adalah : $f'_c = 225 \text{ kg/cm}^2$, mutu beton ini dipilih sebab sangat umum diterapkan pada konstruksi dengan beban sedang. Selanjutnya membandingkan kuat tekan yang dicapai tiap – tiap umur beton tersebut terhadap 28 hari .

Pengertian Beton Secara Umum

Samekto (2000), mengemukakan bahwa beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen, yang dipersatukan oleh air dengan perbandingan tertentu. Beton juga dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (semen, air dan agregat). Karena hidrasi semen oleh air, adukan tersebut akan mengeras/membantu, dan memiliki kekuatan serta kekerasan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Bahan adukan beton, campuran air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta ini kecuali mengisi pori-pori di antara butiran-butiran agregat halus, juga berfungsi sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat.

Semen Portland Tipe I (OPC) dan PCC

Ordinary Portland Cement (OPC) tipe I adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinkers dan gypsum (persyaratan mengacu pada SNI No.15-2049 - 2004 dan ASTM C150-2004). Jenis semen ini digunakan untuk bangunan umum dengan kekuatan tekan yang tinggi (tidak

memerlukan persyaratan khusus), seperti : bangunan bertingkat tinggi, perumahan, Jembatan, jalan raya, landasan bandar udara, beton pracetak, bendungan saluran irigasi dan elemen bangunan seperti : genteng, hollow, paving block, dan lain – lain. Semen Portland Komposit atau *Portland Composite Cement* (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak Semen Portland dengan gypsum yang terdiri dari satu atau lebih bahan an-organik atau hasil pencampuran bubuk Semen Portland dengan bubuk bahan an-organik lain (memenuhi SNI 15-7064-2004). Kegunaan semen jenis ini adalah : konstruksi beton umum, pasangan batu dan batu bata, plesteran dan acian, selokan, jalan, pagar dinding, elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, dan lain-lain.

Senyawa Kimia dalam Semen

Di dalam semen terdapat empat macam senyawa semen, jumlah masing-masing senyawa seperti tercantum pada tabel 1.

Tabel 1 Kandungan Senyawa-senyawa Kimia dalam Semen

Mineral-mineral Klinker	Rumus Kimia	Rumus Singkatan	Kadar Rata-rata (%)
Trikalsium silikat	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	37 – 60
Dikalsium silikat	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15 – 37
Trikalsium aluminat Tetra kalsium	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7 – 15
Alumina ferit	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10 – 20
Kapur bebas	CaO	-	≤ 1
Batu tahu (gips)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	≤ 3

Mulyono (2004), menyatakan bahwa dari keempat senyawa semen tersebut, C_3S dan C_2S adalah senyawa yang dapat mengakibatkan bahan bersifat semen

(perekat). Kedua senyawa inilah yang menjadi tujuan dalam pembuatan semen portland. Dua senyawa lainnya merupakan senyawa bawaan dari bahan dasarnya dan tidak mempunyai sifat semen sama sekali. Saat bahan-bahan semen dibakar, dua senyawa bawaan itu berfungsi sebagai bahan pencair (*flux*), sehingga pembentukan C_3S dan C_2S cukup dengan suhu antara $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Semen portland dengan kadar C_3S yang lebih tinggi dari pada kadar C_2S , pada umumnya mempunyai sifat mengeras lebih cepat dibandingkan dengan semen yang kadar C_2S nya lebih tinggi daripada C_3S . Semen portland mengeras cepat (rapid hardening cement portland) memiliki kadar C_3S sedemikian tinggi hingga 60%.

Mulyono (2004) menyatakan bahwa perawatan ini dilakukan setelah beton telah mengeras (*final setting*), agar proses hidrasi berjalan normal. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkeuatan awal tinggi minal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur. Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari:

- a. Kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- b. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama.
- c. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

Di sini biasanya dipersyaratkan untuk merawat beton agar tetap basah dalam beberapa hari tertentu sejak saat pengecorannya, tanpa suatu pedoman tertentu terhadap waktu di mana perawatan harus dimulai maupun efisiensi yang

dibutuhkan. Sebagai akibatnya, perawatan sering sangat terlambat dimulai, dan pada beberapa kasus beton hanya menerima penyiraman yang sporadis (tersebar tak menentu) dengan air pada interval waktu yang jarang. Menurut Neville (1981), hasil pengujian di laboratorium terhadap pengaruh perawatan pada kekedapan air (*"permeability"*) dan kekuatan tekan (*compressive strength*). Hasilnya menunjukkan bahwa Perawatan dengan cara membasahi terus menerus menghasilkan kuat tekan beton yang cenderung meningkat.

Faktor Air Semen (Water/Cement Ratio)

Perbandingan antara kadar air dan kadar semen yang disebut faktor air semen, dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Faktor air semen} = \frac{\text{Kadar air (kg/m}^3\text{)}}{\text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)}}$$

Dengan demikian dalam kadar air termasuk pula air resapan dalam kerikil dan pasir disamping air yang diisikan ke dalam moulen (mixer) berdasarkan perhitungan rancangan campuran beton.

Wahyudi dan Syahril A Rahim (1999) menyatakan bahwa proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi daya kerjanya (*workability*) akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran tetapi kekuatan hancur beton jadi rendah, beton untuk konstruksi gedung biasanya memiliki rasio air semen minimum sebesar 0,45 dengan rasio ini dapat dihasilkan beton yang kedap air, namun mutu beton tetap dipengaruhi oleh cara pemadatan dan daya kerja. Pemadatan yang kurang baik, misalnya tanpa menggunakan alat getar (*vibrator*), cenderung akan menimbulkan sarang kerikil (*honey comb*) yang menyebabkan beton menjadi keropos. Daya kerja beton diukur dari nilai slump (dalam pelaksanaan pembentolan nilai slump yang baik berkisar 7,5 cm hingga 15,0 cm).

Kuat Tekan Beton (Mutu Beton)

Kekuatan tekan beton adalah kriteria untuk menentukan kualitas beton, dimana prosedur pengukuran didasarkan pada SKSNI T – 15 – 1990 – 03. Pembebanan pada pengujian kuat tekan termasuk pembebanan statik monotonic dengan menggunakan *compressive Test*. Beban yang bekerja akan terdistribusi secara continue melalui titik berat adalah:

$$f'_{c28} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{c28}}{n} \cdot P/A$$

Keterangan :

f'_{c28} = kuat tekan masing-masing benda uji (kg/cm^2)

f_{cr} = kuat tekan rata-rata benda uji (kg/cm^2)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm^2)

n = jumlah benda uji

Kekuatan tekan karakteristik beton dihitung berdasarkan persamaan:

$$f'c = f_{cr} - 1.64 s_r \rightarrow \text{jika } s_r \leq 4 \text{ Mpa}$$

$$f'c = f_{cr} - (2.64 s_r - 4) \rightarrow \text{jika } s_r > 4 \text{ Mpa}$$

Dengan menganggap bahwa hasil pengujian menyebar normal, maka deviasi standar dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'c - f'_{cr})^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

s_r = Deviasi standar (Mpa)

$f'c$ = Kekuatan masing-masing benda uji (Mpa)

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata benda uji (Mpa)

n = Jumlah benda uji minimal 30 buah

Tabel 2. Faktor Perkalian Deviasi Standar

Jumlah data	Faktor perkalian
30	1,0
25	1,03
20	1,08
15	1,16
< 15	-

Menurut Tjokrodimulyo (2001), "Jika pelaksana tidak mempunyai catatan/pengalaman hasil pengujian beton yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil pengujian kurang dari 15 buah, nilai margin dapat langsung diambil 12 Mpa).

METODE PENELITIAN

Uji karakteristik agregat, *mix design*, pembuatan dan perawatan benda uji dilaksanakan di laboratorium bahan Politeknik Negeri Ujung Pandang Jurusan Teknik Sipil (lama penelitian 8 bulan).

Alat yang digunakan: Pengujian karakteristik agregat: saringan, timbangan digital, gelas ukur, oven, mesin penggetar, dan lain-lain. Pembuatan benda uji: moulen, mesin pemadat, cetakan kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm. Uji tekan: mesin uji tekan kapasitas maksimum 1500 kN

Bahan yang digunakan: Semen PCC PT. Bosowa dan PT. Tonasa, batu pecah dan pasir (Bili- Bili), air yang dapat diminum (air PAM)

Prosedur pengambilan dan pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengujian di laboratorium sebagai berikut:

- Uji laboratorium dan rancangan campuran beton (*mix design*)

Uji karakteristik agregat: berat jenis, analisa saringan, *specific gravity* kadar air dan lain-lain.

- b. Merancang campuran beton K- 225 kg/cm²

Metode rancangan campuran (*mix design*) digunakan metode DOE (*Departement of Environment*) yang tertuang dalam "Tata Cara Pembuatan Rancangan Campuran Beton Normal" atau SNI 03-284-1992 (SK SNI T-15-1990-03).

- c. Pembuatan benda uji

Benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm beton dibuat dengan cara: penakaran bahan, pengadukan, pemadatan dengan mesin pemadat .

- d. Perawatan (merendam benda uji) hingga 1 hari sebelum uji tekan
e. Uji kuat tekan pada umur (3, 14, 28, 60, 90) hari, jumlah tiap perlakuan 5 buah benda uji .

- f. Analisis data dan kesimpulan.

ANALISIS PENELITIAN

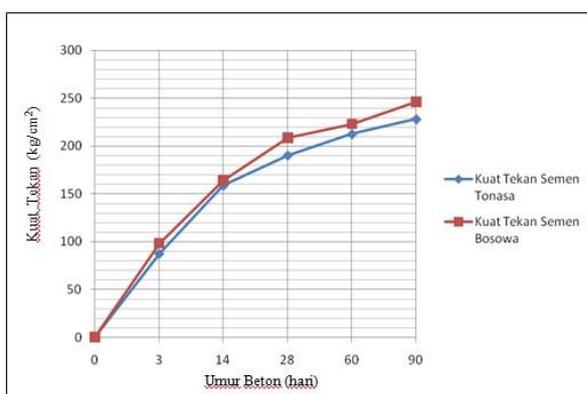
Hasil penelitian yang didapatkan meliputi pengujian karakteristik agregat, mix design, karakteristik beton segar, dan karakteristik beton keras. Dari pengujian beton diperoleh hasil berupa nilai kuat tekan beton menggunakan jenis semen PPC Tonasa dan PCC Bosowa.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton dan Koefisien Umur Beton

Kuat tekan beton rata – rata hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kuat Tekan Rata – rata dan Koefisien Umur Beton

No.	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (kg/cm ²)		Koefisien Umur Beton	
		PCC Semen Tonasa	PCC Semen Bosowa	PCC Semen Tonasa	PCC Semen Bosowa
		1	3	85,45	98,19
2	14	160,84	164,71	0,84	0,79
3	28	191,85	209,08	1	1
4	60	215,18	221,60	1,12	1,06
5	90	234,15	250,83	1,22	1,20

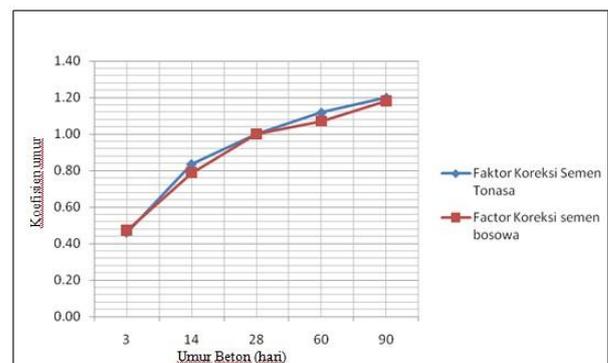


Gambar 1. Hubungan Umur dan Kuat Tekan Rata- Rata Beton

Pada Tabel 3 memperlihatkan hasil uji kuat tekan rata – rata beton dengan menggunakan semen PCC. Hubungan antara umur beton dan kuat tekan rata–rata beton

dengan menggunakan semen PCC PT Semen Tonasa memberikan hasil berturut- turut : 3

hari - 85,54 kg/cm², 14 hari - 160,84 kg/cm², 28 hari - 191,85 kg/cm², 60 hari - 215,18 kg/cm² dan 90 hari - 234,15 kg/cm².



Gambar 2. Hubungan Antara Umur Beton Dengan Koefisien Beton

Demikian halnya dengan beton menggunakan Semen PCC PT Semen Bosowa memberikan hasil : 3 hari - 98,19 kg/cm², 14 hari - 164,71 kg/cm², 28 hari - 209,08 kg/cm², 60 hari - 221,60 kg/cm² dan 90 hari - 250,83 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan secara keseluruhan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada kuat tekan rata - rata antara kedua semen PCC tersebut.

Berdasarkan nilai kuat tekan rata - rata masing - masing umur beton tersebut, maka diperoleh koefisien umur beton seperti yang terdapat pada tabel 3. Hubungan antara umur beton dan koefisien umur beton dengan menggunakan semen PCC PT Semen Tonasa memberikan hasil berturut - turut : 3 hari - 0,45, 14 hari - 0,84, 28 hari - 1,0, 60 hari - 1,12 dan 92 hari - 1,22. Demikian halnya dengan beton menggunakan Semen PCC PT Semen Bosowa memberikan hasil : 3 hari - 0,47, 14 hari - 0,79, 28 hari - 1,0, 60 hari - 1,06 dan 90 hari - 1,20. Kedua jenis Semen PCC tersebut menghasilkan nilai koefisien umur beton yang relative sama. Demikian halnya, apabila koefisien umur beton tersebut dibandingkan dengan koefisien yang dijadikan pedoman (PBI) selama ini dalam mengkonversi kuat tekan beton menjadi 28 hari. Peraturan Beton Indonesia (PBI) merekomendasikan koefisien umur beton semen OPC tipe I yaitu : 3 hari (0,46), 14 hari (0,88), 28 hari (1,00) dan 90 hari (1,18).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut : a. Koefisien umur beton Semen PCC PT Semen Bosowa yaitu : untuk 3 hari = 0,47, 14 hari = 0,79, 28 hari = 1,0, 60 hari = 1,06 dan 90 hari = 1,20, b. Koefisien umur beton Semen PCC PT Semen Tonasa yaitu: 3 hari = 0,45, 14 hari = 0,84, 28 hari = 1,0, 60 hari = 1,12 dan 90 hari = 1,22, c. Koefisien kedua Semen PCC memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dengan koefisien semen OPC tipe I yang direkomendasikan PBI yaitu: 3 hari = 0,46,

14 hari = 0,88, 28 hari = 1,00 dan 90 hari = 1,18.

Sebagai tindak lanjut penelitian ini, disarankan adanya penelitian lanjutan mengenai koefisien umur beton dengan menggunakan bahan tambah (admixture) dan pada beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*).

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *Pedoman Beton*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- , 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campur Beton Normal*. SNI. T. 15-1990-03. Bandung: Yayasan LPMB
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Murdock, L.J. dan K.M Brook. *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi Keempat. Terjemahan oleh Ir. Stephanus Hindarko. 1999. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A.M. 1981. *Properties of Concrete. Second Edition*. The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Rahardianto, Trias dan Sugiharti. 2008. *Kajian Pemilihan Faktor Air Semen Optimal pada Kuat Tekan Beton*. BISTEK Jurnal Bisnis dan Teknologi, volume 16, nomor 1. Dakses 4 Januari 2013.
- Samekto, Wuryati dan Candra Rahmadiyanto. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Kanisius.
- Wahyudi, L. dan Syahril A. Rahim. 1999. *Struktur beton bertulang*. Standar baru SNI T-15-1991 - 03. Jakarta: Gramedia.
- Wangsadinata, Wiratman. dkk. 1971. *Peraturan Beton Indonesia*. Jakarta.

- Wesli,Said Jalalul Akbar. 2011. *Studi Korelasi Faktor Air Semen (Water Cement Ratio) dengan Kuat Tekan Beton Struktural*.Teras Jurnal ,Vol.1,No.1.Diakses 4 Januari 2013.
- Tjokrodimulyo, Kadiono. 2001. *Teknologi Beton*. Jakarta: Erlangga.