

KAJIAN SIFAT KIMIA, FISIKA, DAN MEKANIK SEMEN PORTLAND DI INDONESIA

(ASSESSMENT OF CHEMICAL, PHYSICAL, AND MECHANICAL PROPERTIES OF INDONESIAN PORTLAND CEMENTS)

Rulli Ranastra Irawan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H Nasution No. 264 Bandung 40294
e-mail: rulli.ranastra@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 10 Agustus 2017; direvisi: 10 November 2017; disetujui: 13 Desember 2017

ABSTRAK

Diproduksinya tipe semen PCC dan PPC saat ini didasarkan isu lingkungan, dengan emisi CO₂ yang dihasilkan dalam produksi semen Portland menjadi lebih sedikit, tanpa mengurangi kekuatannya. Keraguan akan kinerja blended cement masih muncul dari para pelaku industri konstruksi terutama industri infrastruktur transportasi, seperti jalan dan jembatan yang masih enggan menggunakan PCC maupun PPC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran parameter sifat kimia, fisika, dan mekanika berbagai semen Portland yang tersedia di pasaran, sehingga dapat menjelaskan perbedaan antara OPC, PPC, dan PCC di Indonesia secara ilmiah. Penelitian dilakukan dengan mengambil contoh semen Portland secara acak dari pasar di beberapa daerah di Indonesia untuk kemudian diuji sifat kimia, fisika, dan mekaniknya, mengacu pada SNI yang berlaku. Pengujian kimia meliputi persentase dari bagian tak larut, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, SO₃, hilang pada pemijaran, alkali sebagai Na₂O, dan kapur bebas. Pengujian fisika meliputi kehalusan, waktu pengikatan awal dan akhir, kekekalan bentuk, pengikatan semu, penetrasi akhir, kandungan udara dalam mortar, dan berat jenis. Sedangkan pengujian mekanik meliputi kuat tekan pada umur 3, 7, dan 28 hari. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata contoh yang diperiksa memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam SNI, namun ternyata sebaran yang terjadi terhadap setiap parameter yang ditentukan dalam spesifikasi menunjukkan rentang yang cukup besar, dimana koefisien variasi sifat kimia terkecil sebesar 4 % dan terbesar mencapai 75 %, selanjutnya sifat fisika terkecil sebesar 1,7 % dan terbesar mencapai 105 %, sedangkan sifat mekanik terkecil sebesar 17,6 % dan terbesar mencapai 20,4 %.

Kata kunci: semen Portland, sifat kimia, sifat fisika, sifat mekanik, variasi

ABSTRACT

Production of PCC and PPC types were based on environmental issues, where CO₂ emission generated in the manufacturing process is to be less, without affecting the strength. Doubts still appear on the performance of blended cement in the construction industry, especially transportation infrastructure such as roads and bridges which is still reluctant to use PCC and PPC. The research aims to study the deviation of chemical, physical, and mechanical properties of various Portland cement from the market, so the difference between types of Portland cement can be scientifically explained. Activities carried out is conducting random sampling of Portland cement from the market in several areas in Indonesia, then the samples were tested according to the SNI. Chemical properties test consist of insoluble residue, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, SO₃, ignition loss, alkali as Na₂O, and free lime. Physical properties test consist of fineness, early and final setting time, soundness, apparent final setting, air content in mortar, and density, where mechanical properties test consist of compressive strength in 3, 7 and 28 days. These results then were evaluated and compared with the specification requirement. The results showed that the average of all samples examined, has met SNI requirements, but it turns out that the deviation on each parameter shows quite large range, chemical properties shows coefficient of variation between 4 to 75 %, physical properties shows coefficient of variation between 1.7 to 105 % and mechanical properties shows coefficient of variation between 17.6 to 20.4 %.

Keywords: Portland cement, chemical properties, physical properties, mechanical properties, variation

PENDAHULUAN

Pabrik semen Portland tersebar di berbagai pulau di Indonesia (Asosiasi Semen Indonesia 2010) tidak hanya di pulau Jawa. Beberapa produsen semen memiliki pabrik lebih dari satu, seperti PT. Indocement Tunggul Prakarsa (Semen Tiga Roda) yang memiliki tiga unit pabrik, satu pabrik di Kalimantan Selatan dan dua pabrik di Jawa Barat. Lokasi pabrik menentukan tipe semen yang dapat diproduksi oleh pabrik tersebut. PT. Semen Indonesia (Semen Gresik) misalnya yang terletak di Jawa Timur dimana pozolan alam sangat melimpah pasti akan lebih memilih untuk memproduksi *Portland Pozolanic Cement (PPC)*. Kondisi yang demikian mendorong pabrik lainnya akan lebih berpotensi untuk memproduksi semen jenis *Portland Composite Cement (PCC)*.

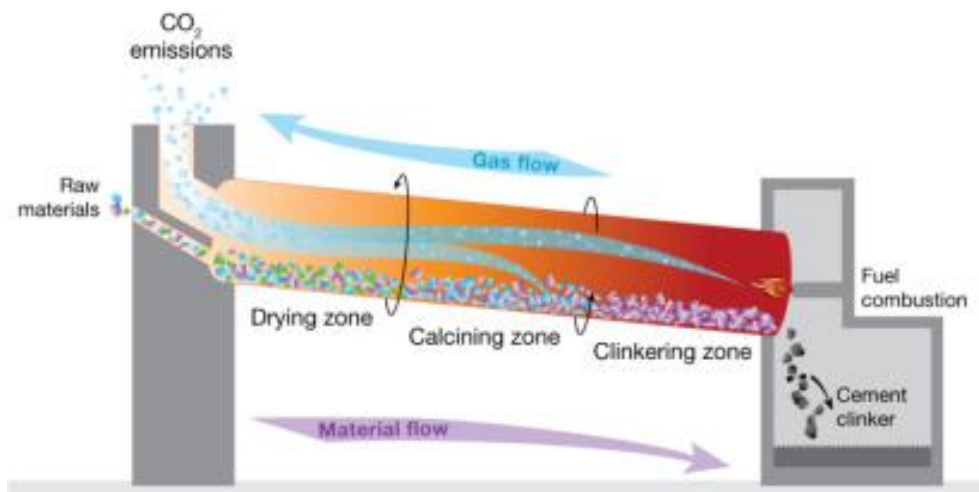
Pembatasan produksi *Ordinary Portland Cement (OPC)* oleh mayoritas produsen Semen Portland di Indonesia adalah tuntutan dari Protokol Kyoto yang merupakan sebuah amandemen terhadap Konvensi Rangka Kerja Perserikatan Bangsa Bangsa tentang Perubahan Iklim United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), yaitu sebuah persetujuan internasional mengenai pemanasan global. Negara-negara yang meratifikasi protokol ini berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon dioksida dan lima gas rumah kaca lainnya, atau bekerja sama dalam perdagangan emisi jika mereka menjaga jumlah atau menambah emisi gas-gas tersebut, yang telah dikaitkan dengan pemanasan global. Produksi semen yang menggunakan pemanasan menjadikan industri semen sebagai salah satu penyumbang efek rumah kaca yang terbesar, dimana setiap ton *OPC* yang diproduksi akan menghasilkan CO₂ dalam jumlah yang sama. Ilustrasi emisi CO₂ pada produksi semen Portland dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahun 2012 Menteri Perindustrian juga telah menerbitkan peraturan (Indonesia 2012), dimana di dalam peraturan tersebut emisi CO₂ spesifik diturunkan secara sukarela sebesar 2 % dalam kurun waktu dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2015 dan diturunkan secara wajib sebesar 3 % dalam kurun waktu dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2020. Sebagai gantinya, kebutuhan semen dipasok dalam bentuk *PCC* dan *PPC*.

OPC, *PPC*, dan *PCC* termasuk produk yang diatur dalam SNI sehingga pemenuhan terhadap spesifikasi adalah persyaratan wajib utamanya untuk peredarannya dipasaran Indonesia. Apabila semen Portland yang diproduksi oleh suatu produsen/pabrik tidak memenuhi persyaratan saat diperiksa oleh Lembaga Sertifikasi Produk, maka semen tersebut tidak diijinkan untuk didistribusikan. Sampai saat ini belum ada laporan yang dapat ditunjukkan kepada publik luas mengenai karakteristik hasil pengujian laboratorium yang membandingkan berbagai jenis semen yang beredar di Indonesia, sementara kebutuhan masyarakat terhadap semen terus berjalan.

Pelaksana pembangunan masih banyak yang berpedoman terhadap praktik-praktik pembuatan beton lama yang dibuat pada tahun 1971 dan pengalaman sebelumnya yang menggunakan semen Portland Tipe I, padahal semen Tipe I sudah tidak lagi beredar dalam bentuk kemasan. Akibatnya banyak ditemui pertanyaan dan masalah di lapangan seperti beton mengikat/mengeras dalam waktu yang lebih singkat, terjadi retak susut yang berlebihan pada permukaan beton yang sedang mengering, kekuatan beton setelah mengeras yang di bawah persyaratan, komposisi eksak jumlah penambahan bahan pozolan dan bahan lainnya ke dalam *PPC/PCC* untuk keperluan pembuatan campuran beton yang lebih khusus. Produsen semen juga tidak dituntut untuk menjelaskan komposisi material utama yang digunakan dalam setiap produksinya dengan alasan rahasia perusahaan, sedangkan standar yang setara di luar negeri ASTM C150 (ASTM 2004) mengharuskan setiap produsen untuk mencantumkan hal tersebut untuk kepentingan produksi beton.

Permasalahan tersebut sebetulnya dapat diatasi apabila pelaksana pekerjaan beton mengenal dan memahami sifat-sifat material penyusun beton dimana semen adalah salah satu bagian utamanya. Meskipun persyaratan yang diatur relatif ketat, namun saat ini tidak semua pihak setuju bahwa semen *PPC* dan *PCC* setara untuk menggantikan *OPC* terutama untuk pekerjaan infrastruktur jalan dan jembatan, tanpa alasan yang cukup ilmiah. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang bertujuan mengkaji sifat kimia, fisika, dan mekanik semen yang beredar di pasaran Indonesia, yang

hasilnya diharapkan dapat menjelaskan fenomena yang ada secara ilmiah.



Sumber: <http://www.co2crc.com.au>

Gambar 1. Ilustrasi emisi CO₂ dalam produksi semen Portland



Gambar 2. Sampel semen yang diambil dari pasaran

KAJIAN PUSTAKA

PPC dan *PCC* adalah varian semen hidrolis yang tersusun atas campuran *OPC* dengan bahan lain yang berpartisipasi dalam reaksi hidrasi sehingga memberi kontribusi substansial terhadap hasil hidrasi semen (Taylor 1997). Kedua semen ini tergolong ke dalam semen gabungan atau *Blended Cement* sesuai ASTM C 595 (ASTM 2003). Semen *OPC* dihasilkan dari klinker dan kalsium sulfat saja, sedangkan semen *PCC* diberi bahan-bahan tambahan lain, seperti abu terbang batubara, butir terak tanur-tinggi (*granulated blast-furnace slag*), mikrosilika (*silica fume*), batu kapur (*limestone*), pozolan alami atau bahan lain yang dapat mempengaruhi proses hidrasi

semen. Sementara itu, semen *PPC* hanya mengizinkan penambahan bahan pozolan (*fly ash* atau pozolan alam) ke dalam campurannya. Bahan-bahan tambah ini digiling bersama (*intergrinding*) atau digiling terpisah lalu dicampur (*blending*) dengan klinker dan kalsium sulfat sehingga dihasilkan semen campuran yang homogen, dengan demikian energi yang diperlukan untuk menghasilkan semen dalam kemasan menjadi lebih sedikit. Meskipun demikian, klaim dari produsen dan penelitian sebelumnya (Hariawan 2007, Hargono, Jaeni, dan Budi 2009) secara umum menyiratkan bahwa *PPC* dan *PCC* memiliki kekuatan yang setara dengan *OPC*.

Saat ini semen Portland yang paling banyak beredar di pasaran adalah *PCC* sesuai

SNI 15-7064-2004 (BSN 2004a) dan *PPC* sesuai SNI 15-0302-2004 (BSN 2004b). Semen Tipe I atau *OPC* sesuai SNI 15-2049-2004 (BSN 2004c) yang dahulu populer digunakan untuk keperluan umum tidak lagi diproduksi masal dalam kemasan kantong kertas dan hanya diproduksi dalam bentuk curah untuk melayani pesanan yang relatif terbatas.

HIPOTESIS

PCC dan *PPC* dengan sebaran sifat fisika dan kimia yang cukup besar dapat mencapai kekuatan yang setara.

METODOLOGI

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel terhadap semen yang tersedia di pasaran dari semua merek semen dalam kemasan yang beredar di Indonesia sebagaimana yang disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 1. Sampel semen tersebut didapatkan dari toko-toko bangunan di setiap daerah, masing-masing sebanyak 1 (satu) zak yang masih utuh dan tidak terjadi kerusakan pada kemasan maupun tanda-tanda penurunan lainnya. Kode produksi tidak menjadi patokan dalam pemilihan sampel-sampel tersebut. Sampel yang terpilih kemudian dikemas untuk mencegah kebocoran dan kerusakan akibat penanganan sebelum dikirim ke laboratorium. Kemudian diperiksa untuk memastikan bahwa kemasan tidak rusak dan tidak terjadi penurunan mutu. Seluruh sampel tersebut kemudian dikirimkan ke laboratorium terakreditasi milik Balai Besar Bahan dan

Barang Teknik (B4T) – Kementerian Perindustrian di Bandung untuk dilakukan pengujian terhadap persyaratan parameter standar, seperti yang tercantum dalam Tabel 2. Pengujian dilaksanakan sesuai prosedur pengujian dalam SNI 15-2049-2004 (BSN 2004c).

Data diperoleh dari 11 laporan hasil pengujian, dimana satu laporan pengujian mewakili satu sampel. Data sifat semen Portland tersebut dianalisis secara statistik untuk mengetahui nilai rata-rata, simpangan baku dan koefisien variasi dari setiap parameter yang diuji menggunakan bantuan perangkat lunak *spread sheet*. Sifat mekanik beton yang dibuat dengan beberapa tipe semen Portland juga dianalisis. Percobaan dilakukan dengan membuat benda uji beton menggunakan agregat yang sama dengan kekuatan target yang sama berdasarkan SNI 2834:2000 (BSN 2000). Perbedaan terletak pada tipe semen yang digunakan. Komposisi campuran beton yang digunakan untuk membuat benda uji beton dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Dari masing masing campuran beton tersebut dibuat benda uji berdasarkan SNI 2493 : 1991 (BSN 1991) berupa silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan beton pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari, dimana hasil yang akan dievaluasi adalah rata-rata dari tiga benda uji untuk setiap umur yang diamati. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) Shimadzu UH-F 2000 kN berdasarkan SNI 1974:2013 (BSN 2013).

Tabel 1. Kode dan tipe semen Portland serta lokasi pengambilan sampel

Kode dan tipe semen Portland	Jumlah sampel	Lokasi pengambilan
A (<i>PCC</i>)	1 zak	Banda Aceh – D.I. Nangroe Aceh Darussalam
B (<i>PCC</i>)	1 zak	Padang - Sumatera Barat
C (<i>PCC</i>)	1 zak	Bandar Lampung – Lampung
D (<i>OPC</i>)	1 zak	Bandung – Jawa Barat
E (<i>PCC</i>)	1 zak	Cirebon – Jawa Barat
F (<i>PCC</i>)	1 zak	Bandung – Jawa Barat
G (<i>PPC</i>)	1 zak	Denpasar – Bali
H (<i>PCC</i>)	1 zak	Kupang – NTT
I (<i>PCC</i>)	1 zak	Makassar – Sulawesi Selatan
J (<i>PCC</i>)	1 zak	Palangkaraya – Kalimantan Tengah
K (<i>PCC</i>)	1 zak	Bandung – Jawa Barat

Tabel 2. Jenis pengujian semen dan klasifikasinya

No	Uraian		
	Pengujian kimia	Pengujian Fisika	Pengujian mekanik
1	Bagian tak larut, %	Kehalusan dengan alat Blaine, m ² /kg	Kuat tekan, 3 hari, MPa
2	Silikon dioksida SiO ₂ , %	Waktu pengikatan dengan alat vicat, awal, menit	Kuat tekan, 7 hari, MPa
3	Besi (III) Oksida, Fe ₂ O ₃ , %	Waktu pengikatan dengan alat vicat, akhir, menit	Kuat tekan, 28 hari, MPa
4	Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃ , %	Kekekalan bentuk dengan Autoclave, Pemuai, %	
5	Kalsium Oksida, CaO, %	Kekekalan bentuk dengan Autoclave, Penyusutan, %	
6	Magnesium Oksida, MgO, %	Pengikatan semu, Penetrasi akhir, %	
7	Belerang Trioksida, SO ₃ , %	Kandungan udara dalam mortar, %	
8	Hilang pada pemijaran, %	Berat Jenis (Density, g/cm ³)	
9	Alkali sebagai Na ₂ O, %		
10	Kapur bebas, %		

Tabel 3. Komposisi campuran yang digunakan untuk target kuat tekan beton $f_c' 30$ MPa

No	Uraian	Campuran 1	Campuran 2	Campuran 3	Campuran 4
1	Semen (kg)	379	352	375	466
2	Rasio massa air thd massa semen	0,62	0,60	0,61	0,45
3	Air (kg)	235	210	230	210
4	Pasir (kg)	696	879	766	810
5	Batu (kg)	961	953	899	878

HASIL DAN ANALISIS

Dari sampel yang diambil secara acak terhadap semua produk semen yang tersedia di pasaran tersebut, hasil pengujian sifat kimia semen Portland dapat dilihat pada Tabel 4,

sementara hasil pengujian sifat fisika semen dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan hasil pengujian sifat mekanik semen dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian sifat kimia semen Portland

No	Uraian	Resume (%)				Simpangan Baku	Spesifikasi
		Jumlah data	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai Rata - rata		
1	Bagian tak larut	11	0,52	17,06	6,86	5,15	-
2	Silikon dioksida SiO ₂	11	16,21	26,82	22,03	2,79	-
3	Besi (III) Oksida, Fe ₂ O ₃	11	2,24	4,50	3,55	0,69	-
4	Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃	11	5,82	8,71	6,96	0,84	-
5	Kalsium Oksida, CaO	11	56,12	63,22	58,55	2,38	-
6	Magnesium Oksida, MgO	11	0,58	2,12	1,16	0,55	< 6,0
7	Belerang Trioksida, SO ₃	11	1,78	2,46	2,01	0,20	< 3,5
8	Hilang pada pemijaran	11	1,43	15,81	5,75	4,25	< 5,0
9	Alkali sebagai Na ₂ O	11	0,40	0,49	0,46	0,03	< 0,6
10	Kapur bebas	11	0,86	1,36	1,05	0,16	-

Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengujian sifat fisika semen Portland

No	Uraian	Resume				Simpangan Baku	Spesifikasi
		Jumlah data	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai Rata - rata		
1	Kehalusan Dengan alat Blaine, m ² /kg	11	277,00	382,00	350,55	30,77	> 280
2	Waktu pengikatan dengan alat vicat, awal, menit	11	105,00	195,00	147,73	25,47	> 45
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat, akhir, menit	11	180,00	285,00	221,36	30,42	< 375
4	Kekekalan bentuk dengan Autoclave, Pemuai, %	11	0,01	0,19	0,05	0,05	< 0,8
5	Pengikatan semu, Penetrasi akhir, %	11	61,00	90,00	78,20	8,84	> 50
6	Kandungan udara dalam mortar, %	11	5,40	8,10	6,67	1,04	< 12
7	Berat Jenis (Density, g/cm ³)	11	2,94	3,09	3,00	0,05	-

Tabel 6 Rekapitulasi hasil pengujian sifat mekanik semen Portland

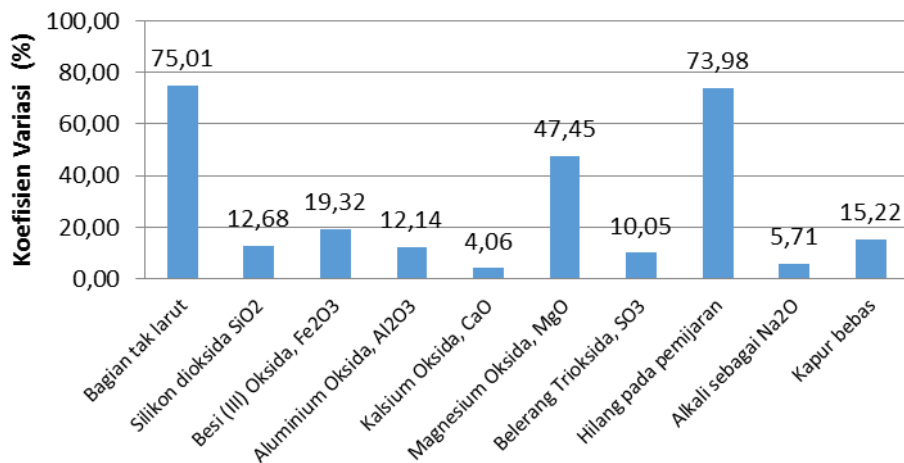
No	Uraian	Resume				Simpangan Baku	Spesifikasi
		Jumlah data	Nilai minimum	Nilai maksimum	Nilai Rata - rata		
1	Kuat tekan, 3 hari, MPa	11	12,0	24,3	18,56	3,71	> 12,5
2	Kuat tekan, 7 hari, MPa	11	16,2	30,2	24,57	4,40	> 20,0
3	Kuat tekan, 28 hari, MPa	11	24,0	42,0	33,64	5,93	> 25,0

PEMBAHASAN

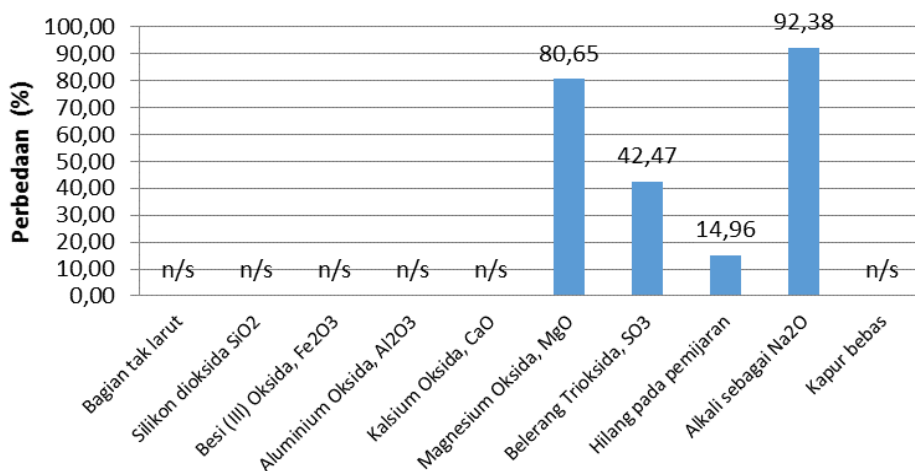
Sifat kimia semen Portland

Dari data pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa terdapat rentang angka yang cukup signifikan terhadap parameter yang diuji dengan koefisien variasi antara 4 % sampai 75 %, sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Apabila dibandingkan terhadap nilai-nilai yang angkanya menjadi batasan dalam spesifikasi, rata-rata hasil pengujian dari setiap parameter ternyata jauh melebihi (memenuhi spesifikasi) dari nilai yang disyaratkan, seperti terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 3. Sebaran sifat kimia berbagai semen Portland

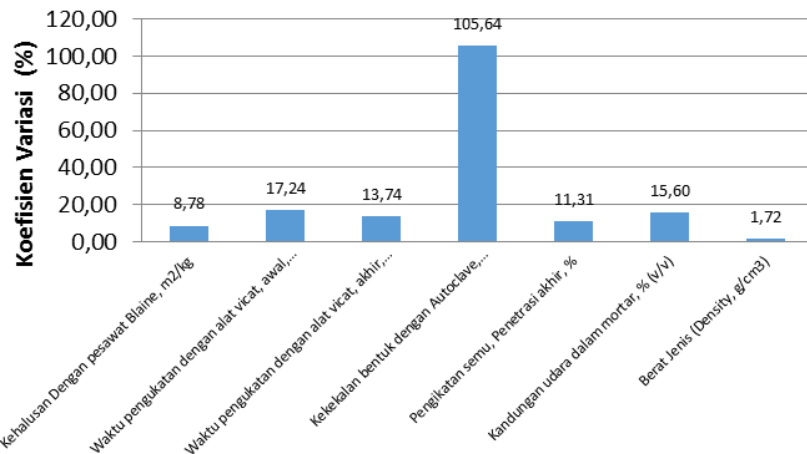


Gambar 4. Perbedaan sifat kimia berbagai semen Portland terhadap spesifikasi parameter kimia. (Catatan kode n/s menyatakan bahwa nilai dalam parameter tersebut tidak dibatasi)

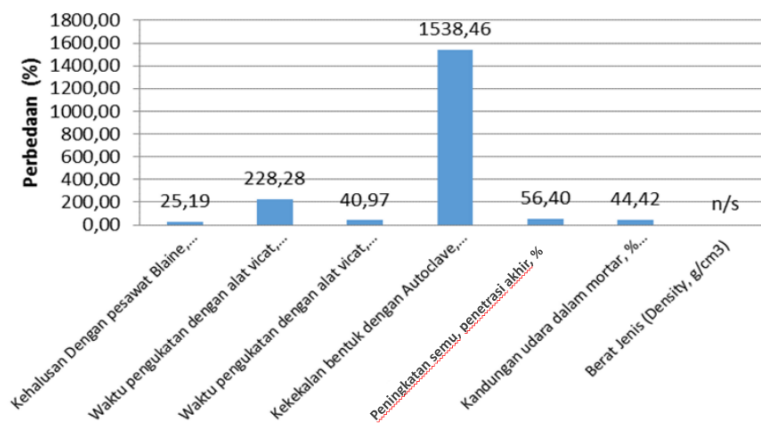
Sifat fisika semen Portland

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa terdapat rentang angka yang cukup signifikan terhadap parameter yang diuji, dengan koefisien variasi antara 1 % sampai 105 %, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Sebagai contoh adalah sifat waktu pengikatan awal maupun pengikatan akhir, yang bervariasi sebagaimana penelitian

yang dilakukan Firnanda (2014) dan Amin (2010). Apabila dibandingkan terhadap nilai-nilai yang angkanya menjadi batasan dalam spesifikasi, rata-rata hasil pengujian dari setiap parameter ternyata jauh melebihi (memenuhi spesifikasi) dari nilai yang disyaratkan, seperti terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 5. Sebaran sifat fisika berbagai semen Portland

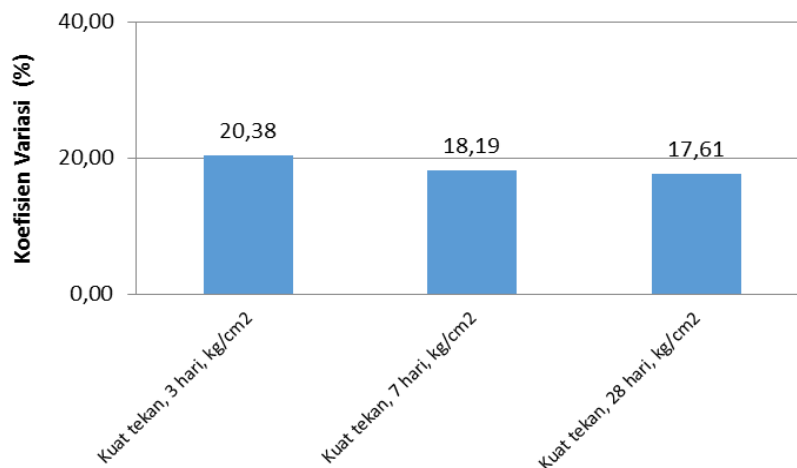


Gambar 6. Perbedaan sifat fisika berbagai tipe semen Portland terhadap spesifikasi (Catatan kode n/s menyatakan bahwa nilai dalam parameter tersebut tidak dibatasi)

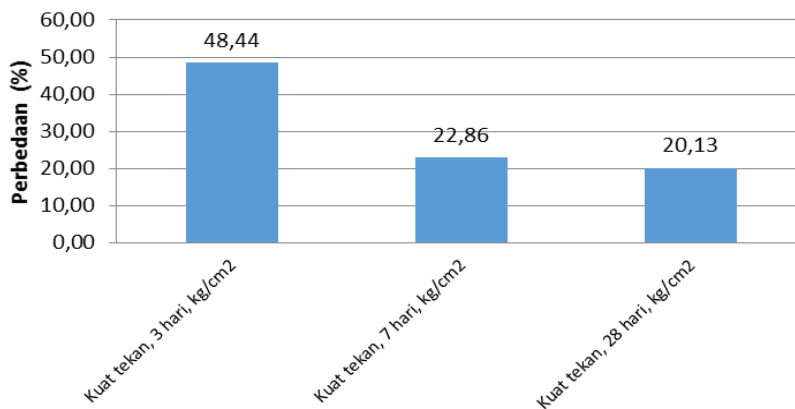
Sifat mekanik semen Portland

Dari data pada Tabel 6, dapat dilihat bahwa terdapat rentang angka yang cukup signifikan terhadap parameter yang diuji dengan koefisien variasi antara 17 % sampai 21 %, sebagaimana terlihat pada Gambar 7, meskipun ada beberapa sampel yang sifat mekaniknya lebih rendah dari yang disyaratkan. Sebagai contoh sifat kuat tekan pada umur 3 hari, yang bervariasi sebagaimana

penelitian yang dilakukan Firnanda (2014) dan Amin (2010). Apabila dibandingkan terhadap nilai nilai yang angkanya menjadi batasan dalam spesifikasi, rata-rata hasil pengujian dari setiap parameter ternyata melebihi (memenuhi spesifikasi) dari nilai yang disyaratkan, terutama pada sifat mekanika semen pada umur yang lebih muda, seperti terlihat dalam Gambar 8.



Gambar 7. Sebaran sifat mekanik berbagai tipe semen Portland

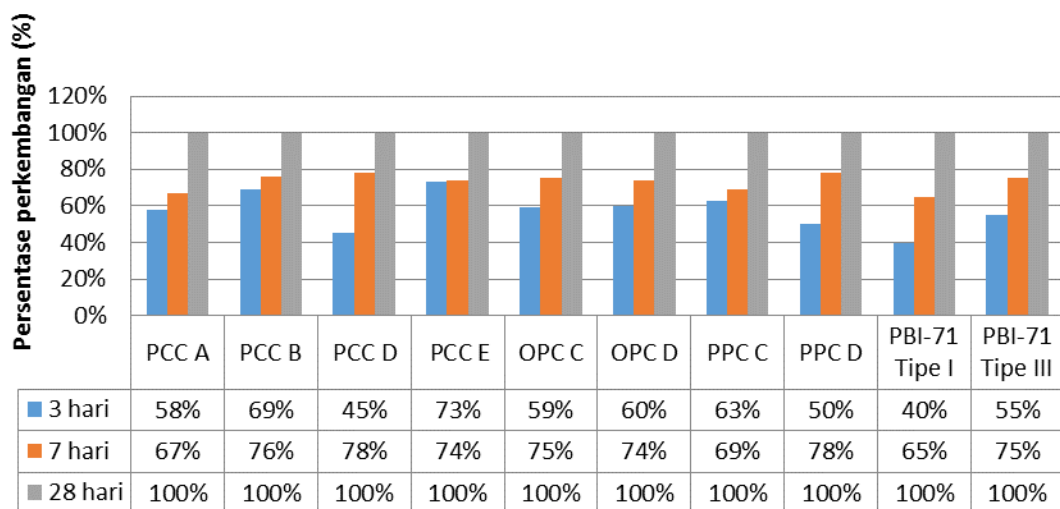


Gambar 8. Perbedaan sifat mekanik berbagai tipe semen Portland terhadap spesifikasi

Sifat mekanik kuat tekan beton semen Portland dalam campuran beton yang telah mengeras

Dilapangan, untuk alasan kepraktisan, banyak tenaga ahli yang menggunakan “angka konversi” dalam mengasumsikan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan membandingkannya pada pencapaian kekuatan tekan beton di umur yang lebih muda. Hal tersebut mengikuti tabel yang terdapat di dalam Peraturan Beton Indonesia (PBI) (Indonesia 1971). Saat ini hal tersebut sudah tidak relevan lagi, karena sifat semen yang diproduksi pada tahun 71 hanya *OPC* dan di masa kini sudah

berbeda, dengan berbagai varian baru. Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di B4T (2011), menunjukkan hasil pengujian berbagai merk semen dengan komposisi material serta perbandingan berat air dan semen yang sama, memperlihatkan perbedaan perkembangan kekuatan untuk setiap umur yang sama karena perbedaan kandungan dalam semen (Bonavetti et al. 2006), juga demikian dengan “angka konversi” yang dimuat di dalam peraturan, bahwa pada umur 3 hari beton akan mencapai 40 % dari kekuatan maksimumnya pada 28 hari (Indonesia 1971) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perkembangan kekuatan beton relatif berdasarkan variasi semen Portland

Dari hasil percobaan yang dilakukan di laboratorium Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan sebagaimana komposisi yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa, untuk mencapai mutu beton yang sama,

kebutuhan material (semen) yang diperlukan akan sangat berbeda dan dipengaruhi pula oleh jenis semen yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kekuatan tekan beton dengan kuat tekan target beton 30 MPa

Komposisi	Campuran 1	Campuran 2	Campuran 3	Campuran 4
Kuat Tekan rata-rata 3 hr (MPa)	-	17,0	23,0	23,4
Kuat Tekan rata-rata 7 hr (MPa)	27,0	23,0	-	29,0
Kuat Tekan rata-rata 28 hr (MPa)	44,3	31,5	37,0	37,4

Dari data pada Gambar 9 terlihat bahwa kekuatan tekan dari beton dengan menggunakan *PCC* dan *PPC* dapat mencapai rentang kekuatan yang setara dengan kekuatan beton yang menggunakan *OPC*, sehingga kinerja kekuatannya jika akan digunakan dalam beton struktural juga akan memiliki sifat yang serupa, tidak hanya kekuatan, namun juga keawetannya (Lasino, Setiati, dan Cahyadi 2017). Hal penting yang perlu diperhatikan adalah perbedaan dari sifat kimia dan fisika semen yang akan mempengaruhi perancangan campuran/penentuan komposisi semen yang digunakan karena akan mempengaruhi sifat-sifat campuran yang diinginkan serta tindakan pasca pengecoran untuk menjamin tercapainya kekuatan yang ditargetkan dan keutuhan beton yang selesai dikerjakan, karena adanya kaitan antara sifat semen terhadap perilaku beton (Priyadarshana dan Dissanayake 2013). Perbedaan komposisi, terutama jumlah semen

yang digunakan disebabkan oleh perbedaan sifat fisika dan mekanik semen yang diproduksi, meskipun semen tersebut diproduksi berdasarkan SNI yang sama. Dalam Tabel 1 dan Tabel 4 terlihat bahwa untuk mencapai kekuatan beton 30 MPa pada 28 hari semen yang digunakan dapat berkisar dari 352 kg/m³ sampai 466 kg/m³.

Penggunaan tipe semen yang tepat, perencanaan proporsi dan pembuatan campuran percobaan harus dilakukan sebelum pekerjaan dilaksanakan. Kerjasama dari produsen semen juga dibutuhkan dalam memproduksi *PCC* dan *PPC* dengan standar yang sama dan lebih ketat sehingga produk yang beredar di lapangan tidak terlalu jauh berbeda hasilnya serta dapat memberikan informasi yang jelas mengenai jumlah bahan pozolan yang ditambahkan ke dalam semen yang dijual dalam kemasan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

PCC dan PPC yang beredar di Indonesia berdasarkan sampel yang diambil dari pasar memiliki sifat kimia, fisika dan mekanik yang sebarannya cukup besar dimana koefisien variasi sifat kimia terkecil sebesar 4 % dan terbesar mencapai 75 %, selanjutnya sifat fisika terkecil sebesar 1,7 % dan terbesar mencapai 105 %, sedangkan sifat mekanik terkecil sebesar 17,6 % dan terbesar mencapai 20,4 %, sebagaimana terlihat pada Gambar 3, 5, dan 7, meskipun diproduksi berdasarkan standar yang sama. Nilai dalam setiap parameter yang disyaratkan jauh lebih tinggi dari persyaratan yang ditentukan dalam standar seperti yang dirinci dalam Tabel 4, 5, dan 6. Namun demikian, karena spesifikasi SNI Semen Portland yang berlaku di Indonesia tidak membatasi nilai dalam bentuk rentang, maka sepanjang hasil pengujian menunjukkan nilai yang lebih besar dari batas minimum dan/atau lebih kecil dari batas maksimum, akan dikategorikan memenuhi persyaratan.

Sebaran sifat kimia, fisika dan mekanik semen yang cukup signifikan berpengaruh kepada sifat beton yang diperoleh, meskipun persyaratan kekuatan beton tetap dapat dipenuhi, tetapi berpengaruh pada proporsi material terutama kadar semen yang digunakan untuk memperoleh kekuatan yang sama.

Kekuatan yang serupa pada umur 28 hari dapat dicapai oleh beton dengan berbagai tipe semen, namun perkembangan kekuatan dari umur muda sampai 28 hari tetap harus menjadi perhatian.

Saran

Untuk membantu para pemangku kepentingan dalam membuat rancangan campuran beton dan pelaksanaan di lapangan, pabrik semen sebaiknya mencantumkan informasi komposisi dan bahan penyusun utama, sehingga keseragaman campuran dapat lebih mudah dicapai.

Diperlukan dukungan dari pihak yang berkepentingan agar beberapa sifat kimia, fisika dan mekanik semen portland dibatasi dalam rentang tertentu, agar konsistensi produknya lebih terjaga.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat kimia, fisika dan mekanik dari

semen yang beredar di pasaran berdasarkan variasi waktu produksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap perangkat Puslitbang Jalan dan Jembatan termasuk teknisi Laboratorium Balai Jembatan, yang telah memberikan bantuan dan kerjasama dalam pengumpulan data dan pelaksanaan kegiatan laboratorium. Ucapan serupa ditujukan kepada PT. Semen Indonesia, PT.Indocement Tunggul Prakarsa yang telah membantu proses penyediaan material, pengambilan contoh dan pengujian. Tidak lupa penulis menyampaikan penghargaan sebesar besarnya kepada para pembimbing dan peneliti senior dalam penyusunan karya tulis penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American Standard Testing and Material (ASTM). 2003. "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements". *ASTM Volume 04.01, C595-03*. West Conshohocken: ASTM.
- , 2004. "Standard Specification for Portland Cement". *ASTM Volume 04.01, C 150 - 04*. West Conshohocken: ASTM.
- Amin, Noor-ul. 2010. "Study Of The Physical Parameters Of Ordinary Portland Cement Of Khyber Pakhtoon Khwa, Pakistan And Their Comparison With Pakistan Standard Specification". *Chemical Engineering Research Bulletin* 14(1):7-10.
- Asosiasi Semen Indonesia (ASI). 2010. *Statistik Semen Indonesia*. Jakarta: ASI.
- Badan Standar Nasional (BSN). 1991. *Tata cara pembuatan benda uji beton di laboratorium*, SNI 2493:1991. Jakarta: BSN.
- , 2000. *Tata cara perencanaan campuran beton normal*. SNI 2834:2000. Jakarta: BSN.
- , 2004a. *Semen Portland Komposit*. SNI 15-7064-2004. Jakarta: BSN.
- , 2004b. *Semen Portland Pozolan*. SNI 15-0302-2004. Jakarta: BSN.
- , 2004c. *Semen Portland*. SNI 15-2049-2004. Jakarta: BSN.

- , 2013. *Cara uji kuat tekan silinder beton yang dicetak*. SNI 1974:2013. Jakarta: BSN.
- Bonavetti, V.L., G. Menéndez, H.A. Donza, V.F. Rahhal, E.F. Irassar. 2006 "Composite cements containing natural pozzolan and granulated blast furnace slag". *Materiales de Construcción* 56 (283): 25–36.
- Indonesia. 1971. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik (DPUTL), *Peraturan Beton Indonesia*. Jakarta: DPUTL.
- Firnanda. 2014. "Kuat Tekan Beton Dan Waktu Ikat Semen Portland Komposit (PCC)" *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains* 1(1): 1-11.
- Hargono, M. Jaeni, F.S. Budi. 2009. "Pengaruh Perbandingan Semen Pozolan dan Semen Portland Terhadap Kekakuan Bentuk dan Kuat Tekan Semen". *Momentum* 5(2): 21-25.
- Hariawan, J.B. 2007. *Pengaruh Perbedaan Karakteristik Tipe Semen OPC dan PPC Terhadap Kuat Tekan Mortar*. Skripsi. Universitas Gunadarma.
- Perindustrian No 12/M-IND/PER/1/2012 tentang Peta Panduan (RoadMap) Pengurangan Emisi CO₂ Industri Semen. Jakarta: Kementerian Perindustrian.
- Lasino, N. Retno Setiati, dan Dany Cahyadi. 2017. "Karakteristik Beton Dengan Menggunakan Berbagai Jenis Semen" *Jurnal Jalan-Jembatan* 34(1): 49-63.
- Priyadarshana, T. and R. Dissanayake. 2013. "Importance of Consistent Cement Quality for a Sustainable Construction". *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* 1(4):7-10.
- Taylor, H.F.W. 1997. *Cement Chemistry (2nd ed.)*. London: Thomas Telford Publishing.
- Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T). 2011. *Rekapitulasi Kuat Tekan Berbagai Jenis Semen Portland di Indonesia*. Laporan Internal. Bandung: [s.n.].