

Peran Semen Portland Tipe I dan Portland Komposit Atas Ketidaksesuaian Perkembangan Kuat Tekan Pada Beton Mutu Normal Terhadap PBI 1971

Prima Sandy Yonanda¹⁾

Chatarina Niken DWSBU²⁾

Vera Agustriana Noorhidana³⁾

Abstract

Table 4.1 of PBI 1971 was no longer relevant. To identify that problem, this research was done by creating 160 cube concrete samples from OPC and 120 cube concrete samples from PCC by using 4 different PCC and OPC brands that consist of Dynamix, Baturaja, Tigaroda and Padang. Moreover, the samples are consists of 2 different targeted concrete compressive strength which are K250 and K400 and the samples were tested in the age of 7, 14, 21, 28 and 56 days. Aside of that, the chemical properties in each of used cements were also tested to identify the impact of chemical properties of cements to the compressing strength progress of all samples.

Based on the research, it was identified that the chemical properties of cements that consist of C_3S , C_2S , C_3A and C_4AF were very influential in the process of compressive strength progress of all samples. Last, it was known that the compressing strength development of both OPC and PCC samples were not aligned to the PBI 1971 estimation. Besides, the procedure of all samples have followed the British Standard and ASTM regulation. In conclusion, based on the research PBI 1971 was no longer relevant to be used as the reference for concrete compressing strength progress.

Keywords: Concrete, compressive strength progress, cement chemical properties, incompatibility, tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, tetracalcium aluminoferrite.

Abstrak

Tabel 4.1 Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 tidak lagi relevan. Guna mengidentifikasi masalah tersebut, penelitian ini dilakukan dengan membuat 160 sampel beton kubus dari *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan 120 sampel beton kubus dari *Portland Composite Cement* (PCC) dengan menggunakan 4 variasi merk semen yaitu Dynamix, Baturaja, Tigaroda dan Padang. Sampel beton yang dibuat terdiri atas dua variasi kuat tekan yaitu K250 dan K400 yang diuji kuat tekannya pada usia 7, 14, 21, 28 dan 56 hari. Untuk mengetahui penyebab ketidaksesuaian tersebut dilakukan uji unsur dan sifat kimia yang terkandung dalam semen yang digunakan.

Pada penelitian ini, diketahui bahwa persentase sifat kimia pada semen baik C_3S , C_2S , C_3A maupun C_4AF sangat berpengaruh terhadap proses perkembangan kuat tekan beton. Namun terdapat beberapa sifat kimia semen yang menunjukkan hasil yang terlampaui tinggi sehingga koefisien pada SNI-15-2049-2015 Pasal 5 Tabel 5 yang digunakan untuk menghitung $\%C_3S$, $\%C_2S$, $\%C_3A$ maupun $\%C_4AF$ perlu didalami. Dari penelitian ini diketahui bahwa perkembangan kuat tekan seluruh sampel beton baik sampel OPC maupun PCC secara keseluruhan tidak ada yang sesuai dengan estimasi PBI 1971, padahal perlakuan sampel secara keseluruhan telah mengikuti *British Standard* dan *ASTM* terkait. Dengan begitu, berdasarkan penelitian ini PBI 1971 tidak lagi relevan digunakan sebagai acuan perkembangan kuat tekan beton.

Kata kunci: Beton, perkembangan kuat tekan, sifat kimia semen, ketidaksesuaian, trikalsium silikat, dikalsium silikat, trikalsium aluminat, tetrakalsium aluminoferrit.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material campuran antara semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Dalam mencapai kuat tekannya, beton tidak langsung mencapai kuat tekan yang direncanakan. Beton mengalami proses perkembangan kekuatan secara perlahan dan umumnya mencapai kuat tekan rencana (f'_c) pada usia ke-28 hari. Untuk memastikan proses perkembangan kuat tekan beton, para pelaksana konstruksi di Indonesia masih mengacu pada Tabel 4.1.4 Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 dan masih menggunakan istilah K untuk menyatakan kuat tekan beton. Namun belakangan ini, terjadi permasalahan lain yaitu adanya ketidaksesuaian perkembangan kuat tekan beton yang ada diproyek terhadap PBI 1971. Priastiwi (2011) menyatakan hal tersebut dapat terjadi karena penggunaan merk semen yang berbeda-beda. Hal tersebut juga divalidasi oleh Irawan (2017) yang menyatakan bahwa PBI 1971 tidak lagi relevan digunakan sebagai acuan terkait perkembangan kuat tekan. Hal tersebut disebabkan karena PBI 1971 hanya berlaku untuk sampel OPC. Sedangkan pada era kini semen sudah semakin banyak variasi. Bahkan sampel OPC pun tidak lagi memiliki perkembangan kuat tekan yang sesuai dengan PBI 1971. Selain itu, perbedaan merk semen yang digunakan tersebut dapat berpengaruh terhadap waktu pengerasan beton sehingga kuat tekannya bisa secara signifikan berbeda dengan standar korelasi kuat tekan yang dikeluarkan oleh PBI 1971. Permasalahan tersebut mendorong dilakukannya penelitian ini untuk mengkaji secara ilmiah serta menyelidiki kandungan semen yang mempengaruhi ketidaksesuaian yang terjadi dalam bentuk studi eksperimental.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Beton Mutu Normal

Beton mutu normal adalah beton yang memiliki berat isi berkisar 2200-2500 kg/m³ dengan kuat tekan rencana dibawah 40 MPa (Almufid, 2015). Beton normal umumnya digunakan untuk keperluan proyek dengan beban yang ringan dan sedang misalnya perumahan, ruko, sekolah dan lain-lain.

2.2. Rasio Kuat Tekan Beton

Beton sendiri tidak langsung mencapai kuat tekan yang direncanakan. Beton terus mengalami perkembangan kuat tekan hari demi hari hingga mencapai kuat tekannya. Adapun perkembangan kuat tekan beton sendiri tercantum didalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 Tabel 4.1.4 yang terangkum didalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 1. Konversi Perkembangan Kuat Tekan Beton

No.	Umur (hari)	Rasio Kuat Tekan
1.	3	0,40
2.	7	0,65
3.	14	0,88
4.	21	0,95
5.	28	1,00
6.	90	1,20
7.	365	1,35

(Sumber: PBI 1971 Tabel 4.1.4)

2.3. Semen Portland Tipe I dan *Portland Composite Cement* (PCC)

Dari berbagai tipe semen yang ada, semen yang paling umum digunakan adalah semen *Portland* tipe I dan PCC karena semen tipe ini tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus dalam pengerjaannya.

Semen Portland memiliki sifat dan karakteristik kimiawi yang masing-masing dibedakan menjadi 4 (SNI 15-2049-2015), yaitu:

1. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S yang berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton pada 14 hari awal.
2. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S yang berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton setelah 14 hari.
3. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A yang berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan 24 jam awal.
4. Tetra kalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF yang berpengaruh untuk menetralkan C_3A agar tidak terlalu agresif.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan yang meliputi sebelum dan sesudah membuat sampel dengan penjelasan sebagai berikut.

3.1.1. Sebelum Pembuatan Sampel

3.1.1.1. Pengujian material dasar

Beberapa material dasar yang digunakan dalam penelitian adalah agregat halus, agregat kasar dan air. Material-material dasar diuji sebagai berikut.

Tabel 2. Daftar Pengujian Material Dasar

No.	Jenis Pengujian	Acuan
1.	Kandungan Zat Organik	ASTM C40M-11
2.	Kandungan Kadar Lumpur	ASTM C117-95
3.	Berat Jenis Semu	ASTM C128-73
4.	Berat Jenis SSD	ASTM C128-73
5.	Berat Jenis Kering	ASTM C128-73
6.	Modulus Kehalusan	ASTM C33-78
7.	Berat Jenis Semu	ASTM C128-73
8.	Berat Jenis SSD	ASTM C128-73
9.	Berat Jenis Kering	ASTM C128-73
10.	Keausan (Abrasi)	ASTM C-535
11.	Modulus Kehalusan	ASTM C33-7

3.1.1.2. Pengujian sifat kimia semen

Semen yang digunakan didalam penelitian ini adalah *Portland Composite Cement (PCC)* dan *Ordinary Portland Cement (OPC)* dengan merk semen Dynamix, Baturaja, Tigaroda dan Padang. Semen-semen tersebut kemudian diuji sifat kimianya di Laboratorium Terpadu dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 3. Daftar Sifat Kimia Semen Yang Diuji

No.	Sifat Kimia Semen	Acuan
1.	Bagian tak terlarut	
2.	Silikon dioksida (SiO_2)	
3.	Ammonium hidroksida (R_2O_3)	
4.	Besi (III) oksida (Fe_2O_3)	SNI 15-2049-2004 Pasal 7.1.3.1 tentang Metode <i>refere</i>
5.	Posfor pentaoksida (P_2O_5)	
6.	Titanium dioksida (TiO_2)	
7.	Kalsium oksida (CaO)	
8.	Alumunium oksida (Al_2O_3)	

3.1.2. Sesudah Pembuatan Sampel

3.1.2.1. Membuat perhitungan *mix design* beton

Setelah mendapatkan data hasil pengujian material dasar, selanjutnya melakukan perhitungan *mix design* dengan menggunakan SNI 03-2834-2000 Pasal 4.2.3.1 sebagai acuan.

3.1.2.2. Pembuatan sampel beton

Trial mix dilakukan untuk mengetahui aplikasi perhitungan *mix design* dalam proses pembuatan sampel beton. Apabila dalam proses *trial mix* komposisi beton sudah cukup baik, maka perhitungan *mix design* dapat langsung diaplikasikan kedalam proses pembuatan sampel. Sampel dibuat sejumlah 160 untuk OPC dan 120 untuk PCC dengan variasi pengujian 7, 14, 21, 28 dan 56 hari. Sampel dibuat dengan menggunakan *mold* kubus. Jangka waktu *curing* bervariasi antara sampel OPC dengan sampel PCC. Seluruh sampel OPC dilakukan *curing* perendaman dari 24 jam setelah pengecoran sampai dengan tiga hari sebelum pengujian. Sama dengan sampel OPC, *curing* pada sampel PCC dilakukan dari 24 jam setelah pengecoran sampai dengan tiga hari sebelum pengujian. Setelah sampel diangkat dari proses *curing*, sampel kemudian didiamkan didalam suhu ruangan beberapa hari sampai tiba hari pengujian sampel.

3.1.2.3. Pengujian sampel beton

Pengujian pada sampel sendiri yaitu uji kuat tekan. Uji kuat tekan dilakukan setelah sampel didiamkan disuhu ruangan selama 3 hari. Setelah itu seluruh sampel baik sampel beton usia 7, 14, 21, 28 maupun 56 hari diuji kuat tekannya dengan *Compressive Testing Machine* dengan formulasi berikut.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana, f_c' adalah kuat tekan dalam kg/cm^2 , P adalah beban tekan (kg) dan A adalah luas penampang benda uji (cm^2)

3.1.2.4. Pengolahan Data

Data hasil pengujian kuat tekan dan data sifat kimia semen diolah dan dihubungkan satu sama lain. Pengolahan data hasil pengujian kuat tekan dianalisis secara statistik berdasarkan ASTM E-178-02 dengan menggunakan metode uji standar deviasi satu arah dan *Dixon Criteria* dengan formulasi berikut.

$$Q_l = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1} \quad (2)$$

$$Q_h = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} \quad (3)$$

Dimana, data diurutkan dari terendah ke tertinggi, X_n = Nilai data tertinggi

Hasil pengolahan tersebut dibandingkan dengan nilai perkembangan kuat tekan PBI 1971 Tabel 4.1.4. Ketidaksesuaian yang ditemukan dianalisis penyebabnya dari unsur kimia yang terkandung dengan tahapan perhitungan berikut.

$$P = \frac{S_i}{S_{28}} \quad (4)$$

Dimana, P adalah Rasio kuat tekan beton, S_i adalah tekan beton usia ke-i dan S_{28} adalah Kuat tekan beton usia 28 hari berdasarkan PBI 1971.

Setelah mengetahui rasio kuat tekan pada sampel beton berdasarkan pengujian CTM dan PBI 1971, maka selanjutnya adalah menghitung persentase ketidaksesuaian hasil (R) antara hasil pengujian CTM yang telah lolos uji *Dixon Criteria* dengan PBI 1971 dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{V2 - V1}{V1} \times 100 \quad (5)$$

Dimana, R adalah persentase ketidaksesuaian hasil uji sampel beton, V1 adalah Kuat tekan atau rasio kuat tekan sampel berdasarkan PBI 1971 dan V28 adalah Kuat tekan atau rasio kuat tekan sampel berdasarkan pengujian CTM yang telah lolos uji *Dixon Criteria*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat Kimia Semen

Adapun hasil pengujian sifat kimia semen yang berupa kandungan Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Trikalsium Aluminat (C_3A) dan Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) di Laboratorium UI-Chem Lab, FMIPA Universitas Indonesia adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Persentase C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF Dari Tiap Sampel Semen

No.	Nama Sampel	C_3S %	C_2S %	C_3A %	C_4AF %
1.	Semen OPC Dynamix	37,378	27,336	0,000	23,401
2.	Semen OPC Baturaja	93,053	19,080	0,000	15,337
3.	Semen OPC Tigaroda	35,561	61,333	4,730	10,985
4.	Semen OPC Padang	135,106	46,792	0,000	16,219
5.	Semen PCC Dynamix	4,166	56,892	0,000	16,676
6.	Semen PCC Baturaja	19,779	51,564	0,538	11,137
7.	Semen PCC Tigaroda	102,890	21,091	6,557	5,508
8.	Semen PCC Padang	2,823	59,998	4,083	14,48

Tabel 4 berisi persentase C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF dari tiap sampel semen produksi baru yang diuji secara mandiri di Laboratorium UI-Chem Universitas Indonesia. Namun sebelumnya Irawan (2017), Widodojoko (2010) dan Ningsih (2012) dalam penelitian mereka telah menguji sifat kimia OPC yang masing-masing adalah merk Tigaroda, Baturaja, Dynamix dan Padang (Tabel 5).

Tabel 5. C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF Tiap Sampel Merk Semen Produksi tahun 2010 s/d 2017

No.	Sifat Kimia Semen (%)	OPC Dynamix (Ningsih, 2012)	OPC Baturaja (Widojoko, 2010)	OPC Tigaroda (Irawan, 2017)	OPC Padang (Irawan, 2017)
1.	Trikalsium Silikat (C_3S)	50	31,52	43,28	31,55
2.	Dikalsium Silikat (C_2S)	25	29,89	22,03	23,22
3.	Trikalsium Alumat (C_3A)	12	21,32	16,07	25,99
4.	Tetrakalsium Aluminiferit (C_4AF)	8	15,83	17,42	16,9

Dari Tabel 4 dan Tabel 5, diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara OPC Dynamix, Baturaja, Tigaroda dan Padang pada produksi baru dan produksi 2 s/d 10 tahun kebelakang. Setelah mengidentifikasi perbedaan keduanya, selanjutnya adalah menyelidiki bagaimana peran sifat kimia OPC dan PCC produksi baru terhadap perkembangan kuat tekan beton.

4.2. Rasio Perkembangan Kuat Tekan Beton Normal Sampel

Setelah melakukan pengujian pada sampel beton, dilakukan perhitungan rasio kuat tekan beton baik pada usia 7, 14, 21, 28 dan 56 hari. Dalam hal ini, perlu diketahui bahwa yang menjadi acuan perhitungan rasio kuat tekan adalah hasil pengujian sampel usia 28 hari. Setelah itu rasio kuat tekan yang dihasilkan dibandingkan dengan estimasi PBI 1971. Dari situ, diketahui bahwa sampel secara keseluruhan tidak sesuai dengan estimasi PBI 1971 (Tabel 6 s/d Tabel 9).

Tabel 6. Perkembangan Kuat Tekan Beton Normal OPC K250

No.	Usia Sampel Beton (hari)	OPC Dynamix	OPC Baturaja	OPC Tigaroda	OPC Padang	Rata-rata
1.	7 hari	0,608	0,716	0,646	0,939	0,727
2.	14 hari	0,733	1,002	0,893	1,059	0,922
3.	21 hari	0,837	1,029	0,913	0,973	0,938
4.	28 hari	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5.	56 hari	1,068	0,803	0,971	0,852	0,923

Tabel 7. Perkembangan Kuat Tekan Beton Normal OPC K400

No.	Usia Sampel Beton (hari)	OPC Dynamix	OPC Baturaja	OPC Tigaroda	OPC Padang	Rata-rata
1.	7 hari	0,703	0,902	0,781	0,950	0,834
2.	14 hari	0,864	1,022	1,014	0,968	0,967
3.	21 hari	0,903	1,039	0,952	0,984	0,969
4.	28 hari	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5.	56 hari	1,150	0,980	1,042	0,998	1,043

Tabel 8. Perkembangan Kuat Tekan Beton Normal PCC K250

No.	Usia Sampel Beton (hari)	PCC Dynamix	PCC Baturaja	PCC Tigaroda	PCC Padang	Rata-rata
1.	7 hari	0,822	0,561	0,559	0,673	0,654
2.	14 hari	0,842	0,703	0,789	0,826	0,790
3.	21 hari	0,926	0,810	0,853	0,901	0,872
4.	28 hari	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5.	56 hari	1,070	0,951	1,122	1,061	1,051

Tabel 9. Perkembangan Kuat Tekan Beton Normal PCC K400

No.	Usia Sampel Beton (hari)	PCC Dynamix	PCC Baturaja	PCC Tigaroda	PCC Padang	Rata-rata
1.	7 hari	0,867	0,689	0,815	0,820	0,798
2.	14 hari	0,912	0,762	0,917	0,887	0,869
3.	21 hari	0,925	0,909	0,963	0,930	0,932
4.	28 hari	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5.	56 hari	1,486	0,934	1,208	1,219	1,212

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Estimasi perkembangan kuat tekan beton normal pada PBI 1971 tidak relevan lagi digunakan sebagai acuan standar baik pada proyek maupun studi laboratorium. Hal tersebut dikarenakan tidak ada satupun sampel pada penelitian ini baik sampel K250 OPC dan PCC maupun K400 OPC dan PCC yang memiliki perkembangan kuat tekan 7, 14, 21, 28 dan 56 hari yang sesuai dengan estimasi PBI 1971.
2. Tidak ada satupun sampel dengan kuat tekan rencana K400 baik OPC maupun PCC yang tercapai. Sampel K400 secara keseluruhan hanya mencapai K338 bahkan diusia 56 hari.
3. Sifat kimia semen yang meliputi Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Trikalsium Aluminat (C_3A) dan Tetrakalsium Aluminoferit (C_4AF) terbukti berdampak signifikan dalam menjalankan peran masing-masing dalam proses perkembangan kuat tekan beton. Namun persentase sifat kimia semen yang lebih besar belum tentu memiliki dampak yang lebih baik dibandingkan yang lebih kecil.
4. Koefisien pada perhitungan jumlah C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF pada SNI-15-2049-2015 perlu dikaji ulang. Hal tersebut dikarenakan terdapat beberapa sifat kimia semen yang dinilai memiliki kadar C_3S yang terlampau tinggi yaitu OPC Baturaja, OPC Padang dan PCC Tigaroda yang masing-masing sebesar 93,053%, 135,106% dan 102,890% padahal umumnya kadar C_3S memiliki kadar dibawah 70%. Selain itu baik pada proses sebelum dan saat pengujian sifat kimia, sampel semen dalam kondisi baik dan belum menggumpal.

5. Meski keduanya merupakan beton mutu normal, sampel K250 dan K400 menunjukkan perkembangan kuat tekan usia 7, 14, 21, 28 dan 56 hari yang berbeda. Untuk itu perkembangan kuat tekan pada beton mutu normal tidak bisa digeneralisasikan.
6. Meski OPC dan PCC Dynamix, Baturaja, Tigaroda dan Padang sama-sama digunakan dalam pembuatan sampel K250 dan K400, masing-masing dari merk semen tidak menunjukkan perkembangan kuat tekan beton yang sama. Untuk itu, perkembangan kuat tekan beton tidak dapat digeneralisasikan.
7. Disarankan untuk setiap pelaksana melakukan uji kuat tekan pada berbagai umur setiap melaksanakan suatu proyek konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

Almufid, A. 2015. Inovasi Beton Mutu Tinggi Ramah Lingkungan Sebagai Penunjang Pembangunan Nasional. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Tangerang (UMT). 148 hlm.

ASTM E-178. 2008. Standard Practice for Dealing With Outlying Observations. Annual Books of ASTM Standard, United States.

Irawan, RR. 2017. Kajian Sifat Kimia, Fisika dan Mekanik Semen Portland di Indonesia (Assesment of Chemical, Physical and Mechanical Properties of Portland Cement in Indonesia). Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Ningsih, T., Chairunnisa, R., dan Miskah, S. 2012. Pemanfaatan bahan additive abu sekam padi pada semen portland PT. Baturaja (Persero). Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. 134 hlm.

Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI 71). Dirjend Cipta Karya DPU 1971.

Priastiwi, YA. (2011). Korelasi Kuat Tekan Terhadap Umur Beton Menggunakan Semen yang beredar dipasaran. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Sepuluh November (UNS). 221 hlm.

SNI 03-2834-2000. 2000. Tatacara Pembuatan Campuran Beton Normal, Badan Standarisasi Nasional.

SNI 15-2049-2015. 2015. Semen Portland. Bandung. Badan Standarisasi Nasional.

Widojoko, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Bandarlampung. 176 hlm.