



# Semen Portland di Indonesia

untuk Aplikasi Beton  
Kinerja Tinggi



*Rulli Ranastra Irawan*

# **Semen Portland di Indonesia**

untuk **Aplikasi Beton  
Kinerja Tinggi**



**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Badan Penelitian dan Pengembangan  
Kementerian Pekerjaan Umum  
[www.pusjatan.pu.go.id](http://www.pusjatan.pu.go.id)

# **SEMEN PORTLAND DI INDONESIA UNTUK APLIKASI BETON KINERJA TINGGI**

***Rulli Ranastra Irawan***

Desember 2013

Cetakan Ke-1 2013, 46 halaman

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Foto Cover : lafarge.com. Inset (kiri ke kanan) : jbdesign.it, chkme.com, flickr.com

No. ISBN : ISBN 978-602-264-037-0  
Kode Kegiatan : 2432.001.001.107.C  
Kode Publikasi : IRE - TR - 107 / ST / 2013  
Kata kunci : Beton, Kinerja Tinggi, High Performance Concrete, Semen Portland, Ordinary Portland Cement, Portland Pozzoland Cement, Portland Composite Cement, PPC, PPC, OPC

## **Ketua Program Penelitian:**

N. Retno Setiati, ST., MT., Puslitbang Jalan dan Jembatan

## **Ketua Sub Tim Teknis:**

Prof.(R).Ir. Lanneke Trisanto

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2013, pada paket pekerjaan Kajian Beton Kinerja Tinggi Untuk Penerapan Konstruksi Beton Tahap 2

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

## **Diterbitkan oleh:**

Kementerian Pekerjaan Umum  
Badan Penelitian dan Pengembangan  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan  
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung - Bandung 40293

## **Pemesanan melalui:**

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan  
info@pusjatan.pu.go.id



# Puslitbang Jalan dan Jembatan

**Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan)** adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

---

## KEANGGOTAAN TIM TEKNIK & SUB TIM TEKNIK

### Tim Teknis

Prof.(R).DR. Ir. M.Sjahanulirwan, MSc.  
Ir. Agus Bari Sailendra, MT  
Ir. I Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc  
DR. Ir. Dadang Mohammad, M.Sc  
DR. Ir. Poernornosidhi, M.Sc  
DR. Drs. Max Antameng, MA  
DR. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc  
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc  
Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto  
Prof.(R).DR. Ir. Furqon Affandi, M.Sc  
Ir. GJW Fernandez  
Ir. Joko Purnomo, MT  
Ir. Soedarmanto Darmonegoro  
Ir. Lanny Hidayat, M.Si  
Ir. Moch. Tranggono, M.Sc  
DR. Ir. Djoko Widayat, M.Sc  
Redrik Irawan, ST., MT.  
DR. Ir. Didik Rudjito, M.Sc  
DR. Ir. Triono Jumono, M.Sc  
Ir. Palgunadi, M.Eng, Sc  
DR. Ir. Doni J. Widianono, M.Eng.Sc  
Ir. Teuku Anshar

Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.Sc  
Ir. Yayan Suryana, M.Sc  
DR. Ir. Rudy Hermawan, M.Sc  
Ir. Saktyanu, M.Sc  
Ir. Herman Darmansyah  
Ir. Rachmat Agus  
DR. Ir. Hasroel, APU  
DR. Ir. Chaidir Amin, M.Sc  
Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE. Ph.D  
Kemas Ahmad Zamhari  
Dr. Ir. Mochammad Amron, M.Sc  
Djoko Mujanto

### Sub Tim Teknis

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto  
Ir. Rahadi Sukirman  
Herbudiman, ST., MT.  
Abinhot Sihotang, ST., MT.  
Ir. Samun Haris, MT.  
DR. Made Suangga  
DR. Aswandy  
Ir. Ahmad Yunaldi



# Kata Pengantar

**B**eton Kinerja Tinggi (High-performance Concrete - HPC) adalah pengembangan dari konsep beton konvensional. Dalam penggunaan beton konvensional, kekuatan tekan biasanya menjadi batasan parameter yang harus dipenuhi agar suatu pekerjaan beton dinyatakan dapat diterima. Lain halnya dengan beton kinerja tinggi, parameter yang diharapkan tercapai tidak hanya satu akan tetapi terdiri dari beberapa parameter yang terkait dengan pelaksanaan dan hasil akhir dari suatu pekerjaan beton, dengan tujuan akhir tercapainya kekuatan dan durabilitas beton sebagai bahan dari suatu struktur.

Teknologi beton kinerja tinggi telah mulai diterapkan pada beberapa pekerjaan struktur beton di Indonesia yang memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi, seperti struktur beton dengan penulangan yang rapat, volume beton yang besar, waktu pengikatan/pengerasan yang harus diatur, memiliki ketahanan terhadap lingkungan ekstrim dan sebagainya.

Penggunaan beton pada konstruksi jembatan dan bangunan lainnya tidak pernah dan belum bisa lepas dari penggunaan semen Portland. Banyak tipe semen Portland yang dikenal melalui berbagai standar yang telah diakui, namun hanya beberapa tipe saja yang tersedia secara umum di pasaran. Melalui kajian ini, dicoba untuk mengidentifikasi karakteristik semen Portland yang beredar di pasaran dan digunakan dalam berbagai pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan di Indonesia.

**Rulli Ranastra Irawan**  
*Penyusun*

# Daftar Isi

<b>Puslitbang Jalan dan Jembatan.....</b>	<b>iii</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>viii</b>
<b>Pendahuluan .....</b>	<b>9</b>
Hipotesis .....	12
Pabrik Semen di Indonesia .....	13
Tipe Semen Portland yang Beredar di Indonesia.....	15
Pembatasan Emisi CO <sub>2</sub> Dalam Kegiatan Industri .....	16
Sifat Fisika dan Kimia Semen Portland .....	17
Penggunaan Semen Portland dalam Pekerjaan Beton di Indonesia .....	24
<b>Penelitian Penggunaan Semen Portland untuk Beton Kinerja Tinggi .....</b>	<b>29</b>
Kendala dalam Penggunaan Semen Portland.....	37
<b>Kesimpulan dan Saran .....</b>	<b>39</b>
Kesimpulan .....	41
Saran .....	42

<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>43</b>
-----------------------------	-----------

<b>Acknowledgements.....</b>	<b>45</b>
------------------------------	-----------

## Daftar Gambar

<b>Gambar 1.</b> Skema ilustrasi proses pembuatan semen Portland (sumber : Encyclopaedia Britanica, Inc). ....	12
<b>Gambar 2.</b> Peta lokasi plant produsen semen di Indonesia (sumber : ASI 2010).....	14
<b>Gambar 3.</b> Ilustrasi emisi CO <sub>2</sub> dalam produksi semen Portland (sumber : <a href="http://www.co2crc.com.au">http://www.co2crc.com.au</a> ).....	17
<b>Gambar 4.</b> Sampel semen yang diambil.....	20
<b>Gambar 5.</b> Simpangan baku sifat kimia semen dari masing-masing parameter yang diuji .....	22
<b>Gambar 6.</b> Variasi sifat fisika semen dari masing-masing parameter yang diuji .....	22
<b>Gambar 7.</b> Perbandingan terhadap spesifikasi dari masing-masing parameter fisika yang diuji .....	23
<b>Gambar 8.</b> Statistik penggunaan semen Portland di Indonesia berdasarkan suplai pabrik (sumber : ASI 2010) .....	26
<b>Gambar 9.</b> Statistik panjang jalan di Indonesia (sumber : BPS 2009).....	26
<b>Gambar 10.</b> Proporsi campuran beton dalam penelitian .....	30



<b>Gambar 11.</b> Kekuatan tekan dari benda uji silinder pada berbagai umur .....	32
<b>Gambar 12.</b> Kekuatan lentur dari benda uji pada berbagai umur.....	32
<b>Gambar 13.</b> Perkiraan kuat tekan tekan dari benda uji silinder pada berbagai umur .....	32
<b>Gambar 14.</b> Perbandingan kenaikan kekuatan tekan benda uji silinder pada berbagai umur .....	33
<b>Gambar 15.</b> Proporsi campuran beton dalam penelitian menggunakan abu terbang .....	34
<b>Gambar 16.</b> Kekuatan tekan dari benda uji silinder beton kinerja tinggi yang menggunakan flyash pada berbagai umur.....	35
<b>Gambar 17.</b> Hubungan antara kekuatan tekan dengan tingkat ketahanan beton terhadap korosi.....	36

## Daftar Tabel

<b>Tabel 1</b> Persyaratan semen Portland (OPC).....	18
<b>Tabel 2</b> Persyaratan semen Portland komposit (PCC) .....	19
<b>Tabel 3</b> Persyaratan semen Portland Pozzolan (PPC).....	19
<b>Tabel 4</b> Rekapitulasi hasil pengujian semen yang diambil sampelnya .....	21
<b>Tabel 5</b> Perbandingan “strength development” berbagai jenis semen .....	24
<b>Tabel 6</b> Pangsa pasar beton di Indonesia .....	25
<b>Tabel 7</b> Contoh proporsi bahan untuk kuat tekan beton 300 kg/cm <sup>2</sup> .....	27

1

# Pendahuluan

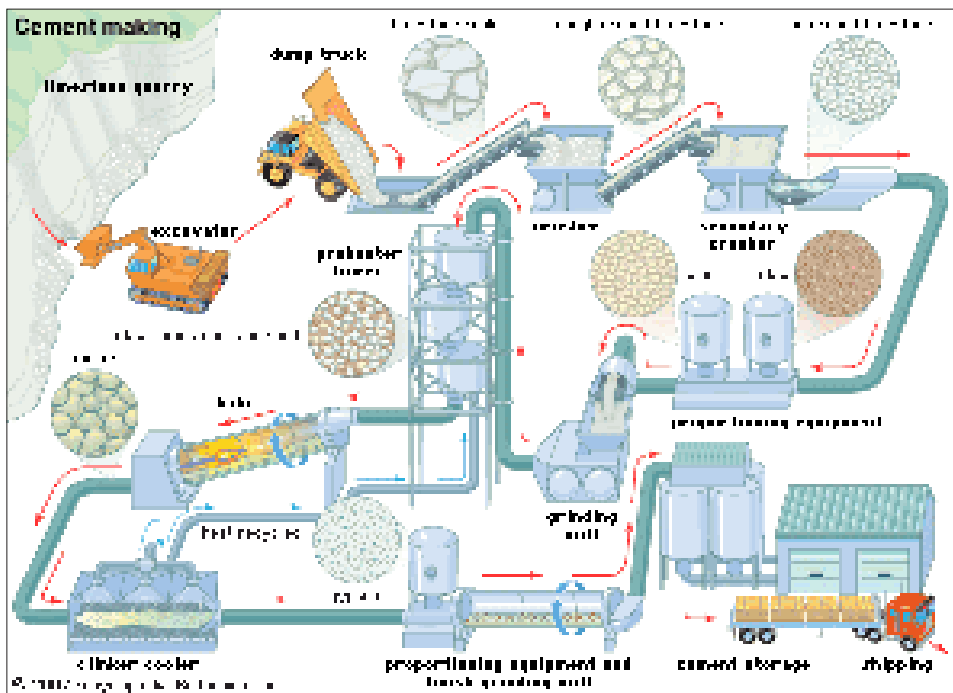


## 1

# Pendahuluan

**N**ama semen Portland atau “Portland Cement” pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Aspdin, tukang batu dari Leeds, Inggris di awal abad ke-19 dengan membakar batu kapur dan tanah liat bubuk menggunakan kompor di dapur rumahnya. Dengan metode ini beliau meletakkan dasar bagi industri yang secara harfiah memproses pegunungan batu kapur, tanah liat, semen batu, dan bahan-bahan lainnya menjadi bubuk halus yang mampu melewati saringan dengan kerapatan yang mampu menahan air di dalamnya.

Semen portland adalah kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silica (Si), aluminium (Al), besi (Fe) yang dikendalikan secara ketat dan sejumlah kecil bahan lain seperti gipsum yang ditambahkan dalam proses penggilingan akhir untuk mengatur waktu pengikatan (setting time) beton. Kapur dan silika mengisi sekitar 85% dari massa. Bahan yang umum



**Gambar 1.** Skema ilustrasi proses pembuatan semen Portland  
(sumber : Encyclopaedia Britannica, Inc).

digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, kerang, dan marl yang dikombinasikan dengan serpih, tanah liat, terak tanur tinggi (slag), pasir silika, dan bijih besi (iron ore).

Ada 2 (dua) proses yang berbeda, “kering” dan “basah,” yang digunakan dalam produksi semen Portland, dimana batu kapur adalah bahan baku utama seperti terlihat pada **Gambar 1**.

## Hipotesis

Semen Portland Komposit (PCC) dan Semen Portland Pozolan (PPC) dapat digunakan dalam konstrukksi jalan dan jembatan sebagaimana semen Portland Tipe I (OPC).

## Pabrik Semen di Indonesia

Penggunaan semen Portland di Indonesia sudah dimulai sejak lama, bahkan sebelum kemerdekaan Indonesia diproklamirkan dengan beroperasinya pabrik semen pertama yaitu Pabrik Semen Padang di Sumatera Barat.

Berikut ini adalah daftar pabrik Semen di Indonesia dan menjadi anggota Asosiasi Semen Indonesia (ASI) serta tipe semen yang diproduksi.

1. PT. Semen Andalas Indonesia (PCC)
2. PT. Semen Padang (PCC dan PPC)
3. PT. Semen Baturaja (PCC)
4. PT Indocement Tungal Prakarsa (PCC)
5. PT. Holcim Indonesia (PCC)
6. PT. Semen Gresik (PPC)
7. PT. Semen Tonasa (PCC)
8. PT. Semen Bosowa (PCC)
9. PT. Semen Kupang (PCC)

Pabrik semen portland tersebar diberbagai pulau di Indonesia tidak hanya di pulau Jawa.

Beberapa produsen semen memiliki plant yang lebih dari satu seperti PT. Semen Cibinong yang memiliki 3 plant, 1 plant di Kalimantan Selatan dan 2 plant di Jawa Barat. Lokasi Plant menentukan tipe semen yang dapat diproduksi oleh pabrik tersebut. PT. Semen Gresik misalnya yang terletak di Jawa Timur dimana pozolan alam sangat melimpah pasti akan lebih memilih untuk memproduksi semen Portland pozolan.



**Gambar 2.** Peta lokasi plant produsen semen di Indonesia (sumber : ASI 2010)

Sedangkan pabrik lainnya akan lebih berpotensi untuk memproduksi semen jenis PCC. Pada **Gambar 2** adalah peta lokasi plant produsen semen di Indonesia.

## Tipe Semen Portland yang Beredar di Indonesia

Sebagian besar dari kita mengenal hanya istilah “Semen Portland” dan tidak begitu mengetahui bahwa semen Portland mempunyai beberapa tipe.

Menurut standar yang diterbitkan oleh BSN berikut ini adalah Standar Semen Portland berikut nomor SNI nya.

1. Semen Portland	SNI 15 2049 2004
2. Semen Masonry	SNI 15 3758 2004
3. Semen Portland Putih	SNI 15 0129 2004
4. Semen Portland Pozzolan (PPC)	SNI 15 0302 2004
5. Semen Portland Komposit (PCC)	SNI 15 7064 2004
6. Semen Portland Campur	SNI 15 3500 2004

Sedangkan SNI 15 2049 2004 Semen Portland dan ASTM C 150 membagi kembali semen menjadi beberapa tipe yaitu :

1. Semen Tipe I yaitu semen untuk keperluan umum
2. Semen Tipe II yaitu semen dengan ketahanan sulfat sedang
3. Semen Tipe III yaitu semen dengan kekuatan awal tinggi
4. Semen Tipe IV yaitu semen dengan panas hidrasi rendah
5. Semen Tipe V yaitu semen dengan ketahanan sulfat tinggi

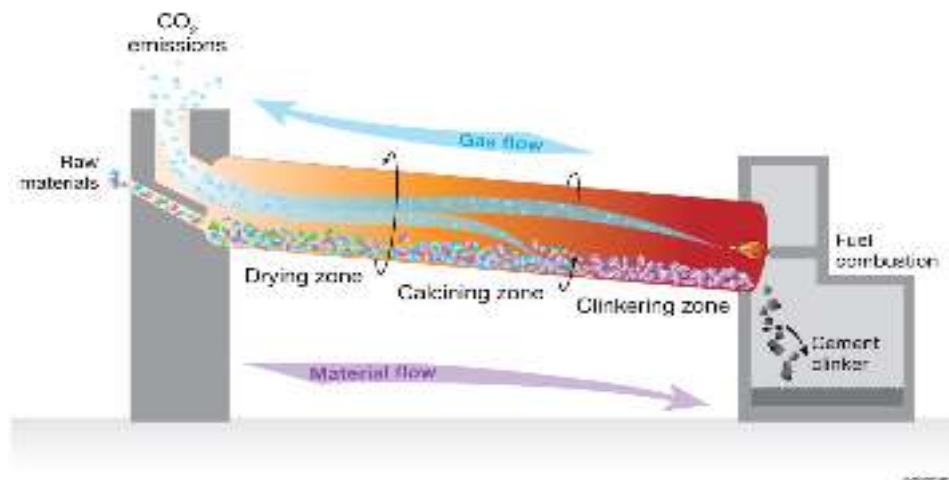
Pada saat ini semen Portland yang paling banyak beredar di pasaran adalah semen Portland komposit (PCC)-SNI 15 7064 2004 dan semen Portland Pozzolan (PPC)-SNI 15 0302 2004. Kedua semen ini tergolong ke dalam semen gabungan (*Blended Cement*) seperti dalam ASTM C 595.

Semen tipe I yang dahulu digunakan untuk keperluan umum tidak lagi diproduksi massal dalam kemasan kantong kertas dan hanya diproduksi dalam bentuk curah untuk melayani pesanan yang relative kecil.



## Pembatasan Emisi CO<sub>2</sub> Dalam Kegiatan Industri

Saat ini isu lingkungan menjadi hal yang sensitif, pemanasan global, dan efek Gas Rumah Kaca (GRK) dalam bentuk CO<sub>2</sub> menjadi sorotan dalam berbagai industri. Salah satu komponen dari beton yaitu semen Portland, pada proses pembuatannya dapat menghasilkan gas rumah kaca. Melihat hal tersebut yang dapat kita lakukan adalah melakukan tindakan mitigasi dampak lingkungan yang salah satunya dengan meminimalkan produksi gas rumah kaca dalam setiap kegiatan konstruksi beton. Tindakan yang dapat diambil salah satunya dengan memanfaatkan teknologi beton yang lebih rendah produksi GRK-nya. Dalam melayani kebutuhan semen Portland untuk keperluan umum mayoritas produsen semen memproduksi semen Portland komposit dan sisanya memproduksi semen Portland pozzolan. Tidak diproduksi lagi Semen Portland tipe I adalah tuntutan dari protokol Kyoto dimana Protokol Kyoto adalah sebuah amandemen terhadap Konvensi Rangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC), yaitu sebuah persetujuan internasional mengenai pemanasan global. Negara-negara yang meratifikasi protokol ini berkomitmen untuk mengurangi emisi/pengeluaran 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. Pada tahun 2012 Menteri Perindustrian juga telah menerbitkan Peraturan Menteri Perindustrian No 12/M-IND/PER/1/2012 tentang Peta Panduan (RoadMap) Pengurangan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Semen. Di dalam peraturan tersebut Emisi CO<sub>2</sub> spesifik diturunkan secara sukarela sebesar 2% dalam kurun waktu tahun 2011 sampai dengan tahun 2015 dan diturunkan secara wajib sebesar 3% dalam kurun waktu tahun 2016 sampai dengan tahun 2020. Oleh karena itu sekarang ini semen diproduksi dengan tambahan bahan bersifat semen (*cementitious*) pada tahap sesudah pembakaran sehingga energi yang diperlukan untuk menghasilkan semen dalam kemasan menjadi lebih sedikit.



**Gambar 3.** Ilustrasi emisi CO<sub>2</sub> dalam produksi semen Portland  
(sumber : <http://www.co2crc.com.au>)

## Sifat Fisika dan Kimia Semen Portland

Semen Portland Pozzolan (Portland Pozzoland Cement–PPC) dan Semen Portland Komposit (Portland Composite Cement–PCC) adalah varian semen hidrolik yang tersusun atas campuran semen Portland biasa (OPC) dengan bahan lain yang berpartisipasi dalam reaksi hidrasi sehingga memberi kontribusi substansial terhadap hasil hidrasi semen (Taylor, 1997). Semen OPC dihasilkan dari klinker dan kalsium sulfat saja, sedang semen PCC diberi bahan-bahan tambah lain seperti abu terbang batubara, butir terak tanur-tinggi (granulated blast-furnace slag), mikrosilika (silica fume), batu kapur (limestone), pozzolana alami atau bahan lain yang dapat memengaruhi proses hidrasi semen. Secara lebih spesifik semen PPC hanya mengijinkan penambahan bahan pozzolan (fly ash atau pozzolan 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. Semen PPC dan PCC juga disebut sebagai semen gabungan hidrolik (blended hydraulic cements).

Berikut ini adalah beberapa persyaratan Semen Portland untuk keperluan umum di dalam **Tabel 1, 2 dan 3**.

**Tabel 1** Persyaratan semen Portland (OPC)

satuan dalam %

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1.	SiO <sub>2</sub> , minimum	-	20,0 <sup>b,c)</sup>	-	-	-
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0 <sup>b,c)</sup>	-	6,5	-

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
4.	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5.	SO <sub>3</sub> , maksimum					
	Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C <sub>3</sub> A > 8,0	3,5	<sup>d)</sup>	4,5	<sup>d)</sup>	<sup>d)</sup>
6.	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7.	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8.	C <sub>3</sub> S, maksimum <sup>a)</sup>	-	-	-	35 <sup>b)</sup>	-
9.	C <sub>2</sub> S, minimum <sup>a)</sup>	-	-	-	40 <sup>b)</sup>	-
10.	C <sub>3</sub> A, maksimum <sup>a)</sup>	-	8,0	15	7 <sup>b)</sup>	5 <sup>b)</sup>
11.	C <sub>4</sub> AF + 2 C <sub>3</sub> A atau <sup>a)</sup> C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F, maksimum	-	-	-	-	25 <sup>c)</sup>

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1.	<b>Kehalusan :</b> Uji permeabilitas udara, m <sup>2</sup> /kg Dengan alat : Turbidimeter, min Blaine, min	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2.	<b>Kekekalan :</b> Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3.	<b>Kuat tekan :</b> Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum  Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum  Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	- 125  200 280	- 100 70 <sup>a)</sup> 175 120 -	120 240 - -	- - 70 170	- 80 150 210
4.	<b>Waktu pengikatan (metode alternatif)</b> dengan alat : <b>Gilmore</b> - Awal, menit, minimal - Akhir, menit, minimal <b>Vicat</b> - Awal, menit, minimal - Akhir, menit, minimal	60 600  45 375	60 600  45 375	60 600  45 375	60 600  45 375	60 600  45 375

**Tabel 2** Persyaratan semen Portland komposit (PCC)

Syarat kimia untuk semen portland komposit: SO<sub>3</sub> maksimum 4,0 %

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> /kg	min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave : - pemuaian - penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat : - pengikatan awal - pengikatan akhir	menit menit	min. 45 maks. 375
4.	Kuat tekan : - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	min. 125 min. 200 min. 250
5.	Pengikatan semu : - penetrasi akhir	%	min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

**Tabel 3** Persyaratan semen Portland Pozzolan (PPC)

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2.	SO <sub>3</sub>	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3.	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> /kg	min 280	min 280
2.	Waktu pengikatan dengan jarum vicat - pengikatan awal - pengikatan akhir	menit jam	min. 45 maks. 7	min. 45 maks. 7
3.	Kekekalan dengan autoclave - pemuaian - penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20	maks. 0,80 maks. 0,20
4.	Kuat tekan - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	min. 125 min. 200 min. 250	min. 110 min. 165 min. 205
5.	Panas hidrasi - umur 7 hari - umur 28 hari	kal/g kal/g	- -	maks. 70 maks. 80
6.	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 12

Terlihat bahwa perbedaan tipe semen menunjukkan perbedaan komposisi bahan kimia, namun ternyata beberapa sifat mekanis/fisika memiliki nilai yang mendekati/setara contohnya persyaratan kehalusan minimum 280 m<sup>2</sup>/kg dan kuat tekan pada umur 3 hari sebesar 125 kg/cm<sup>2</sup> , 7 hari sebesar 250 kg/cm<sup>2</sup> , dan 28 hari sebesar 250 ~ 280 kg/cm<sup>2</sup> .

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel terhadap semen yang tersedia di pasaran dari semua merek semen yang beredar di Indonesia.



**Gambar 4.** Sampel semen yang diambil

Sampel - sampel tersebut adalah sebagai berikut :

1. Semen Andalas Lafarge (PCC)
2. Semen Padang (PCC)
3. Semen Baturaja (PCC)
4. Semen Tiga Roda Cibinong (OPC)
5. Semen Tiga Roda Palimanan (PCC)
6. Semen Holcim (PCC)
7. Semen Gresik (PPC)
8. Semen Kupang (PCC)

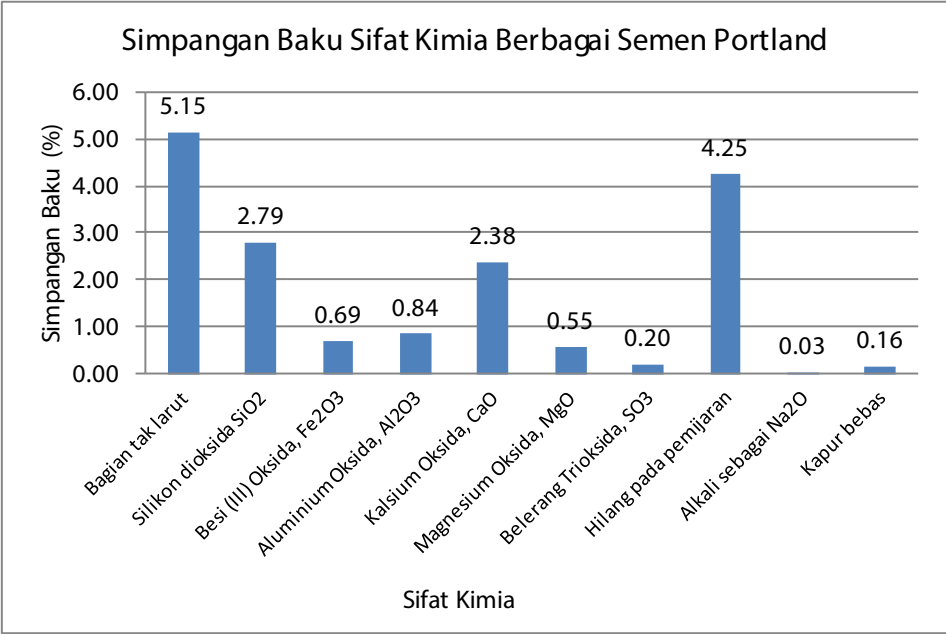
9. Semen Tonasa (PCC)
10. Semen Bosowa (PCC)
11. Semen Merah Putih (PCC)

Dari sampel yang diambil secara acak terhadap semua produk semen yang tersedia di pasaran tersebut dilakukan pengujian sifat kimia dan sifat fisika semen sesuai dengan SNI yang berlaku. Resume data pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

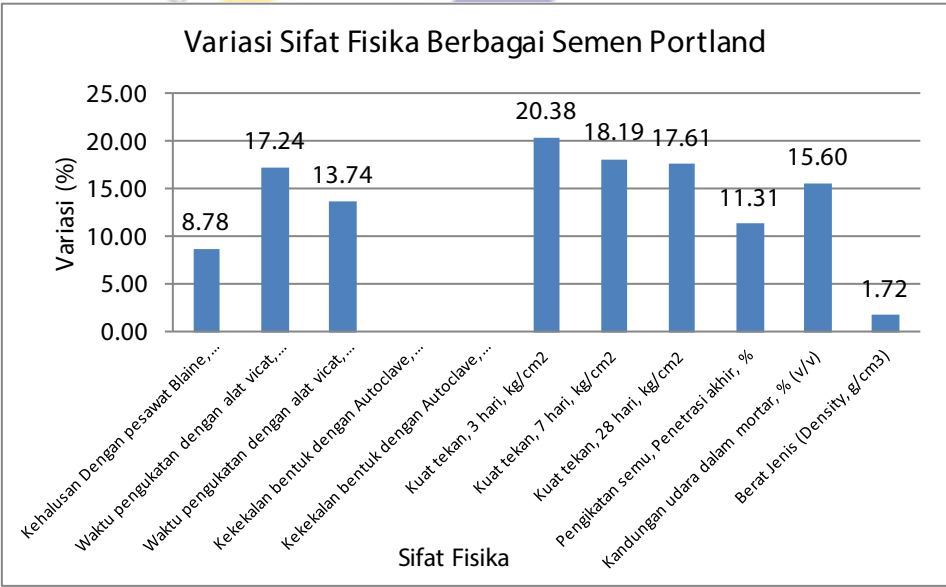
**Tabel 4** Rekapitulasi hasil pengujian semen yang diambil sampelnya

URAIAN		RESUME					
		Jumlah Data	Nilai Min	Nilai Max	Nilai Rata-rata	Simpangan Baku	Variasi
SIFAT KIMIA							
1.	Bagian tak larut	11	0.52	17.06	6.86	5.15	
2.	Silikon Dioksida, $\text{SiO}_2$	11	16.21	26.82	22.03	2.79	
3.	Besi (III) Oksida, $\text{Fe}_2\text{O}_3$	11	2.24	4.50	3.55	0.69	
4.	Aluminium Oksida, $\text{Al}_2\text{O}_3$	11	5.82	8.71	6.96	0.84	
5.	Kalsium Oksida, $\text{CaO}$	11	56.12	63.22	58.55	2.38	
6.	Magnesium Oksida, $\text{MgO}$	11	0.58	2.12	1.16	0.55	
7.	Belerang Trioksida, $\text{SO}_3$	11	1.78	2.46	2.01	0.20	
8.	Hilang pada pemijaran	11	1.43	15.81	5.75	4.25	
9.	Alkali sebagai $\text{Na}_2\text{O}$	11	0.40	0.49	0.46	0.03	
10.	Kapur bebas	11	0.86	1.36	1.05	0.16	
SIFAT FISIKA							
1.	Kehalusan dengan Pesawat Blaine, $\text{m}^2/\text{kg}$	11	277.00	382.00	350.55	30.77	8.78
2.	Waktu pengukatan dengan alat vicat, awal, menit	11	105.0	195.00	147.73	25.47	17.24
2a.	Waktu pengukatan dengan alat vicat, awal, menit	11	180.00	285.00	221.36	30.42	13.74
3.	Kekekalan bentuk dengan Autoclave, Pemuaian, %	10	0.01	0.19	0.05		
3a.	Kekekalan bentuk dengan Autoclave, Penyusutan, %	1					
4.	Kuat tekan, 3 hari, $\text{kg}/\text{cm}^2$	11	120.00	243.00	185.55	37.81	20.38
4a.	Kuat tekan, 7 hari, $\text{kg}/\text{cm}^2$	11	162.00	302.00	245.73	44.70	18.19
4b.	Kuat tekan, 28 hari, $\text{kg}/\text{cm}^2$	11	240.00	420.00	336.36	59.23	17.61
5.	Pengikatan semu, Penetrasi akhir, %	11	61.00	90.00	78.20	8.84	11.31
6.	Kandungan udara dalam mortar, % (v/v)	11	5.40	8.10	6.67	1.04	15.60
7.	Berat Jenis (Density, $\text{g}/\text{cm}^3$ )	11	2.94	3.09	3.00	0.05	1.72

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan angka yang cukup signifikan dari beberapa parameter yang diuji. Untuk menggambarkan lebih jelas perbedaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.

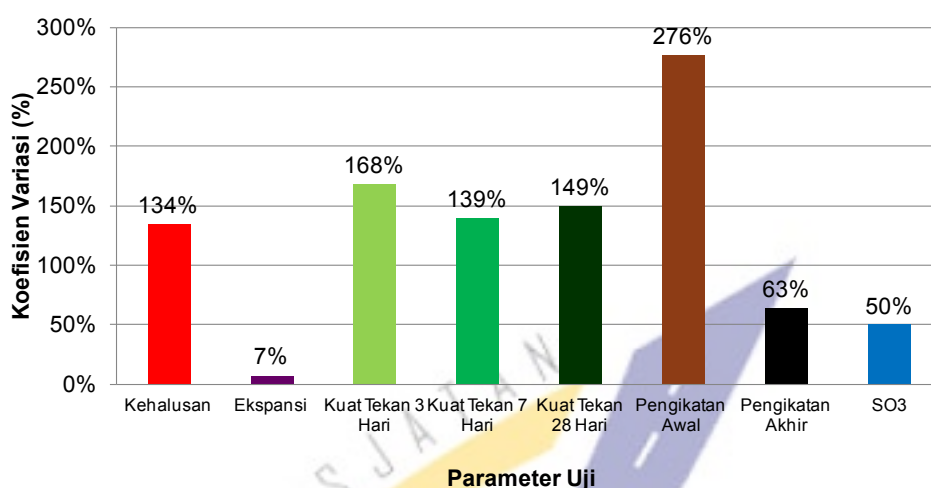


**Gambar 5.** Simpangan baku sifat kimia semen dari masing-masing parameter yang diuji



**Gambar 6.** Variasi sifat fisika semen dari masing-masing parameter yang diuji

Apabila dibandingkan terhadap nilai-nilai yang angkanya menjadi batasan dalam spesifikasi semen (SNI), hasil pengujian dari setiap parameter ternyata jauh melebihi (memenuhi spesifikasi) dari nilai yang disyaratkan, seperti terlihat dalam gambar di bawah ini.



**Gambar 7.** Perbandingan terhadap spesifikasi dari masing-masing parameter fisika yang diuji

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 PBI tahun 1971. Sepertinya saat ini hal tersebut sudah tidak relevan lagi, karena sifat semen pada tahun 71 dan di masa kini sudah berbeda. Hasil pengujian berbagai merk semen dengan f.a.s yang sama dengan variasi waktu memperlihatkan perbedaan “angka konversi” untuk setiap umur yang sama, juga demikian dengan “angka konversi” yang ada di dalam PBI tahun 1971.



**Tabel 5** Perbandingan “strength development” berbagai jenis semen

Umur	3	7	14	28	56	95
Kuat Tekan PCC A	58%	67%	79%	100%	100%	103%
Kuat Tekan PCC B	69%	76%	93%	100%	87%	100%
Kuat Tekan PCC D	45%	78%	89%	100%	105%	114%
Kuat Tekan PCC E	73%	74%	86%	100%	121%	133%
Kuat Tekan OPC C	59%	75%	85%	100%	106%	107%
Kuat Tekan OPC D	60%	74%	91%	100%	107%	113%
Kuat Tekan PPC C	63%	69%	86%	100%	105%	112%
Kuat Tekan PPC D	50%	78%	90%	100%	115%	119%
<b>PBI-71 Tipe I</b>	<b>40%</b>	<b>65%</b>	<b>88%</b>	<b>100%</b>		<b>120%</b>
<b>PBI-71 Tipe III</b>	<b>55%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>	<b>100%</b>		<b>115%</b>

### Penggunaan Semen Portland dalam Pekerjaan Beton di Indonesia

Pembangunan infrastruktur merupakan komponen penting dari proses pembangunan dalam perannya untuk pembentukan bangsa yang sejahtera. Infrastruktur akan terus memainkan peranan penting dalam mempercepat dan meratakan pertumbuhan ekonomi di seluruh Indonesia sesuai dengan program MP3EI (Master Plan Percepatan Pembangunan Ekonomi Indonesia) hingga tahun 2025. Dengan adanya MP3EI Pemerintah Indonesia dan khususnya Kementerian Pekerjaan Umum menetapkan prioritas untuk pembangunan infrastruktur dalam mencapai pertumbuhan ekonomi,

mengentaskan kemiskinan, mengurangi kesenjangan antar wilayah, dan memelihara integritas nasional.

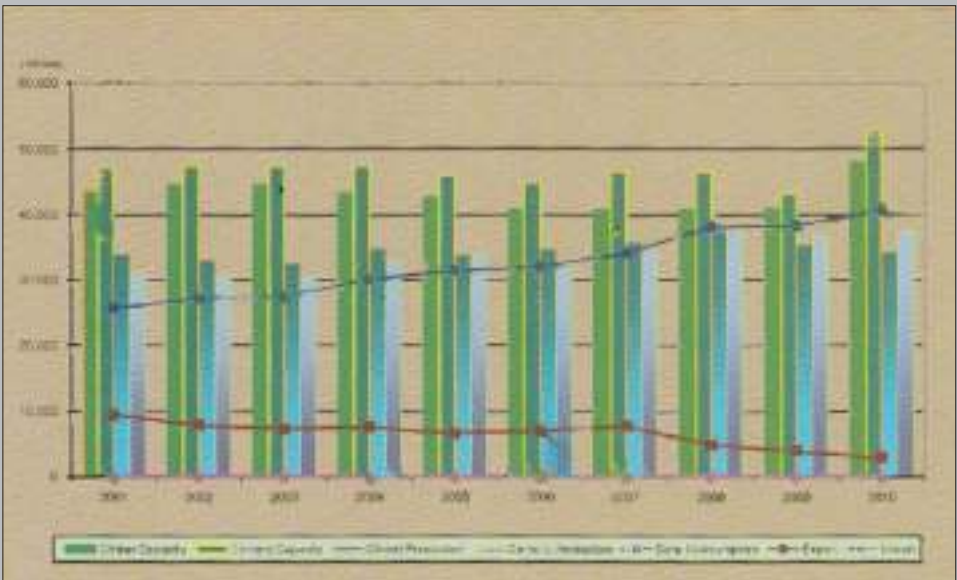
Indonesia adalah negara terbesar di Asia Tenggara dan merupakan anggota G20 dengan total produk domestik bruto (PDB) pada tahun 2012 yaitu sebesar 8241,9 triliun rupiah dengan tingkat pertumbuhan sebesar 6.23%. Sektor konstruksi menyumbang sebesar 861 Trilyun Rupiah atau sekitar 10.4% terhadap total PDB. Sepanjang tahun 2012 pemerintah telah merealisasikan groundbreaking (GB) pada 71 proyek dalam MP3EI dengan total nilai investasi mencapai Rp. 212,3 triliun dan pada tahun 2013 berencana merealisasikan 82 proyek MP3EI yang diperkirakan membutuhkan dana investasi sebesar Rp. 143,08 triliun. Untuk itu dapat terlihat jelas bahwa program besar tersebut diatas dapat tercapai dengan dukungan seluruh stake holders. Peran teknologi terlihat jelas sangat dominan dalam mensukseskan program pembangunan infrastruktur tersebut. Beton sebagai material utama pembangunan terus mengalami peningkatan penggunaan.

**Tabel 6** Pangsa pasar beton di Indonesia

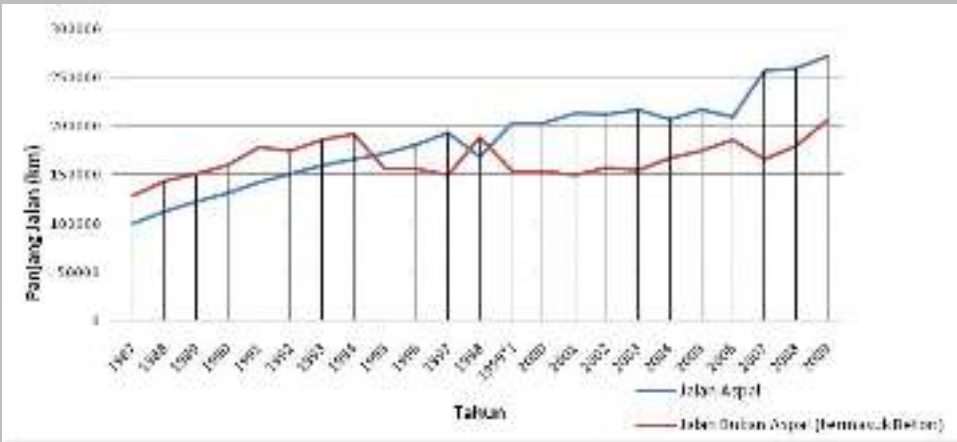
Jenis Pekerjaan	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Konstruksi Bangunan Gedung	23,377,654	28,197,067	31,374,730	34,612,257	33,078,407	40,050,649
Konstruksi Bangunan Sipil	21,499,912	24,378,724	26,049,107	28,615,500	46,241,921	46,596,400
Konstruksi Khusus	11,126,972	14,742,128	14,519,472	18,447,216	22,695,272	24,184,988
<b>TOTAL</b>	<b>56,004,538</b>	<b>67,317,918</b>	<b>71,943,309</b>	<b>81,674,973</b>	<b>102,015,600</b>	<b>110,832,037</b>

\* ) Angka Sementara | Sumber : BPS 2010

Penggunaan semen Portland di Indonesia cenderung selalu meningkat dari tahun ke tahun, hal ini menggambarkan bahwa semen Portland masih menjadi bahan yang menjadi idola (lihat **Gambar 8**). Dengan jumlah penduduk pada tahun 2010 sebesar 237.55 juta jiwa dan penggunaan semen domestik sebesar 40.77 juta ton, tingkat konsumsi semen di Indonesia hanya sebesar 172 kg per kapita, yang masih tergolong rendah. Negara



**Gambar 8.** Statistik penggunaan semen Portland di Indonesia berdasarkan suplai pabrik (sumber : ASI 2010)



**Gambar 9.** Statistik panjang jalan di Indonesia (sumber : BPS 2009)

di Eropa seperti Luxemburg dapat mengkonsumsi semen sampai dengan 898 kg per kapita. Sebagai bahan utama beton, semakin banyak konsumsi semen otomatis menjadi indikator semakin banyaknya infrastruktur beton (jalan dan jembatan) yang dibangun di Indonesia. Kebijakan Direktorat Jenderal Bina Marga untuk memanfaatkan teknologi tepat guna yang salah satunya adalah pemanfaatan beton untuk konstruksi jalan pasti turut memicu konsumsi semen Portland di Indonesia. Data statistik menunjukkan bahwa terjadi penambahan panjang jalan yang bukan berbahan dasar aspal seperti terlihat pada **Gambar 9**.

Dari hasil percobaan yang pernah dilakukan di laboratorium Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, 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 di dalam **Tabel 7** berikut ini.

**Tabel 7** Contoh proporsi bahan untuk kuat tekan beton 300 kg/cm<sup>2</sup>

Komposisi	Camp. I (PCC ex. A)	Camp. II (PPC ex. B)	Camp. III (Semen Serbaguna ex. C)	Camp. IV (Semen Curah ex. D)
Semen (kg/m <sup>3</sup> )	379	352	375	466
f.a.s	0,62	0,60	0,61	0,45
Air (kg/m <sup>3</sup> )	235	210	230	210
Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	696	879	766	810
Batu (kg/m <sup>3</sup> )	961	953	899	878
Kuat Tekan rata-rata 3 hr (kg/cm <sup>2</sup> )	(data tidak tersedia)	170	230	234
Kuat Tekan rata-rata 7 hr (kg/cm <sup>2</sup> )	270	230	(data tidak tersedia)	290
Kuat Tekan rata-rata 28 hr (kg/cm <sup>2</sup> )	443	315	370	374

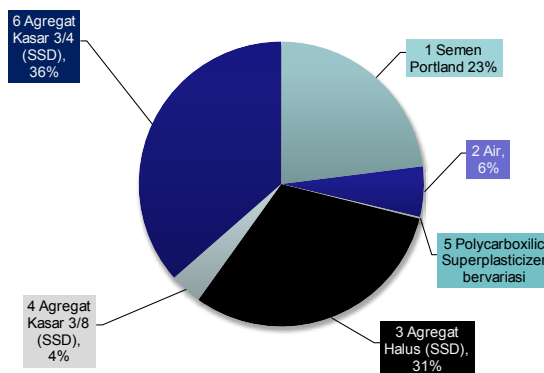
Dari data tersebut terlihat bahwa kekuatan tekan dari semen Portland komposit dan semen portland pozzolan dapat mencapai rentang kekuatan yang setara dengan kekuatan semen Portland tipe I, sehingga kinerja kekuatannya jika akan digunakan dalam beton struktural juga akan memiliki sifat yang serupa dengan beton yang menggunakan semen tipe I. Yang penting adalah 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. ■



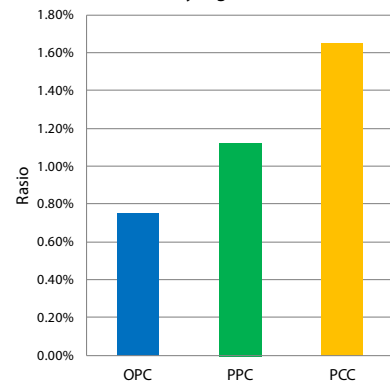
# 2

## Penelitian Penggunaan Semen Portland untuk Beton Kinerja Tinggi

## Rasio Berat Bahan



## Rasio Berat Polycarboxilic Superplasticizer terhadap berat semen untuk nilai flow yang sama +/- 600mm



*Gambar 10. Proporsi campuran beton dalam penelitian*

## 2

## Penelitian Penggunaan Semen Portland untuk Beton Kinerja Tinggi

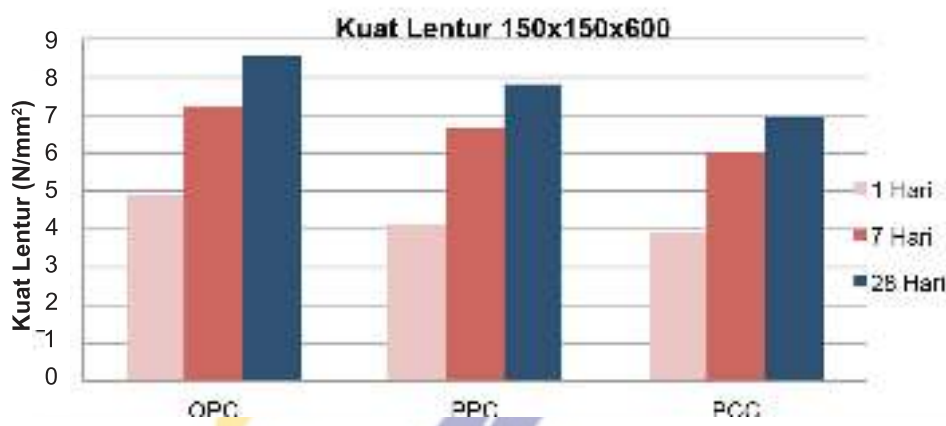
Untuk aplikasi beton kinerja tinggi, percobaan laboratorium juga telah dilakukan dengan target mencapai kekuatan awal yang setinggi-tingginya dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia dan memenuhi spesifikasi. Campuran beton dibuat menggunakan peralatan yang sama, jumlah dan tipe agregat yang sama, faktor air semen dan bahan tambah yang sama. Yang berbeda adalah tipe semen yang digunakan, yaitu OPC, PPC dan PCC. Proporsi campuran untuk masing-masing beton kinerja tinggi tersebut terlihat dalam **Gambar 10**.

Kekuatan beton yang dihasilkan mencapai lebih dari 50 MPa pada umur 1 hari, sedangkan pada umur 28 hari kekuatan tekannya mencapai di atas 80 MPa. Perbedaan nilai yang signifikan terjadi pada beton di umur yang muda yaitu 1 hari, dimana campuran yang menggunakan “blended cement” menunjukkan kekuatan ( $< 40$  MPa) yang jauh

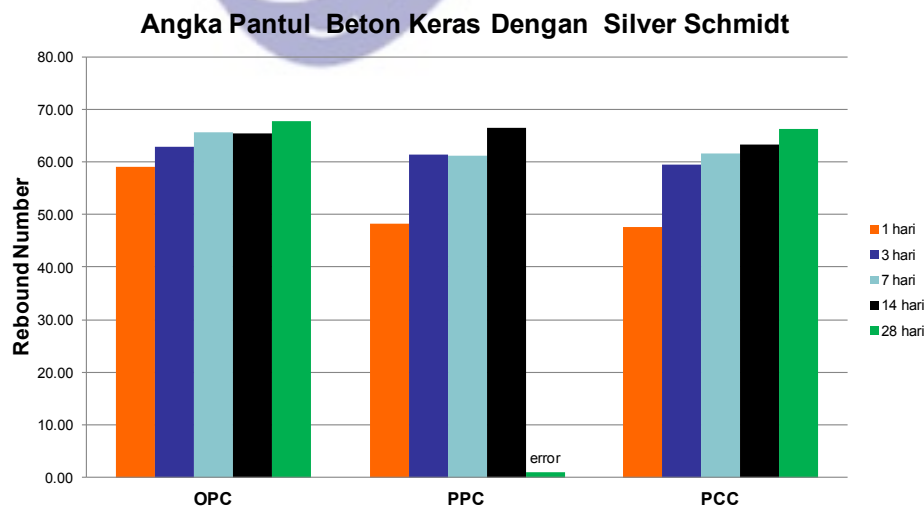




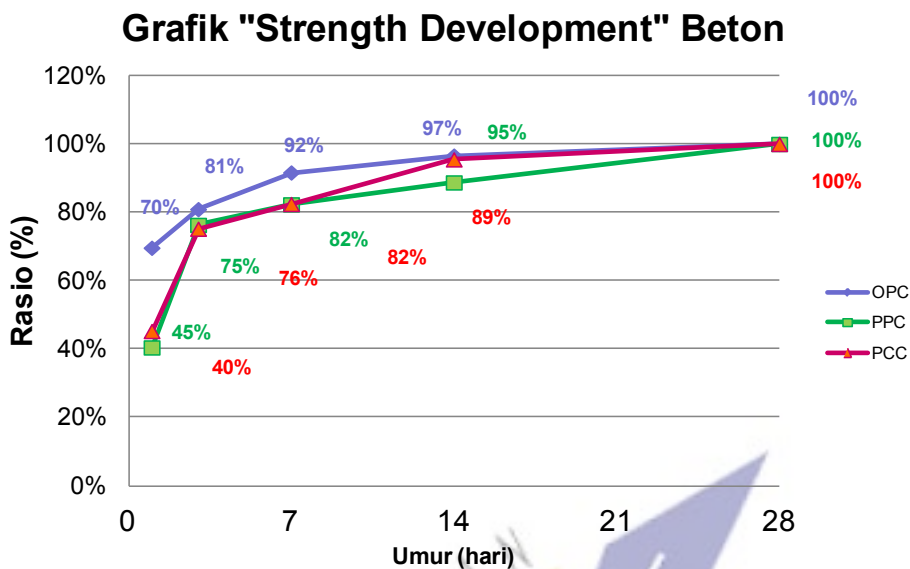
Gambar 11. Kekuatan tekan dari benda uji silinder pada berbagai umur



Gambar 12. Kekuatan lentur dari benda uji pada berbagai umur



Gambar 13. Perkiraan kuat tekan tekan dari benda uji silinder pada berbagai umur

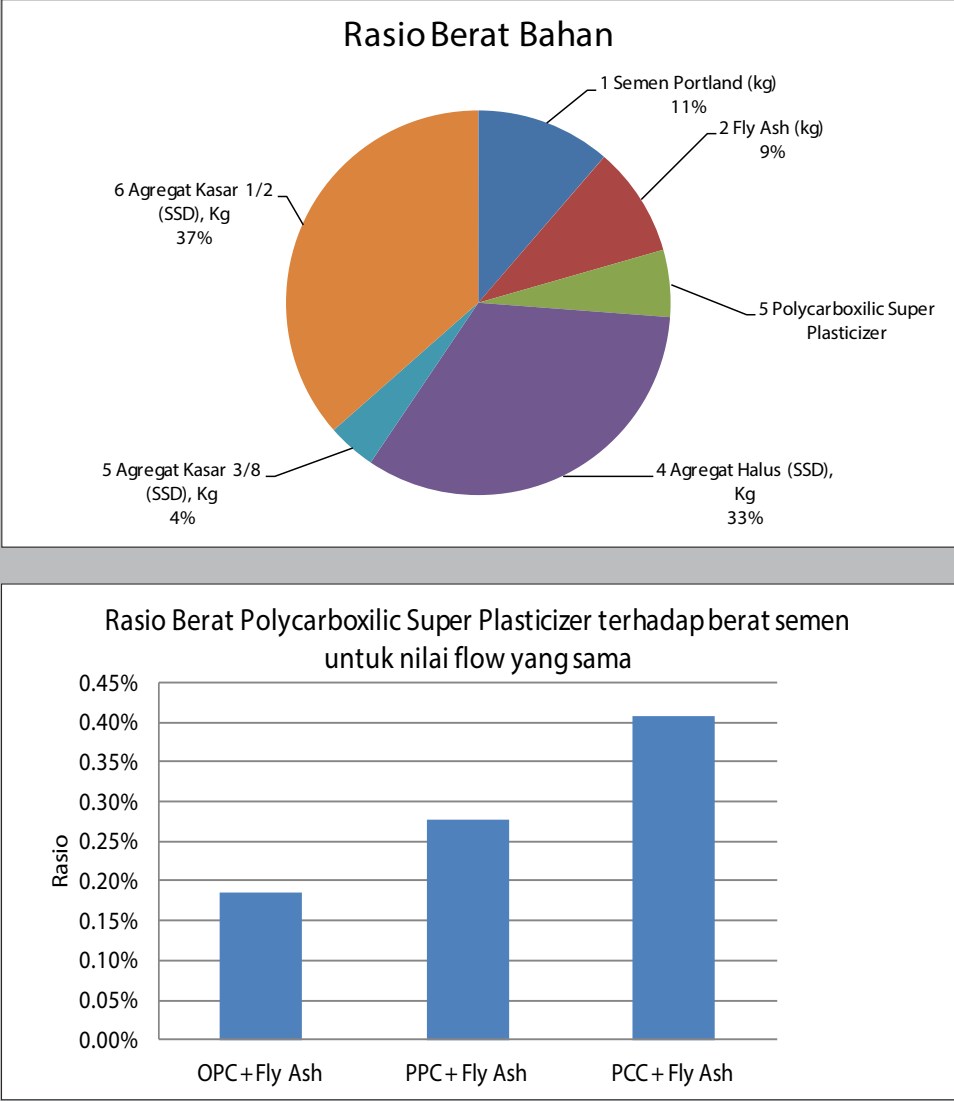


**Gambar 14.** Perbandingan kenaikan kekuatan tekan benda uji silinder pada berbagai umur

dibawah kekuatan yang ditunjukkan oleh campuran yang menggunakan semen OPC ( $> 50$  MPa). Grafik perkembangan kekuatan dapat dilihat pada **Gambar 14**.

Hal yang berbeda ditunjukkan dari hasil pengujian lentur, dimana perbedaan kekuatan tidak terlalu signifikan dengan perbedaan tipe semen baik diumur muda maupun umur 28 hari.

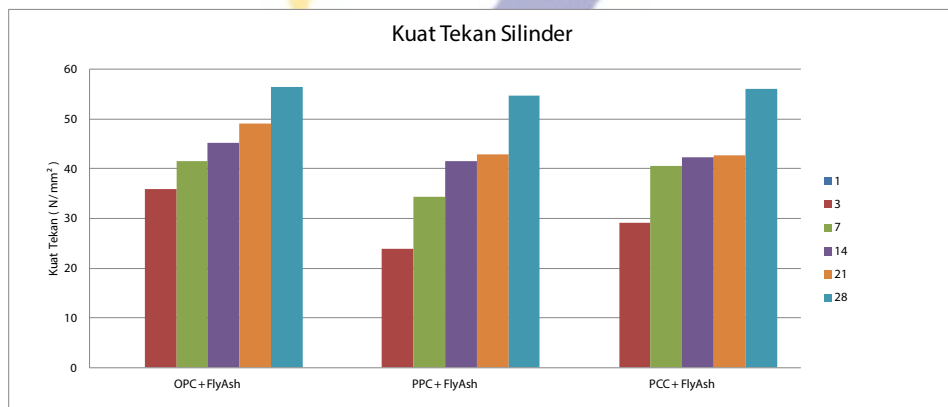
Pengujian NDT juga dilakukan dengan menggunakan palu pemantul (Schmidt Hammer) terhadap benda uji yang sama sesaat sebelum dilakukan pengujian tekan, dengan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 13**.



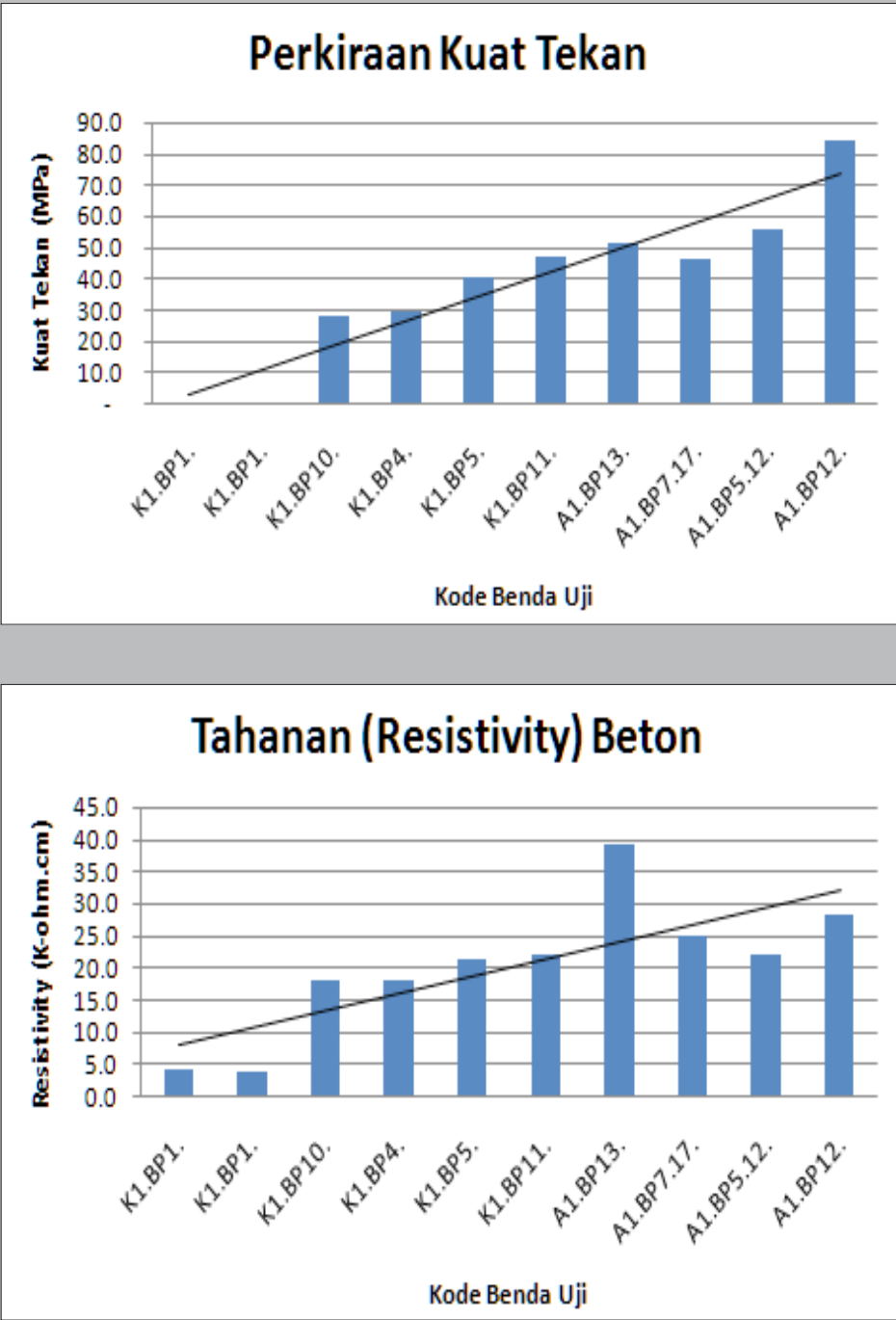
**Gambar 15.** Proporsi campuran beton dalam penelitian menggunakan abu terbang

Penggunaan “SCM” seperti fly ash dalam pekerjaan beton khususnya jembatan sepertinya sudah menjadi kebutuhan. Penggunaan SCM memberikan banyak keuntungan bagi struktur yaitu ketahanan (durability) khususnya jembatan yang dibangun di aera pantai, disamping harga beton yang menjadi sedikit lebih murah karena sebagian semen digantikan jumlahnya. Penggunaan OPC + fly ash akan lebih mudah karena di dalam OPC relatif tidak mengandung fly ash. Namun dalam semen tipe PPC dan PCC yang tergolong dalam kategori *blended cement*, penambahan fly ash dapat menjadi masalah, karena konsep *blended cement* yang sudah menggabungkan antara OPC dengan “SCM” sejak dari pabrik semen, sedikit berbeda dengan OPC + fly ash yang pencampurannya dilakukan di lapangan.

Dari **Gambar 15** terlihat campuran yang mirip dengan penelitian yang membandingkan kinerja antara OPC, PPC dan PCC sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 10**. Dalam campuran yang ini, dalam semua proporsi semen disubstitusikan (dikurangi dan diganti) dengan fly ash sebanyak 42% dari berat semen portland yang digunakan.



**Gambar 16.** Kekuatan tekan dari benda uji silinder beton kinerja tinggi yang menggunakan flyash pada berbagai umur



**Gambar 17.** Hubungan antara kekuatan tekan dengan tingkat ketahanan beton terhadap korosi

Hasil pengujian menunjukkan seluruh campuran menunjukkan penurunan kekuatan, namun kekuatan awal yang tinggi masih mampu dicapai berkisar antara 25 MPa sampai 35 MPa pada umur 1 hari.

Penggunaan fly ash dalam beton memberikan indikasi ketahanan korosi yang cukup dengan nilai resistivity yang baik

## Kendala dalam Penggunaan Semen Portland

Sampai saat ini belum ada hasil/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 praktek-praktek pembuatan beton yang ada di dalam PBI 1971 dan pengalaman sebelumnya 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 :

1. Beton mengikat/mengeras dalam waktu yang lebih singkat.
2. Terjadi retak susut yang berlebihan pada permukaan beton yang sedang mengering.
3. Kekuatan beton setelah mengeras yang di bawah persyaratan.
4. Komposisi eksak jumlah penambahan bahan pozolan dan bahan lainnya ke dalam PPC / PCC untuk keperluan pembuatan campuran beton yang lebih khusus.
5. Rantai pasok yang masih sering menemui keterlambatan suplai, sehingga kegiatan pengecoran beton tertunda.

Permasalahan tersebut sebetulnya dapat diatasi apabila pelaksana pekerjaan beton mengenal dan memahami sifat-sifat material penyusun beton dimana semen adalah salah satu bagian utamanya. Penggunaan tipe semen yang tepat, perencanaan proporsi dan pembuatan campuran

percobaan harus dilakukan sebelum pekerjaan dilaksanakan. Kerjasama dari produsen semen juga dibutuhkan dalam memproduksi semen Portland 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 (PPC dan PCC). ■



# 3

## Kesimpulan dan Saran





## 3

# Kesimpulan dan Saran

## Kesimpulan

**K**ebutuhan semen Portland untuk pembangunan infrastruktur akan semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Semen Portland Tipe I semakin lama semakin sedikit produksinya dan digantikan dengan semen Portland Komposit dan semen Portland Pozzolan.

Semen Portland komposit (PCC) dan semen Portland Pozoland (PPC) dengan rancangan campuran yang tepat dapat menghasilkan kekuatan beton yang setara dengan beton yang diproduksi menggunakan semen tipe I.

Penggunaan semen portland harus tepat sesuai dengan tujuan dan fungsinya.

## Saran

Penggunaan Semen Portland Komposit dan Semen Portland Pozzolan Perlu didukung oleh semua pihak dalam industri konstruksi, karena sejalan dengan tujuan mengurangi pemanasan global.

Pembuatan rancangan campuran harus dilaksanakan pada setiap pekerjaan yang menggunakan semen untuk mendapatkan sifat-sifat workabilitas dan kekuatan yang dibutuhkan berdasarkan tipe semen yang digunakan. ■



# Daftar Pustaka

- Asosiasi Semen Indonesia, Statistik Semen Indonesia 2009, Asosiasi Semen Indonesia (ASI).
- Asosiasi Semen Indonesia, Statistik Semen Indonesia 2010, Asosiasi Semen Indonesia (ASI).
- ASTM C 150 - 04. (2004). Standard Specification for Portland Cement. In *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM International.
- ASTM C 595 - 03. (2004). Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 14.04, p. 7). West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM International.
- Bogue, R. H. 1955. The chemistry of portland cement. 2d ed. New York: Reinhold Publishing Corp.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Peraturan Beton Indonesia, 1971.
- Encyclopaedia Britanica Inc, Cement Making Process, [www.britanica.com](http://www.britanica.com), 2007.
- Indonesia Dalam Angka, Statistik transportasi, Badan Pusat Statistik, 2009.
- Laporan Hasil Pengujian dan Rancangan Campuran Beton, Balai jembatan dan Bangkapja, 2011-2012.
- Puslitbang Permukiman 1982 Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982) Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Bandung.
- Ramachandran, V. S., and R. F. Feldman. 1984. Cement science. In *Concrete admixtures handbook: Properties, science, and technology*, ed. V. Ramachandran, 1-54. Park Ridge, N.J.: Noyes Publications.
- Standard specification for portland cement (AASHTO M 85-89). 1986. AASHTO standard specification for transportation materials. Part I, Specifications. 14th ed.
- Standard specification for portland cement (ASTM C 150-86). 1990 annual book of ASTM standards 4.02:89 - 93.

Standar Nasional Indonesia, Semen Portland, SNI 15 - 2049 - 2004, Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia, Semen Portland Putih, SNI 15 - 0129 - 2004, Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia, Semen Portland Pozolan, SNI 15 - 0302 - 2004, Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia, Semen Portland Komposit, SNI 15 - 7064 - 2004, Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia, Semen Portland Campur, SNI 15 - 3500 - 2004, Badan Standardisasi Nasional.

Taylor, H. F. (1997). *Cement Chemistry* (2nd ed.). London, UK: Thomas Telford Publishing.

# Acknowledgements

This research project would not have been possible without the support of many people. The author wishes to express her gratitude to his supervisor, Prof. Lanneke Tristante, Dr. John Dachtar, Monang S Reynolds who was abundantly helpful and offered invaluable assistance, support and guidance. Deepest gratitude are also due to the members of the supervisory committee, without whose knowledge and assistance this study would not have been successful. Special thanks also to all member of Asosiasi Semen Indonesia; especially for PT. Semen Indonesia for sharing the literature and resources. The author would also like to convey thanks to the Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan and Puslitbang Jalan dan Jembatan for providing the financial means and laboratory facilities. The author wishes to express his love and gratitude to his beloved families; for their understanding & endless love, through the duration of his studies.





**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Badan Penelitian dan Pengembangan  
Kementerian Pekerjaan Umum  
[www.pusjatan.pu.go.id](http://www.pusjatan.pu.go.id)