

## PENGARUH JENIS SEMEN DAN AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON

*(The influence of the type of cement and coarse aggregate  
on the compression strength of concrete)*

I MADE ALIT KARYAWAN SALAIN  
Fakultas Teknik, Universitas Udayana

### ABSTRACT

*The influence of the type of cement and coarse aggregate on the compression strength of concrete has been studied by using standard cube specimens 150 x 150 x 150 mm. The specimens made by using a mixture by mass of 1.0 cement : 1.4 fine aggregate : 2.1 coarse aggregate and w/c equal to 0.42. The cement used are type I Portland Cement, Portland Pozzolan Cement and Composite Portland Cement. The fine aggregate is natural sand while the coarse aggregate is weathered gravel and crushed aggregate with the maximum diameter of 20 mm. The compression strength test was realized at the age of 3, 7, 28 and 90 days. The result of this study indicates that the development of the compression strength of concrete is strongly influenced by the chemical and physical properties of the cement type and also the type of inorganic admixture used in cement. It is also found out that the influence of the type of coarse aggregate on the compression strength of concrete is only clearly appeared until the hydration age of 28 days and its influence tend to weaken after this period.*

Keywords : *compression strength, type I Portland Cement, Portland Pozzolan Cement, Composite Portland Cement, weathered gravel, crushed aggregate*

### PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan bangunan yang sangat populer digunakan dalam dunia jasa konstruksi. Tidak ada bahan buatan manusia yang digunakan melebihi dari beton di dunia ini. Informasi terakhir menunjukkan bahwa dewasa ini “konsumsi” beton dunia telah mencapai sekitar 8,8 milyar ton per tahun, ekuivalen dengan 1,3 ton untuk tiap manusia di bumi. Jumlah ini nampaknya cenderung akan meningkat mengikuti perkembangan jumlah penduduk serta ilmu pengetahuan dan teknologi. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian tentang beton tentunya akan terus dilaksanakan untuk menjawab tuntutan perkembangan zaman dan kondisi lingkungan.

Diketahui bahwa kinerja beton banyak dipengaruhi oleh bahan pembentuknya : air, semen dan agregat, sehingga pengawasan terhadap mutu dari bahan-bahan tersebut harus diperhatikan dengan seksama agar diperoleh kualitas beton sesuai dengan yang direncanakan. Dalam teknologi beton, semen portland merupakan komponen utama yang berfungsi, bersama dengan air, untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (SNI 15-2049-2004). Berbagai jenis semen portland, melalui pengaturan rancangan bahan dasar, telah dikembangkan dikaitkan dengan macam bangunan dan persyaratan lingkungan dimana beton akan digunakan. Untuk bangunan yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus, umum digunakan semen portland tipe I.

Sebagai upaya untuk menghemat biaya produksi, mengurangi eksploitasi alam akibat penambangan bahan baku semen serta untuk mengatasi permasalahan lingkungan, belakangan ini telah dikembangkan jenis semen portland khusus yaitu semen portland pozzolan dan semen portland komposit. Semen portland pozzolan diproduksi dari campuran klinker semen portland, gips dan bahan mineral yang mempunyai sifat pozzolan (SNI 15-0302-2004). Pozzolan yang digunakan dapat bersumber dari alam seperti batu apung, trass maupun berasal dari limbah industri seperti abu terbang (residu dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik). Semen portland komposit merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik (SNI 15-7064-2004). Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat dan batu kapur. Memperhatikan bahan dasar yang digunakan untuk memproduksi semen portland pozzolan maupun semen portland komposit tentunya jenis semen tersebut akan memiliki karakter yang berbeda dibandingkan dengan semen portland tipe I.

Namun demikian, sejauh mana perbedaan yang ada, dihubungkan dengan perkembangan kekuatan beton yang dihasilkan dengan menggunakan masing-masing dari ketiga jenis semen tersebut masih perlu dipelajari.

Di sisi lain diketahui bahwa penggunaan agregat (halus dan kasar) dalam pembuatan beton dapat mencapai sekitar 75% dari keseluruhan bahan yang diperlukan untuk membuat beton. Dengan demikian tak pelak perhatian terhadap pemilihan jenis maupun karakter dari agregat mendapatkan porsi yang cukup tinggi pula dalam fabrikasi beton.

Umumnya, agregat yang digunakan dalam pembuatan beton dapat berasal dari agregat alami ataupun merupakan hasil pemecahan batu. Dalam literatur disebutkan bahwa beton yang dibuat dengan menggunakan agregat dari hasil pemecahan batu memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan yang dibuat dengan menggunakan agregat alami untuk kondisi lainnya konstan (Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998). Hal ini biasanya dikaitkan dengan perbedaan tekstur dari agregat tersebut. Campuran beton dengan agregat yang bertekstur kasar atau berupa batu pecah akan menunjukkan kekuatan yang lebih besar. Namun demikian tidak disebutkan bagaimana perkembangan perbedaan kekuatan yang dihasilkan oleh beton yang dibuat dengan menggunakan kedua jenis agregat tersebut dihubungkan dengan waktu hidrasinya.

Sehubungan dengan hal tersebut, dalam penelitian ini akan dicari besar pengaruh jenis semen maupun jenis agregat kasar terhadap kuat tekan beton dihubungkan dengan waktu hidrasinya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menambah pengetahuan dalam penggunaan semen maupun agregat kasar dalam pembuatan beton dengan memperhatikan waktu hidrasinya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan campuran beton normal yang terdiri dari air, semen, agregat halus dan agregat kasar. Air untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM pada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Perikat hidrolis yang digunakan terdiri dari semen portland tipe I (PCI), semen portland pozzolan (PPC) dan semen portland komposit (PCC). Untuk agregat halus dipilih pasir alami sedangkan agregat kasar yang ditetapkan untuk digunakan dalam penelitian ini berupa kerikil (KK) dan batu pecah (BP), dengan ketentuan diameter maksimum butirannya adalah 20 mm.

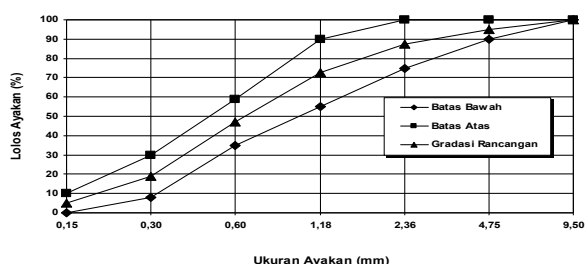
Beberapa properti kimia dan fisik dari semen diberikan pada Tabel 1, sedangkan properti fisik dari agregat halus dan kasar dicantumkan pada Tabel 2. Pada Gambar 1 dan Gambar 2 berturut-turut ditunjukkan gradasi rancangan dari agregat halus dan kasar yang digunakan dalam penelitian. Gradasi butiran agregat halus (pasir) dirancang memenuhi katagori zona 2 sedangkan untuk agregat kasar (kerikil atau batu pecah), distribusi butirannya dirancang untuk butiran dengan diameter maksimum 20 mm sesuai standar SNI 03-2834-2000.

Tabel 1. Properti kimia dan fisik dari semen

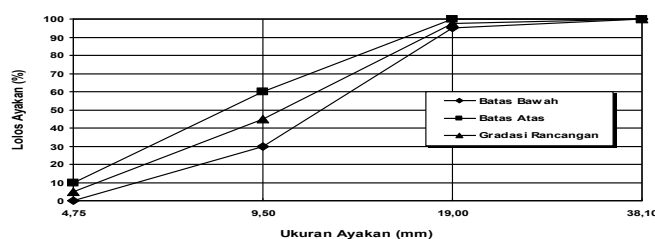
Jenis Semen	PCI	PPC	PCC
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,49	8,76	7,40
CaO (%)	65,21	58,66	57,38
SiO <sub>2</sub> (%)	20,92	23,13	23,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,78	4,62	3,36
Kehalusan (%)	4,00	5,00	2,00
Berat Isi (kg/l)	1,29	1,19	1,15

Tabel 2. Properti fisik dari agregat halus dan kasar

Agregat	Pasir	Kerikil	Batu Pecah
Berat Satuan (kg/l)	1,57	1,52	1,49
Berat Jenis SSD	2,59	2,66	2,74
Penyerapan Air (%)	1,42	2,80	1,74
Kadar Lumpur (%)	3,70	2,20	0,20
Kadar Air (%)	6,95	4,60	1,20
Kekerasan dengan	-	20,00	14,00



Gambar 1. Gradasi rancangan agregat halus



Gambar 2. Gradasi rancangan agregat kasar

Untuk masing-masing tipe semen dan agregat kasar dibuat benda uji beton berupa kubus dengan rusuk 150 x 150 x 150 mm. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan berat yang konstan antara semen : agregat halus : agregat kasar sebesar 1,0 : 1,4 : 2,1 dengan nilai faktor air semen (fas) ditetapkan sebesar 0,42. Pencampuran beton dilakukan dengan *mixer* dimana sebelum dicampur agregat disiapkan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD).

Jumlah benda uji yang disiapkan disesuaikan dengan jenis semen dan jenis agregat kasar yang digunakan, umur uji serta jumlah benda uji per pengujian. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari dengan menggunakan masing-masing 5 benda uji untuk setiap umur uji. Dengan demikian total benda uji yang dibuat secara keseluruhan dengan variasi 3 jenis semen dan 2 jenis agregat kasar adalah 120 (seratus dua puluh) buah.

Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetaknya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetaknya untuk selanjutnya mendapatkan perawatan. Perawatan dilaksanakan dengan menutup benda uji dengan karung yang dibasahi secara periodik sampai dengan waktu yang ditentukan untuk pengujian kuat tekan. Uji kuat tekan dilaksanakan dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 2000 kN. Gambar 3 berikut menampilkan pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm.



Gambar 3. Pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji

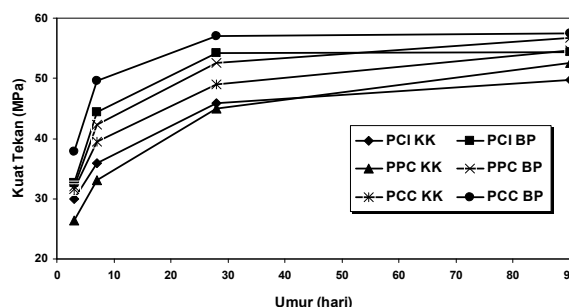
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji kuat tekan pada berbagai umur uji untuk masing-masing variasi jenis semen dan jenis agregat kasar disajikan pada Tabel 3. Pada Gambar 4 ditampilkan kurva yang menunjukkan hubungan antara kuat tekan dengan umur hidrasi untuk setiap jenis semen dan agregat kasar yang digunakan.

Tabel 3. Kuat tekan beton (MPa) pada berbagai umur dengan variasi jenis semen dan agregat kasar

	Umur (hari)	Jenis Semen		
		PCI	PPC	PCC
KK	3	29,96	26,32	31,54
	7	35,96	33,11	39,42
	28	45,83	45,02	49,00
	90	49,78	52,50	54,67
BP	3	32,67	32,00	37,78
	7	44,44	42,28	49,61
	28	54,22	52,53	57,02
	90	54,36	56,67	57,47

Gambar 4. Perkembangan kuat tekan beton dengan variasi jenis semen dan agregat pasir



Dari Tabel 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa nilai kuat tekan meningkat dengan bertambahnya umur beton, dari umur 3 hari hingga mencapai umur 90 hari. Peningkatan kekuatan terjadi terutama pada umur-umur awal hingga mencapai umur 28 hari. Hal ini terjadi pada setiap jenis semen dan agregat kasar yang digunakan dalam beton. Pada penggunaan agregat kasar berupa KK, kuat tekan beton dengan penggunaan perekat berupa PCI, PPC dan PCC, dari umur 3 hari hingga mencapai umur 90 hari, meningkat berturut-turut dari 29,96 MPa menjadi 49,78 MPa, 26,32 MPa menjadi 52,50 MPa dan 31,54 MPa menjadi 54,67 MPa. Untuk penggunaan agregat kasar berupa BP pada penggunaan perekat dan periode yang sama, nilai kuat tekannya meningkat berturut-turut dari 32,67 MPa menjadi 54,36 MPa, 32,00 MPa menjadi 56,67 MPa dan 37,78 MPa menjadi 57,47 MPa.

Ditinjau dari jenis semen yang digunakan, terlihat bahwa beton dengan perekat berupa PCC mampu mengembangkan kekuatan yang lebih tinggi untuk setiap umur hidrasi bila dibandingkan dengan beton dengan perekat lainnya baik pada penggunaan agregat kasar berupa KK maupun BP. Pada umur 90 hari, beton dengan perekat PCC dengan agregat kasar berupa KK maupun BP mampu mengembangkan kuat tekan sebesar 110% dan 106% dari kuat tekan yang dihasilkan beton dengan perekat PCI untuk penggunaan agregat yang sama. Untuk waktu dan penggunaan agregat yang serupa, beton dengan perekat PCC dapat mengembangkan kuat tekan sebesar 104% dan 101% dari kuat tekan yang dihasilkan beton dengan perekat PPC.

Selanjutnya dari Tabel 3 dan Gambar 4 tersebut terlihat pula bahwa perkembangan kekuatan pada beton dengan perekat PPC nampak lebih lambat dibandingkan dengan beton dengan perekat lainnya sehingga menghasilkan kuat tekan terendah pada umur awal. Namun demikian dengan bertambahnya waktu hidrasi kuat tekan yang dihasilkan oleh beton dengan perekat PPC dapat melampaui kuat tekan beton yang dibuat dengan PCI. Hal ini terjadi setelah umur hidrasi melampaui 40 dan 50 hari masing-masing pada penggunaan agregat kasar KK dan BP. Pada umur 90 hari, beton dengan perekat PPC dengan agregat kasar berupa KK maupun BP mampu mengembangkan kuat tekan sebesar 105% dan 104% dari kuat tekan yang dihasilkan beton dengan perekat PCI untuk penggunaan agregat yang sama. Melihat perkembangan yang terjadi, nampaknya kuat tekan beton dengan PPC bahkan akan dapat menyamai atau melampaui kuat tekan beton dengan PCC bila waktu hidrasi melampaui 90 hari.

Di sisi lain, terlihat bahwa penggunaan agregat kasar berupa BP pada beton memberikan hasil yang lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan agregat kasar berupa KK, terutama pada umur-umur awal hingga mencapai umur hidrasi 28 hari. Setelah melampaui periode tersebut, perkembangan kekuatan pada beton yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar berupa BP pada penggunaan perekat berupa PCI maupun PCC cenderung mengalami stabilisasi kecuali pada penggunaan perekat PPC yang tetap menunjukkan peningkatan kuat tekan secara konsisten. Demikian halnya pada beton dengan penggunaan agregat kasar berupa KK untuk tiap jenis semen yang digunakan, walaupun perkembangan kekuatan setelah 28 hari terlihat melambat namun tetap menunjukkan peningkatan kuat tekan yang cukup tajam.

Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa semakin bertambah umur beton semakin tinggi kekuatan beton yang dihasilkan. Hal ini jelas berkaitan dengan proses pengerasan yang terjadi di dalam pasta semen sehubungan dengan perbedaan reaktivitas masing-masing mineral pembentuk semen. Umum diketahui bahwa mineral C<sub>3</sub>S yang lebih cepat bereaksi dengan air akan berkontribusi terhadap kekuatan awal sedangkan

mineral  $C_2S$  yang bereaksi lebih lambat akan menyumbangkan kekuatan pada umur panjang. Di sisi lain, melambatnya perkembangan kekuatan beton pada umur panjang dapat 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 (Mehta, 1986).

Perkembangan kuat tekan yang cepat serta nilai kuat tekan yang lebih tinggi yang dihasilkan oleh beton dengan perekat PCC dibandingkan dengan beton dengan perekat PCI maupun PPC dapat dihubungkan dengan properti kimia dan fisik serta jenis bahan anorganik yang ditambahkan dalam semen-semen tersebut. Dari sisi kandungan kimia (lihat Tabel 1), nampaknya proporsi kandungan  $CaO$  dan  $SiO_2$  pada perekat PCC merupakan komposisi yang dapat menghasilkan senyawa perekat C-S-H yang lebih masif dibandingkan dengan perekat lainnya sehingga berpeluang menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Lebih-lebih dengan kondisi butiran semen PCC yang paling halus di antara semen yang digunakan (lihat Tabel 1) maka jelas hal ini akan mempercepat reaksi yang terjadi, sehingga perkembangan kekuatan maupun nilainya meningkat dengan pesat dibandingkan dengan beton dengan perekat lainnya. Selebihnya diketahui pula bahwa perekat PCC dihasilkan dari penggilingan bersama-sama antara klinker semen portland dan gips dengan bahan anorganik seperti terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat dan batu kapur. Bahan anorganik ini merupakan bahan berkarakter semen (Lea, 1970; Mehta, 1986) yang dapat berfungsi sebagai perekat setelah diaktifkan (terak tanur tinggi) atau setelah bereaksi dengan kapur bebas (pozzolan, senyawa silikat). Dengan langsung tersedianya kalsium sulfat maupun kapur bebas dalam PCC maka reaksi berkarakter perekat tersebut dapat terjadi dengan leluasa. Dengan demikian kapur bebas yang tersedia dapat dimanfaatkan oleh bahan anorganik tersebut secara optimal untuk menghasilkan senyawa perekat, utamanya kalsium silikat hidrat C-S-H, yang berdampak langsung pada peningkatan kekuatan yang dihasilkan beton.

Di sisi lain, lambatnya perkembangan kuat tekan pada beton dengan perekat PPC erat kaitannya dengan lambatnya reaksi pozzolanik yang terjadi karena kapur bebas yang diperlukan untuk bereaksinya pozzolan hanya bersumber dari hasil reaksi mineral  $C_3S$  dan  $C_2S$  dengan air. Di samping itu, lambatnya perkembangan ini juga berhubungan dengan ukuran butiran dari semen PPC yang dalam hal ini memiliki butiran paling kasar dibandingkan dengan semen lainnya (lihat Tabel 1). Namun demikian dengan berlalunya waktu hidrasi, nampak bahwa kapur bebas yang dilepas pada proses hidrasi mineral  $C_3S$  dan  $C_2S$  dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pozzolan untuk menghasilkan senyawa perekat C-S-H tambahan. Hal ini terlihat dari terjadinya perkembangan kuat tekan yang terus berlanjut disaat perkembangan kuat tekan beton dengan perekat lainnya terlihat melambat atau mengalami stabilisasi. Fenomena ini sesuai dengan apa yang disebutkan di dalam literatur (Lea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998).

Perbedaan tekstur dari agregat kasar yang digunakan dalam adukan beton memang dapat mempengaruhi kuat tekan yang dihasilkan oleh beton. Terlihat bahwa penggunaan BP yang memiliki tekstur permukaan yang lebih kasar bila dibandingkan dengan KK menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, terutama pada umur awal hingga mencapai umur 28 hari. Fenomena ini dapat disebabkan karena ikatan antara pasta maupun mortar dengan agregat menjadi lebih kokoh akibat kekasaran permukaan agregat kasar (Mehta, 1986; Murdock and Brook, 1986). Cengkeraman ikatan antar fase pada beton tersebut menjadi lebih solid sehingga daerah transisi yang merupakan bagian terlemah pada struktur beton menjadi lebih kuat yang akhirnya dapat meningkatkan kuat tekan material secara keseluruhan.

Namun demikian, waktu hidrasi nampaknya memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan perbedaan kekuatan yang dihasilkan oleh beton dengan agregat kasar yang berbeda tersebut. Pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari, kuat tekan beton yang dibuat dengan agregat kasar berupa KK adalah berturut-turut 92%, 81%, 85% dan 92% dari kuat tekan beton yang dibuat dengan agregat kasar berupa BP untuk penggunaan perekat PCI. Untuk umur yang sama dan pada penggunaan perekat berupa PPC serta PCC rasio tersebut menjadi berturut-turut 82%, 78%, 86% dan 93% serta 83%, 79%, 86% dan 95%. Di sini terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu, beton yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar berupa KK secara teratur dapat mengejar ketertinggalan kekuatan yang dihasilkan pada beton yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar berupa BP.

Lumayan tingginya perbedaan kuat tekan yang dihasilkan oleh beton dengan agregat kasar yang berbeda hingga mencapai umur 28 hari erat kaitannya dengan terjadinya ikatan fisik yang lebih baik antara agregat kasar berupa BP yang bertekstur kasar dengan pasta semen dibandingkan dengan agregat kasar berupa KK yang teksturnya relatif lebih halus. Namun dengan bertambahnya umur hidrasi, dimana interaksi kimia antara permukaan agregat kasar dengan pasta semen mulai menampakkan efeknya (Mehta, 1986; Druex et Festa, 1995): pengaruh kekasaran terhadap kekuatan berkurang sehingga di umur panjang perbedaan kekuatan nampaknya tidak akan terlalu signifikan bagi beton yang dibuat dengan agregat kasar berupa KK maupun BP.

Hal ini juga terlihat dari kecenderungan perkembangan kuat tekan yang dihasilkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Jelasnya, perkembangan kekuatan pada beton dengan agregat kasar BP pada penggunaan PCI dan PCC nampak telah menunjukkan stabilisasi setelah 28 hari, sedangkan pada beton dengan agregat kasar KK walaupun terlihat melambat namun jelas masih menunjukkan perkembangan, sehingga berpeluang untuk menghasilkan kekuatan yang menyamai beton dengan agregat kasar BP. Sedikit berbeda yang terjadi pada beton dengan agregat kasar BP dan perekat PPC yang masih menampakkan perkembangan kuat tekan cukup tajam setelah umur 28 hari. Fenomena ini, seperti telah dijelaskan sebelumnya, terkait dengan lambatnya reaksi yang terjadi pada pasta PPC yang mengandung pozzolan, sehingga kecenderungan perkembangan kuat tekan yang terjadi pada beton tersebut setelah umur 28 hari lebih banyak disumbangkan oleh reaksi pozzolanik PPC daripada agregat kasar BP.

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Properti kimia dan fisik serta jenis bahan anorganik yang ditambahkan dalam semen yang digunakan dalam pembuatan beton mempengaruhi kecepatan perkembangan kuat tekan serta nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh beton.
2. Beton dengan perekat berupa PCC mampu mengembangkan kekuatan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton dengan perekat lainnya.
3. Pada umur 90 hari, beton dengan perekat PCC dengan agregat kasar berupa KK atau BP mampu mengembangkan kuat tekan sebesar 110% atau 106% dan 104% atau 101% dari kuat tekan yang dihasilkan beton dengan perekat masing-masing PCI dan PPC pada penggunaan agregat yang sama.
4. Perkembangan kekuatan pada beton dengan perekat PPC lebih lambat di umur awal dibandingkan dengan beton dengan perekat lainnya, namun setelah umur hidrasi melampaui 40 dan 50 hari, masing-masing pada penggunaan agregat kasar KK dan BP, kuat tekan yang dihasilkan oleh beton dengan perekat PPC dapat melampaui kuat tekan beton yang dibuat dengan PCI.
5. Pada umur 90 hari, beton dengan perekat PPC dengan agregat kasar berupa KK atau BP mampu mengembangkan kuat tekan sebesar 105% atau 104% dari kuat tekan yang dihasilkan beton dengan perekat PCI untuk penggunaan agregat yang sama.
6. Pengaruh jenis agregat kasar (KK atau BP) terhadap kekuatan beton hanya nampak jelas hingga mencapai umur hidrasi 28 hari, setelah periode tersebut pengaruhnya cenderung melemah.
7. Pada umur 90 hari, kuat tekan beton dengan penggunaan agregat kasar berupa KK untuk penggunaan perekat PCI, PPC dan PCC adalah berturut-turut 92%, 93% dan 95% dari kuat tekan beton dengan penggunaan agregat kasar berupa BP.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2000, *Standar Nasional Indonesia Untuk Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2000*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *Standar Nasional Indonesia Untuk Semen Portland SNI 15-2049-2004*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *Standar Nasional Indonesia Untuk Semen Portland Pozzolan SNI 15-0302-2004*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *Standar Nasional Indonesia Untuk Semen Portland Komposit SNI 15-7064-2004*.
- Druex, G. et Festa, J., 1995, *Nouveau guide du béton*, 7<sup>ème</sup> édition, Eyrolles, Paris.
- Lea, F. M., 1970, *The Chemistry of Cement and Concrete*, 3<sup>rd</sup> edition, Edward Arnold Ltd, London.
- Mehta, P. K., 1986, *Concrete : structure, properties and materials*, 1<sup>st</sup> edition, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Murdock, L. J. and Brook, K. M., 1986, *Concrete Materials and Practice* (Ahli Bahasa Ir. Stephanus Hendarko), Erlangga, Jakarta.
- Neville, M. and Brooks, J.J., 1998, *Concrete Technology*, Updated, Longman Singapore Publishers Pte Ltd.