

SEMEN PCC SEBAGAI MATERIAL *GREEN CONSTRUCTION* DAN KINERJA BETON YANG DIHASILKAN

Rachmi Yanita

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia, Jalan Raya Puspiptek Serpong,
Tangerang Selatan, 15320, Indonesia

E-mail : rachmi.yanita@iti.ac.id

ABSTRAK

Tipe semen PC (Portland Cement) dan PCC (Portland Composite Cement) banyak digunakan sebagai bahan bangunan pembentuk beton pada proyek konstruksi oleh para penyedia jasa seperti kontraktor maupun perusahaan ready-mix. Semen PCC merupakan semen dalam Green Listing Indonesia dari Green Building Council Indonesia dan merupakan realisasi komitmen industri terhadap permasalahan lingkungan. Penggunaan Semen PCC dengan kandungan Fly-Ash (FA) lebih tinggi sering dikhawatirkan kekuatannya sebagai beton struktural dibanding semen PC oleh pihak pengguna jasa. Pada penelitian ini dikaji pengaruh penggunaan semen PC dan semen PCC pada beton $f_c'25$ dilihat dari perbedaan kandungan FA, berat jenis (BJ) dan komposisi mix-design terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Hasil analisa menunjukkan bahwa beton semen PC dan PCC (dengan kandungan FA max 22%, BJ >3) dengan Standar Deviasi (SD) = 6 MPa dapat mencapai $f_c'25$ yang direncanakan, dengan efisiensi biaya 8,1% per m³ beton. Pada penggunaan semen PCC harus diawali dengan pemeriksaan spesifikasi produk semennya, karena hasil penelitian ini menunjukkan beton semen PCC yang tidak memenuhi kriteria di atas, tidak mencapai f_c' yang direncanakan. Untuk meningkatkan kekuatannya dapat dilakukan dengan menggunakan bahan aditif atau kemungkinan memperbesar nilai SD untuk meningkatkan target kekuatan pada analisa *mix-design* yang berpengaruh terhadap biaya. Penggunaan semen PCC sangat direkomendasi karena merupakan material ramah lingkungan yang menunjang material untuk Green Construction.

Kata kunci: Semen ramah lingkungan, mix-design, kinerja beton.

ABSTRACT

Type of PC cement (Portland Cement) and PCC (Portland Composite Cement) are widely used as concrete building material for construction projects by service providers such as contractors and ready-mix companies. PCC cement is cement in the Green Listing Indonesia of the Green Building Council Indonesia and is a realization of the industry's commitment to environmental problems. The use of PCC Cement with higher Fly-Ash (FA) content is often feared for its strength as structural concrete compared to PC cement by service users. In this study the effect of PC cement and PCC cement on concrete $f_c'25$ was examined as seen from differences in FA content, specific gravity (BJ) and mix-design composition on the compressive strength of the concrete produced. The analysis shows that PC and PCC cement concrete (with a max FA content of 22%, BJ > 3) with a Standard Deviation (SD) = 6 MPa can reach the planned $f_c'25$, with a cost efficiency of 8.1% per m³ of concrete. The use of PCC cement must begin with checking the specifications of the cement product, because the results of this study indicate that PCC cement concrete that does not meet the above criteria, does not reach the planned f_c' . To increase its strength, it can be done by using additives or the possibility of increasing the SD value to increase the strength target in the mix-design analysis that affects the cost. Using the PCC cement is highly recommended because it is an environmentally friendly material that supports material for Green Construction.

Keywords: Environmentally friendly cement, mix-design, concrete performance.

PENDAHULUAN

Kinerja beton 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 (Tjokrodimujo, 2017). Dalam teknologi beton, semen portland merupakan komponen utama yang berfungsi, bersama dengan air, untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Untuk konstruksi bangunan gedung umumnya digunakan semen tipe I atau *Portland Cement* (PC) dan semen *Portland Composite Cement* (PCC). PC 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 (BSN, 2014). 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, telah dikembangkan jenis semen portland khusus, yaitu semen portland komposit (PCC) dan semen portland pozzolan (PPC) untuk ketahanan terhadap lingkungan sulfat. Semen PPC diproduksi dari campuran klinker semen portland, gips dan bahan mineral yang mempunyai sifat pozzolan (BSN, 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 PCC merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik (BSN, 2004). Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat dan batu kapur. Adanya perbedaan bahan dasar yang digunakan untuk memproduksi semen PPC dan PCC tentunya jenis semen tersebut akan memiliki karakter yang berbeda dibandingkan dengan semen Portland tipe I. Dari penelitian terdahulu menunjukkan bahwa proporsi kenaikan kekuatan dan modulus elastisitas dari 3 hari sampai 90 hari dengan semen PCC relatif sama dengan semen tipe 1 (Mustaqim, 201) sedangkan untuk

meningkatkan kekuatan beton dengan semen PCC agar sama dengan semen PC dapat digunakan additive (Istigfar et.al, 2014) yang menunjukkan bahwa kekuatan beton semen PCC lebih rendah daripada beton semen PC dan dapat menggunakan aditif untuk meningkatkannya..

Keunggulan semen PCC, adalah merupakan material konstruksi yang masuk daftar Produk Hijau dari Green Listing Indonesia yang dikeluarkan oleh Green Building Council Indonesia. Semen PCC termasuk material ramah lingkungan karena a) dalam proses produksi PCC, penggunaan bahan bakar dapat berkurang sampai sekitar 20%, dengan menggunakan material komposit sebagai pengganti sebagian klinker b) substitusi sebagian klinker dengan material komposit ini juga dapat mengurangi potensi emisi gas CO₂, c) PCC juga menggunakan waste material seperti slag dan fly ash sebagai komposit pengganti klinker. d) PCC diproduksi dengan teknologi penangkapan debu mutakhir, sehingga menekan potensi pencemaran udara jauh dibawah ambang batas yang telah ditentukan. e) Produk PCC menggunakan sebagian Bahan Bakar alternative terbarukan, seperti sekam padi, serbuk gergaji, limbah ban bekas dan lainnya, untuk mensubstitusi batu bara, f) PCC dirancang untuk memiliki durabilitas yang tinggi, tahan terhadap sulfat, panas hidrasi rendah, dan memiliki kekedapan tinggi sehingga mampu menopang ketahanan bangunan lebih lama, g) PCC dikemas dengan menggunakan material kantong yang dapat di recycle dan terbebas dari racun berbahaya dan h) produsen PCC peduli terhadap kelestarian lingkungan, khususnya pada lahan tambang dengan melakukan revitalisasi lahan, pengelolaan sumber daya air, penanaman tanaman sumber energy terbarukan, serta pengelolaan keanekaragaman hayati dilingkungan tambang (Indocement, 2018). Selain itu semen PC relatif lebih sulit dicari di pasaran, maka perlu rekomendasi atas penggunaan semen PCC sebagai realisasi Green Construction di Indonesia (Mochtar, 2017) dengan efektifitas kekuatan dan biaya material per meter kubik betonnya.

Apakah penggunaan semen PCC akan menghasilkan kuat tekan beton yang lebih rendah daripada semen PC? Apa yang perlu diperhatikan agar penggunaan semen PCC menghasilkan beton yang mencapai f_c' rencana dengan biaya yang efisien?

Oleh sebab itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji komposisi rencana campuran adukan beton dengan semen PC dan PCC karena adanya

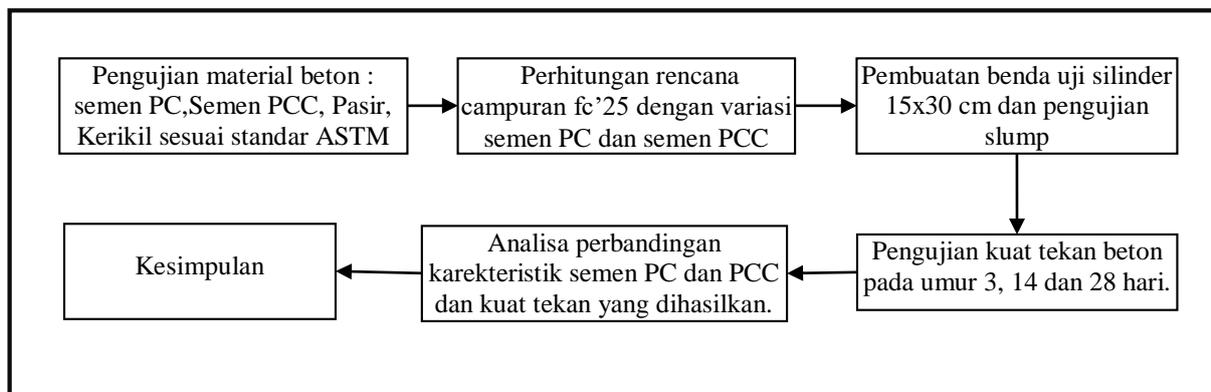
perbedaan berat jenis dan pengaruhnya terhadap kuat tekan beton $f_c'25$ serta besarnya biaya antara beton dengan semen tipe I (Ordinary PC/OPC) terhadap beton dengan semen PCC. Produk semen PCC berasal dari 2 produk yang dominan digunakan perusahaan ready-mix untuk proyek konstruksi di Jakarta.

BAHAN DAN METODE

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan ITI, meliputi pemeriksaan karakteristik bahan pembentuk beton menggunakan

standar *American Standard for Testing Material* (ASTM) dan proporsi rencana adukan beton $f_c'25$ MPa dengan semen PC dan PCC menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI)* untuk selanjutnya dilakukan perbandingan kuat tekan yang dihasilkan.

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah. Pemeriksaan material pembentuk beton yaitu pasir dan kerikil yang harus memenuhi syarat ASTM (ASTM C33) sebagai agregat beton meliputi syarat gradasi, kotoran organik, spesifik gravity, berat isi butiran, kekerasan butiran.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Sedangkan perhitungan rencana adukan beton $f_c'25$ menggunakan metode ACI (ACI 211.1) dengan standar deviasi 6 MPa yaitu untuk sampel jumlah kecil dan tingkat kontrol yang baik (DPMB, 1971), serta nilai slump rencana 8-10 cm. Pada pembuatan benda uji silinder 15x30 cm, didahului dengan pengujian nilai slump. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menimbang berat benda uji setelah 1 jam dikeluarkan dari bak perendaman pada umur benda uji 3, 14 dan 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen PCC yang berasal dari dua produsen yang dominan digunakan pada proyek konstruksi yang disebut sebagai produk A dan Produk B sedangkan semen PC dari produk A. Adapun spesifikasi semen spesifikasi diberikan pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1 : Spesifikasi Kandungan Semen Produk A dan Produk B

Kandungan Semen	Produk A		Produk B
	PC	PCC	PCC
	%	%	%
SiO ₂ (Pasir Silika)	19-21	20-25	22
Al ₂ O ₃ (Aluminium Oksida)	4.0-6.0	5.0-7.0	5.7
Fe ₂ O ₃ (Pasir Besi)	2.5-3.5	3.0-4.0	3.59
CaO	62-67	55-65	56.95
MgO	1 – 4	1.5 – 4.0	1,64
SO ₃	1.6– 2.2	1.6 – 2.2	1.54
Berat Jenis Semen	3.13	2.98	3.09

(Sumber : Spesifikasi Produk Semen Sampel)

Dari Tabel 1, diperoleh bahwa kandungan SiO₂ atau fly ash pada semen PCC produk A paling tinggi dari PC dan semen PCC produk B sedangkan jumlah CaO lebih rendah.

Agregat kasar dan agregat halus pada penelitian ini berasal dari quarry di daerah Tangerang Selatan. Berat jenis semen PC adalah yang tertinggi, dimana PCC produk A paling rendah.

Dilakukan uji kelayakan sebagai agregat beton sesuai standar ASTM meliputi kandungan kotoran organik, spesifik gravity, Fineness Modulus (FM), gradasi butiran, kadar lumpur, berat isi, kekerasan butiran yang digunakan untuk perhitungan rencana adukan beton / mix-desain (Tabel 2).

Tabel 2 : Karakteristik Agregat Kasar dan Agregat Halus untuk perhitungan Rencana Campuran

Karakteristik Agregat	
Dia.max Agregat	19.05 mm
BJ Agregat Kasar	2.431
BJ Agregat Halus	2.591
Fineness Modulus (FM)	2.432
Berat Isi Agregat Kasar	1.384
Gradasi Agregat Halus	Pada Daerah Baik
Gradasi Agregat Kasar	Pada Daerah Baik
Kotoran Organik	< standar warna 3

Perhitungan rencana adukan menggunakan Metode ACI, dengan ketentuan kekuatan $f_c'25$ MPa,

Standar Deviasi 6 MPa dan Slump 8-10 cm untuk variasi semen dengan BJ semen produk A PC = 3,13 dan PCC = 2,98 dan BJ semen PCC produk B = 3,09 . Rencana 3 tipe adukan dengan variasi semen diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3 : Hasil Analisa Rencana Adukan dengan Semen PC dan Semen PCC (Kg/m³ Beton)

Material	Adukan	Adukan	Adukan
	Semen PC/A	Semen PCC/A	Semen PCC/B
	BJ semen 3.13	BJ semen 2,98	BJ semen 3.09
Semen	425.053	425.053	425.053
Pasir	746.886	729.175	742.331
Kerikil	909.288	909.288	909.288
Air	201.900	201.900	201.900

Hasil perhitungan mix desain metode ACI, menunjukkan dengan menurunnya BJ semen maka volumeseamen meningkat, maka volume dan berat pasir dalam adukan juga menurun. Kuat tekan beton pada umur 28 hari diberikan pada Tabel 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 : Hasil Uji Kuat Tekan Rata-Rata Beton dan Nilai f_c' (MPa)

Umur Beton	Proporsi thd PBI'71	Adukan Semen PC/A (MPa)	Proporsi thd f_c' rencana	Adukan Semen PCC/B (MPa)	Proporsi thd f_c' rencana	Adukan Semen PCC/A (MPa)	Proporsi Thd PCC/A
3 hari	0.4	14.83	0.43	14.17	0.41	10.41	0.3
14 hari	0.88	33.83	0.97	30.74	0.88	24.58	0.71
28 hari	1	35.56	1.02	34.99	1.01	26.54	0.76
f_c'		25.72		25.15		16.17	

Dari hasil kuat tekan rata-rata pada hari ke 28 diperoleh kuat tekan karakteristiknya ialah sebagai berikut:

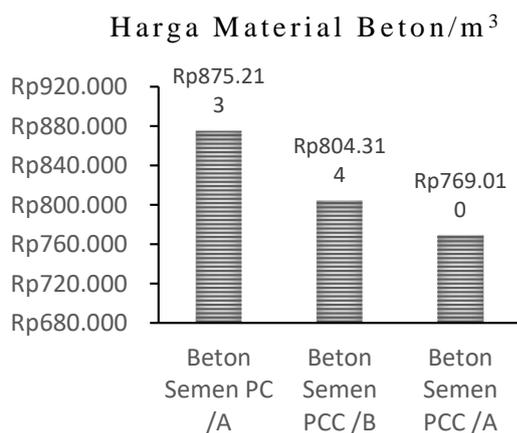
Semen PC produk A : $35.56-1.64 (6) = 25.72$ MPa
Semen PCC produk B: $34.99-1.64 (6) = 25.15$ MPa
Semen PCC produk A: $26.54-1.64 (6) = 16.7$ MPa
Terlihat Beton dengan PCC produk A lebih rendah dari f_c' rencana = 25 MPa.

Untuk biaya material beton PC dan PCC, dilihat dari komposisi per m³ material beton pada Tabel 4 di atas, dapat dihitung biaya per m³ beton dengan menggunakan harga pasar material Bulan Agustus 2019 pada Tabel 5 sehingga diperoleh Gambar 2 dibawah.

Tabel 5. Harga Material Beton

Material	Harga	Satuan
Semen PC Produk A	Rp 72.750,-	50 kg
Semen PCC Produk A	Rp 64.750,-	50 kg
Semen PCC Produk B	Rp 60.350,-	50 kg
Pasir	Rp 260.000,-	m ³
Kerikil	Rp 210.000,-	m ³

(Sumber : Harga Pasar,Banten, Agustus 2019)



Gambar 2. Perbandingan Harga Beton PC dan PCC per m³

Harga semen PC lebih tinggi dari semen PCC, dan sesuai komposisi mix desain, diperoleh harga material beton semen PCC produk B dengan f_c' memenuhi f_c' rencana, menghasilkan efisiensi 8,1% per m³ harga material beton. Untuk semen PCC produk A yang tidak mencapai f_c' rencana, dapat dicoba penggunaannya dengan memberi aditif Sikkament NN (Istighfar, 2014) yang berfungsi untuk meningkatkan kuat tekan beton, walau tentu biaya akan meningkat dan perlu diteliti apakah masih terjadi efisiensi. Bila diamati dari nilai Berat Jenis (BJ) maka semen PCC produk A yang tidak mencapai f_c' rencana adalah beton dengan BJ terendah, dimana jumlah pasirnya paling rendah dalam komposisi adukan sehingga menghasilkan beton yang kurang padat. Bila dilihat dari kandungan FA (Tabel 1), kandungan FA pada semen PCC lebih tinggi daripada semen PC yang merupakan substitusi material klinker untuk mengurangi polusi, sebagai kepedulian terhadap lingkungan. Terbukti dengan nilai FA 22 % seperti beton dengan semen PCC produk B, tetap dapat mencapai f_c' rencana. Maka penggunaan semen PCC tidak selalu menghasilkan beton yang lebih rendah kualitasnya, tergantung BJ dan kandungan FA nya. Direkomendasikan pemeriksaan spesifikasi produk semen PCC terlebih dahulu. Untuk beton dengan semen PCC dengan BJ dibawah 3,09 maka dapat menggunakan aditif untuk meningkatkan

kekuatannya (Istighfar dkk, 2014), atau kemungkinan meningkatkan nilai SD lebih dari 6 MPa untuk meningkatkan target kekuatan rencana beton menjadi lebih tinggi ($f_{ct}' = f_c' + 1,64(SD)$).

KESIMPULAN

Dari hasil uji tekan beton, diperoleh bahwa baik beton semen PC maupun beton semen PCC dapat mencapai f_c' rencana, untuk nilai BJ semen PCC diatas 3 dan kandungan FA sesuai spesifikasi pabrik adalah 22%. Namun ada beton semen PCC dari produk lain, yang tidak mencapai f_c' rencana, yaitu pada beton semen PCC dengan BJ dibawah 3 dan kandungan FA lebih tinggi sampai dengan 25%. Penggunaan semen PCC untuk beton structural, harus terlebih dahulu diperiksa BJ dan kandungan FA nya. Bila $FA > 22\%$ dan $BJ < 3$ maka perlu dilakukan trial mix, dan bila tidak mencapai f_c' , maka dapat ditingkatkan kekuatannya dengan memberi aditif yang meningkatkan kuat tekan beton atau 2) mencoba memperbesar target kekuatan adukan (f_{ct}) pada mix desain dengan menaikkan nilai SD lebih besar dari 6 MPa. Akibat penambahan aditif dan peningkatan f_{ct}' akan berdampak pada penambahan biaya. Adanya efisiensi biaya material sampai 8,1% dicapai oleh beton semen PCC dengan BJ diatas 3 dengan kandungan FA sampai 22% dan nilai standar deviasi 6 MPa. Penggunaan beton semen PCC sangat direkomendasikan karena dapat mencapai f_c' rencana. Disamping itu semen PCC merupakan material yang ramah lingkungan sebagai material untuk Green Constructian, yang diproduksi sebagai komitmen pihak industri terhadap Protokol Kyoto yang mengharuskan negara-negara untuk mengurangi emisi CO₂ untuk menghindari pemanasan global, dikarenakan proses produksi semen jenis PCC menghasilkan gas emisi CO₂ lebih sedikit daripada semen PC, disebabkan pengolahan klinker bahan utama semen dikurangi jumlahnya dan diganti dengan menambah jumlah FA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Komersialisasi Teknologi Institut Teknologi

Indonesia (LPKT-ITI) atas dukungan pelaksanaan penelitian dan penulisan artikel ini dalam program Hibah Internal 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI). *ACI 211.1-91* : Concrete Mix Design.. ACI Standards, USA.
- American Standards for Testing Material (ASTM). *ASTM C-33. Standart Practice Making and Curing Concrete Test Specimens in Field*. Annual Books of ASTM Standards, USA.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2004). SNI 15-2049-2004,. *Semen Portland.*, Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2004). SNI 15-0302-2004,.2004.. *Semen Portland Pozolan.*, Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2004). SNI 15-7064-2004,.2004.. *Semen Portland Komposit.*, Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (DPMB). (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971-NI-2*.Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Jakarta
- Indocement, PT,Tbk. (2018). PCC Tiga Roda: Produk Hijau yang diakui oleh Green Listing Indonesia. [Online]. Available at: <https://www.sementigaroda.com/read/20180316/447/pcc-tiga-roda-produk-hijau-yang-diakui-oleh-green-listing-indonesia> [Accessed 3 March 2020].
- Istighfar, Irfan. Kurniawandy, Alex. Ermiyati. (2014). *Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Semen PCC dan Semen Tipe 1 Terhadap Pemakaian Sikkament NN*. Jurnal Online FT Universitas Riau Vol 1,No.1,1-15. [Online]. Available at : https://jom.unri.ac.id/index.php/JOM_FTEKNIK/article/view/3744 [Accessed 10 January 2020]
- Mochtar,K. (2017). "Problem of Green Building Construction Local Technology and Material in Indonesia". *Proceeding, FIG Working Week 2017, Helsinki, Findlandia 2017*. [Online] Available at: : (https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2017/papers/ts02d/TS02D_mochtar_8521_abs.pdf). [Accessed 10 January 2020]
- Mustaqim, Annur. (2014). *Pengaruh Penggunaan Semen PCC (Portland Composite Cement) pada FAS 0,4 Terhadap Laju Peningkatan Mutu Beton*. Jurnal Scaffolding, FT Unnes, Vol 3 No.1
- Tjokrodimujo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Penerbit Nafiri, Jogjakarta