

# PEMANFAATAN LIMBAH TETES TEBU SEBAGAI ALTERNATIF PENGANTI SET-RETARDER DAN WATER REDUCER UNTUK BAHAN TAMBAH BETON

Agus Santoso

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT-UNY

## ABSTRACT

*Previous studies have shown that technically sugar consumption in which is dominated by the content of sucrose can be used as a “ in a concrete and positive results. Nevertheless , can be understood the controversy that sugar consumption is one of essential commodities which is very required by human beings around the world . `To overcome this problem can be considered the use of liquid waste drops ) consumption of sugar cane as an alternative replacement for the added a mixture of concrete .Liquid waste sugarcane the average containing 32 percent sucrose , 14 % glucose and fructose 16 % has the potential to be exploited as an ingredient of a mixture of concrete added . Hence , in this research will be conducted the study experimental to use liquid waste drops ) cane as an alternative material added concrete . The results of research shows that the fresh concrete workability average on 0’; 30’ and 60’ were the test result 10.57cm; 3.67cm and 5.77 respectively. Compressive strength average on 0%; 20% and 80% of molasses were 24.29MPa, 23.37MPa and 24.31 respectively. Tensile splitting test average on 0%; 20% and 80% were the test results 2.9MPa, 2.57MPa and 2.79MPa.*

**Keyword:** *molasses, compressive and splitting tensile test*

## PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan material yang telah lama digunakan secara luas dalam dunia konstruksi. Material yang menggunakan beton dan baja tulangan ini banyak dimanfaatkan karena sebagian besar bahan-bahan penyusunnya mudah diperoleh sehingga dapat menekan biaya konstruksi yang diperlukan. Penggunaan material beton di Indonesia sangat dominan. Hal ini ditandai dengan tingkat konsumsi semen domestik yang mencapai lebih dari 48 juta ton pada tahun 2011 dengan tingkat pertumbuhan sebesar 17,7% dibandingkan dengan produksi tahun 2010 yang mencapai 40,78 juta ton (<http://www.duniaindustri.com>: Tim Redaksi 03, 2012).

Kebutuhan material beton yang sedemikian besar telah mendorong munculnya industri beton *ready-mix* di hampir semua kota besar di seluruh Indonesia. Pada umumnya, *Batching plant* yang merupakan lokasi produksi beton *ready-mix* ditempatkan di luar kota yang relatif jauh dari lokasi hunian penduduk agar untuk meminimalisir pencemaran udara maupun pencemaran suara yang dapat mengganggu kehidupan masyarakat. Di lain pihak, lokasi pembangunan infrastruktur sebagian besar justru berada di dalam area perkotaan yang pada umumnya cukup jauh dari lokasi *batching plant* dan seringkali menemui kendala kemacetan lalu lintas untuk mencapai lokasi proyek.

Kondisi di atas, menimbulkan resiko berkurangnya workability bahkan terjadi pengerasan beton (*setting*) segar sebelum mencapai lokasi proyek sehingga banyak ditemui kasus dimana beton *ready-mix* ditolak di lokasi proyek. Penolakan ini selain

dapat merugikan industri *ready-mix* juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan yang diakibatkan pembuangan beton segar tertolak (*rejected fresh concrete*). Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan modifikasi campuran beton segar dengan menambahkan set-retarder yang mampu memperlambat *setting-time* beton.

Keadaan lain yang menarik di lokasi proyek adalah semakin berkembangnya struktur bangunan tinggi yang dibangun untuk menanggulangi keterbatasan lahan di daerah perkotaan. Pembangunan struktur bangunan tinggi ini memerlukan material yang dapat dengan cepat dan mudah untuk dipindahkan ke lokasi pekerjaan. Untuk mengatasi permasalahan ini maka dibutuhkan beton segar yang memiliki *workability* yang baik sehingga dapat dipompa untuk mencapai elevasi pekerjaan yang direncanakan. Untuk mengatasi kedua permasalahan utama di atas, maka diperlukan bahan tambah (*admixture*) beton yang dapat berfungsi untuk memperlambat *setting-time* beton sekaligus meningkatkan *workability* beton.

Menurut Susilorini dan Sambowo (2011), penelitian bahan tambah (*admixture*) berbasis gula untuk campuran beton dengan memanfaatkan sukrosa, gula pasir, dan larutan tebu telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pemanfaatan gula konsumsi sebagai bahan tambah beton juga didasarkan pada kenyataan bahwa gula konsumsi maupun larutan tebu murni didominasi oleh sukrosa yang dapat digolongkan sebagai *retarder* dalam kategori sangat efisien (SINTEF, 2007).

Kendatipun secara teknis pemanfaatan gula konsumsi sebagai bahan tambah dalam campuran beton telah menunjukkan hasil yang positif, namun dapat dipahami adanya kontroversi bahwa gula konsumsi merupakan salah satu bahan pokok yang sangat dibutuhkan oleh manusia di seluruh dunia. Untuk mengatasi masalah ini dapat dipertimbangkan pemanfaatan limbah cair (tetes) tebu sebagai alternatif pengganti gula konsumsi untuk bahan tambah campuran beton.

Menurut Olbrich (2006), limbah cair (tetes) tebu mengandung 32% sukrosa, 14% glukosa dan 16% fruktosa sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran beton. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental untuk memanfaatkan limbah cair (tetes) tebu sebagai alternatif bahan tambah beton. Sesuai dengan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui: (a) Berapa nilai *workability* beton segar dengan berbagai variasi penambahan limbah cair (tetes) tebu efektif?; (b) Berapa kekuatan tekan beton dengan berbagai variasi penambahan limbah cair (tetes) tebu?; (c) Berapakah besarnya kekuatan tarik belah beton dengan berbagai variasi penambahan limbah cair (tetes) tebu?

## LANDASAN TEORI

### Beton

Beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan kasar dengan pasta semen (kadang-kadang juga ditambahkan *admixtures*), yang apabila dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian didiamkan, akan menjadi keras seperti batuan. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu. Hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu. Beton dapat juga dipandang sebagai batuan buatan. Rongga pada partikel yang besar (agregat kasar) diisi oleh agregat halus, dan rongga yang ada di antara agregat halus akan diisi oleh pasta (campuran air dengan semen), yang juga berfungsi sebagai bahan perekat sehingga semua bahan penyusun dapat menyatu menjadi massa yang padat.

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus, serta bahan tambah. Setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan. Bila kuat tekannya tinggi, maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air-semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan), serta umur beton (Tjokrodinuljo, 2007).

### Semen

Semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis dengan gips sebagai bahan tambahan. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu : trikalsium silikat ( $C_3S$ ), dikalsium silikat ( $C_2S$ ), trikalsium aluminat ( $C_3A$ ), dan tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ ). Selain itu, pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya :  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $K_2O$  dan  $Na_2O$ . Soda atau potasium ( $Na_2O$  dan  $K_2O$ ) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat, sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987).

Unsur  $C_3S$  dan  $C_2S$  merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 2007). Bila semen terkena air, maka  $C_3S$  akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur  $C_3A$  bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Semen yang mengandung unsur  $C_3A$  lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah  $C_4AF$ , sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton.

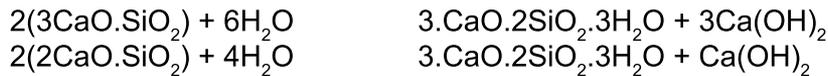
Perubahan komposisi kimia semen, yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen, dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SNI) mengenal 5 jenis semen, yaitu:

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen portland untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang sangat baik terhadap sulfat.

Tabel 1. Komposisi Semen dan Batasan SNI 15-2049-2004

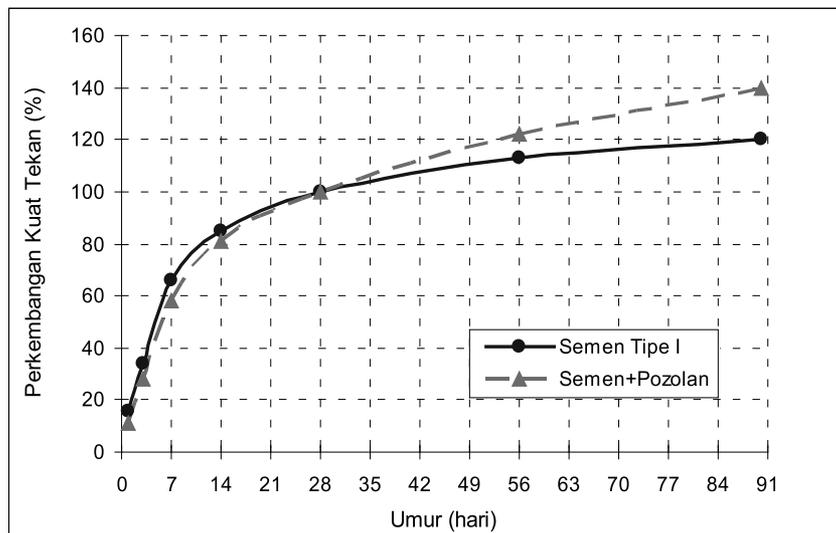
Semen	Persentase Komponen Penyusun							
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO Bebas	MgO	Hilang Pijar
Jenis I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4 (≤ 6)	1,2 (≤ 5)
Jenis II	46	29	6 (≤ 8)	12	2,8	0,6	3,0 (≤ 6)	1,0 (≤ 3)
Jenis III	56	15	12 (≤ 15)	8	3,9	1,4	2,6 (≤ 6)	1,9 (≤ 3)
Jenis IV	30 (≤ 35)	46 (≥ 40)	5 (≤ 7)	13	2,9	0,3	2,7 (≤ 6)	1,0 (≤ 2,5)
Jenis V	43	36	4 (≤ 5)	12 (≤ 25)	2,7	0,4	1,6 (≤ 6)	1,0 (≤ 3)

Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut:



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas Ca(OH)<sub>2</sub>, yang merupakan sisa dari reaksi antara C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton, karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

Semen yang beredar di pasaran Indonesia didominasi semen Tipe I dalam kemasan 50 kg, yang spesifikasinya diatur dengan SNI 15-2049-2004. Selain itu beredar pula semen portland pozzolan (PPC) dalam kemasan 40 kg, yang spesifikasinya diatur dengan SNI 15-0302-2004. Kedua jenis semen tersebut dapat digunakan untuk bahan konstruksi rumah maupun gedung, namun perlu dicatat bahwa semen jenis PPC membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk mencapai kekuatan tekan yang diinginkan. Hal ini dikarenakan masih diperlukannya waktu tambahan untuk menuntaskan reaksi antara senyawa pozzolan aktif (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan kapur bebas (Ca(OH)<sub>2</sub>) dan membentuk tobermorite (C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub>). Perbedaan laju perkembangan kuat tekan beton yang menggunakan semen tipe I dan PPC ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam konstruksi beton bertulang, kuat tekan beton pada umur 28 hari (*f'c<sub>28</sub>*) merupakan acuan untuk melakukan perencanaan struktur.



Gambar 1. Laju Perkembangan Kuat Tekan Beton

## Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan. Dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*), agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*).

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air, yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton, meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lt, kandungan garam-garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lt, tidak mengandung khlorida lebih dari 0,5 gr/lt, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lt. Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodimuljo, 2007). Secara praktis, air yang baik untuk digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

## Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Berat jenis agregat normal berkisar antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 2007). Ukuran agregat dalam prakteknya dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu :

1. Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.

3. Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.
4. Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm, dinamakan "silt" atau tanah (Tjokrodimuljo, 2007).

Faktor penting yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat. Apabila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam, dapat menimbulkan volume pori lebih besar. Tetapi jika ukuran butirnya bervariasi, maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diharapkan memiliki kemampatan yang tinggi, sehingga volume pori dan kebutuhan bahan pengikat lebih sedikit.

SNI 03-2834-1992 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus (pasir) menjadi empat daerah atau zone yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus Menurut Sni 03-2834-1992

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos Saringan			
	Gradasi Zona I	Gradasi Zona II	Gradasi Zona III	Gradasi Zona IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

Secara praktis, pasir yang baik dapat ditengarai secara visual dengan ciri-ciri butirannya yang bersudut/tajam, berwarna kehitaman, tidak mengandung lumpur ataupun zat organik.

Batasan gradasi agregat kasar yang baik untuk ukuran butir agregat maksimum 19 mm dan 38 mm, menurut SNI 02-2384-1992 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas-Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos Saringan	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 19 mm
38,0 mm	90-100	100
19,0 mm	35-70	90-100
9,6 mm	10-40	50-85
4,8 mm	0-5	0-10

Agregat kasar, menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, perlu diuji ketahanannya terhadap keausan (dengan mesin *Los Angeles*). Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan Mesin Los Angeles, Lolos Ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10MPa-20MPa)	40
Kelas III (di atas 20 MPa)	27

Berkaitan dengan pekerjaan konstruksi beton bertulang, ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:

1.  $1/5$  jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
2.  $1/3$  ketebalan pelat lantai, ataupun
3.  $3/4$  jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon pratekan atau selongsong-selongsong.

Pada umumnya, campuran beton yang menggunakan agregat kasar berupa batu pecah (split) akan menghasilkan kualitas beton yang lebih baik dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar alami (kerikil), karena batu pecah memiliki permukaan bersudut sehingga akan saling mengisi/mengunci saat dipadatkan. Selain itu, permukaan batu pecah juga lebih kasar sehingga kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat pada bagian permukaan (*interface*) juga lebih baik.

### Bahan Tambah

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok dalam beton (air, semen dan agregat), yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton, sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan, sehingga memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 2007). Bahan tambah, menurut penggunaannya, dibagi menjadi dua, yaitu: *admixture*s dan *additives*.

*Admixtures* ialah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolis dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam *batching* (media adukan). Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen (Taylor, 1997).

Menurut Tjokrodimuljo (2007), bahan tambah dapat dibedakan menjadi 3 golongan, yaitu :

- a. *Chemical Admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi, yang dicampurkan pada adukan beton, agar diperoleh sifat-sifat beton yang berbeda, baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Misalnya: sifat pengerjaannya yang lebih mudah, dan waktu pengikatan yang lebih lambat atau lebih cepat. *Superplasticizer* merupakan salah satu *admixture* yang sering ditambahkan pada beton segar. Pada dasarnya penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kelecakan, mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran (faktor air semen), mengurangi *slump loss*, mencegah timbulnya *bleeding* dan segregasi, menambah kadar udara (*air content*), serta memperlambat waktu pengikatan (*setting time*).
- b. Pozolan (*pozzolan*) merupakan bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan, yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Pozolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton atau mortar (sampai batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk

memperbaiki kelecakan (*workability*), membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan menambah ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia yang bersifat agresif. Penambahan pozolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton, karena adanya reaksi pengikatan kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) oleh silikat atau aluminat menjadi tobermorite ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Pozolan yang saat ini telah banyak diteliti dan digunakan, antara lain, adalah: silica fume, abu terbang (*fly ash*), tras alam dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*).

- c. Serat (*fiber*) merupakan bahan tambah yang berupa serat gelas /kaca, plastik, baja, polipropylene ataupun serat tumbuh-tumbuhan (rami, ijuk). Penambahan serat ini dimaksudkan untuk meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*), sehingga dapat meningkatkan keawetan/durabilitas beton. Misalnya pada perkerasan jalan raya atau lapangan udara, *spillway*, serta pada bagian struktur beton yang tipis untuk mencegah timbulnya keretakan.

Menurut Susilorini dan Sambowo (2011), jenis-jenis bahan tambah menurut ASTM C494 digolongkan sebagai berikut:

1. Tipe A, *water-reducing admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air dalam campuran beton yang konsistensinya tertentu
2. Tipe B, *retarding admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat menghambat pengikatan beton
3. Tipe C, *accelerating admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mempercepat pengikatan beton dan peningkatan kekuatan awal beton
4. Tipe D, *water-reducing and retarding admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air untuk campuran beton yang konsistensinya tertentu dan menghambat pengikatan beton
5. Tipe E, *water-reducing and accelerating admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air untuk campuran beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan beton
6. Tipe F, *water-reducing, high range admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air untuk campuran beton yang konsistensinya tertentu sebanyak 12%
7. Tipe G, *water-reducing, high range and retarding admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air untuk campuran beton yang konsistensinya tertentu sebanyak 12% atau lebih dan menghambat pengikatan beton

Menurut Newman dan Choo (2003), Bahan tambah bekerja melalui beberapa cara yang dijelaskan sebagai berikut :

1. Terjadi reaksi kimia selama proses hidrasi semen, yang menyebabkan percepatan atau perlambatan laju reaksi saat fase semen
2. Terjadi absorpsi pada permukaan semen, umumnya menyebabkan dispersi partikel (*plasticizing action* atau *superplasticizing action*)
3. Terjadi peningkatan tegangan tarik pada permukaan air, sehingga meningkatkan penangkapan udara (*air entrainment*)
4. Mempengaruhi rheologi air, biasanya meningkatkan viskositas plastis atau kohesi campuran
5. Mengaplikasikan bahan kimia pada beton keras yang dapat mempengaruhi sifat-sifat tertentu, khususnya korosi,
6. Mempengaruhi kebutuhan air, yaitu menyebabkan terjadinya plastisisasi (*plasticizing*) dan pengurangan air (*water reducing*)
7. Mengubah laju pengerasan beton, yaitu menyebabkan terjadinya percepatan (*accelerating*) atau perlambatan (*retarding*)

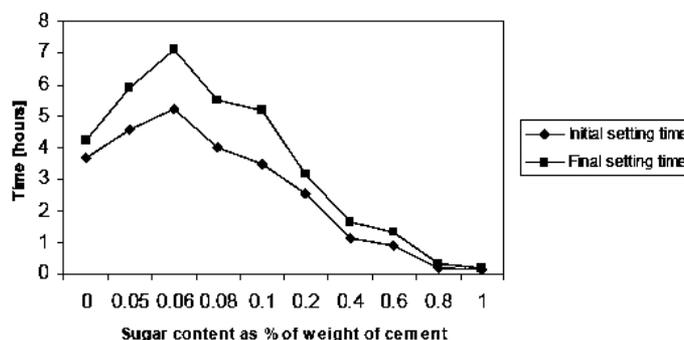
8. Mengubah kandungan udara (*air content*), dengan meningkatkan atau menurunkan penangkapan air (*air entrainment*)
9. Mengubah viskositas plastis (*plastic viscosity*), yaitu kohesi atau tahanan dalam hal terjadinya bleeding dan segregasi campuran

Pada umumnya, penambahan gula ke dalam campuran beton segar dengan penambahan antara 0,03% sampai dengan 0,15% berdasarkan berat semen dapat berfungsi sebagai *retarder*, sedangkan pada penambahan yang lebih besar dari 0,25% berat semen maka gula akan berubah fungsi sebagai *accelerator* (Jumardudiyev et. al., 2005).

Menurut Jumardudiyev et. al. (2005), penambahan limbah cair gula bit sebesar 0,25% berat semen dan 0,50% berat semen juga dapat meningkatkan kuat tekan beton bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan penggunaan *admixture* berbasis lignosulphonate.

Hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa penggunaan gula pasir lokal 0,2% dari berat semen sebagai *water-reducing* pada beton. Untuk tinjauan tingkat kemudahan pengerjaan, dapat mengurangi pemakaian jumlah semen sebesar 10% sedangkan untuk tinjauan kuat tekan dapat mengurangi pemakaian jumlah semen sampai sebesar 30% (Satyarno, 2004 dalam Dian Rifany, 2008).

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Abalaka (2011), juga menunjukkan hasil yang serupa. Penambahan gula ke dalam campuran beton segar dapat mempengaruhi *setting-time* beton. Penambahan gula ke dalam adukan beton segar dapat berfungsi sebagai *retarder* sampai dengan 0,15% berdasarkan berat semen, dan setelah dilakukan penambahan gula sebesar 0,25% berdasarkan berat semen dan selebihnya maka gula akan berfungsi sebagai *accelerator*. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Pengaruh Penambahan Gula terhadap Setting-time Beton

## METODE

Sesuai dengan tujuan, maka penelitian ini termasuk penelitian eksperimental.

### Material

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian ini, meliputi:

1. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan diameter maksimum 19 mm wilayah Kabupaten Sleman.
2. Jenis semen yang digunakan adalah semen portland pozolan.
3. Agregat halus berupa pasir alami yang diperoleh dari Kabupaten Sleman.
4. Air bersih dari Laboratorium bahan bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Limbah cair (tetes) tebu dari pabrik gula di wilayah Kabupaten Klaten (Gondang).

## Peralatan

Peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Ayakan/saringan dan penggetar *siever*
2. Cetakan Beton
3. Penggaris
4. Timbangan
5. *Mixer*
6. Gelas ukur dan piknometer
7. Kerucut Abrams dan tongkat penusuk
8. *Compression Testing Machine*

## Tahapan Eksperimen Laboratorium

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan dalam 4 (empat) tahapan yaitu:

Tahap I : Pemeriksaan sifat bahan agregat kasar dan agregat halus.

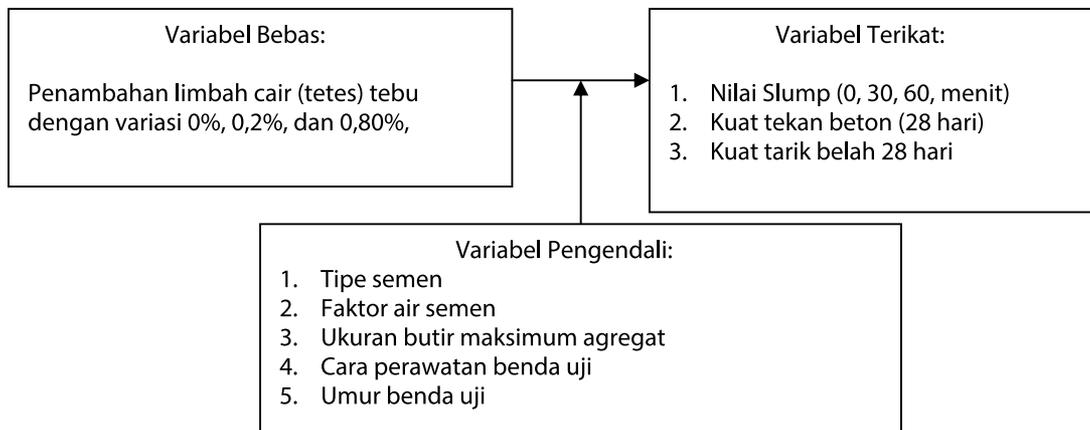
Tahap II : Perhitungan rencana campuran (*mix design*).

Tahap III : Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Tahap IV : Analisis dan interpretasi data hasil penelitian dengan metode deskriptif kuantitatif.

## Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian yang ditetapkan dalam penelitian ini, ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. Hubungan Variabel Penelitian

## Metode Pengujian

### Pengujian *Slump* Menurut SNI 03-1972-1990

Pengujian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh angka *slump* beton guna memperkirakan tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, dituang dan dipadatkan. Berdasarkan SNI 03-1972-1990, pengujian *slump* dapat dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat yang terdiri dari:

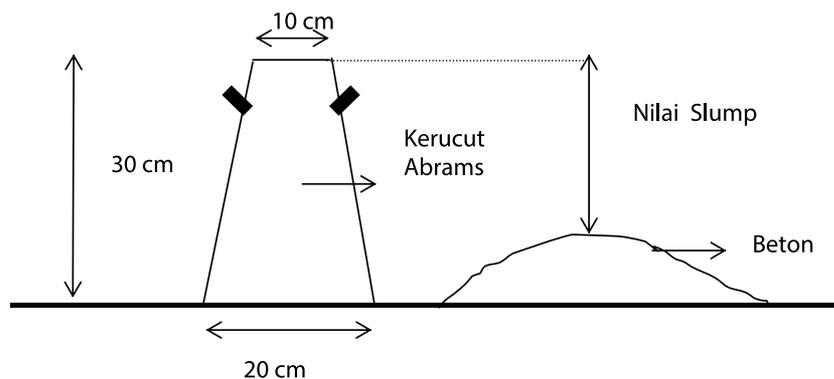
1. Cetakan (kerucut Abrams) dengan tebal 1,2 mm, yang berbentuk kerucut terpancung berukuran tinggi 305 mm, dengan diameter dasar 203 mm serta diameter puncak kerucut sebesar 102 mm,
2. Tongkat pemadat terbuat dari baja yang bersih dan bebas karat, berdiameter 16 mm, panjang 600 mm, dengan bagian ujung yang dibulatkan,

3. Landasan yang terbuat dari pelat baja yang kokoh dengan permukaan yang rata dan kedap air,
4. Mistar ukur, dan
5. Sendok cekung.

Pelaksanaan Uji *slump* beton dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan berikut:

1. Beton segar yang telah siap dimasukkan secara bertahap ke dalam cetakan yang telah dilap dengan kain basah. Pengisian kerucut Abrams dilakukan dalam tiga tahap, setiap penuangan dilakukan untuk mengisi kurang lebih sepertiga ( $1/3$ ) tinggi kerucut.
2. Pemasangan dilakukan pada setiap lapis dengan cara menusukkan baja tulangan berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali, sampai menyentuh bagian bawah masing-masing lapisan.
3. Apabila kerucut telah terisi penuh, selanjutnya permukaan benda uji diratakan dengan tongkat dan semua sisa kotoran di sekitar benda uji dibersihkan.
4. Setelah semua siap, cetakan segera diangkat tegak lurus ke atas dengan perlahan-lahan, kemudian dibalik dan diletakkan di samping benda uji.
5. Nilai slump diukur berdasarkan tinggi jatuh puncak kerucut. Semua langkah pengujian *slump* harus diselesaikan dalam waktu maksimal 2,5 menit.

Sketsa gambar *slump test* dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan dokumentasi pelaksanaan uji *slump* pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Slump Test

### Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Peralatan yang digunakan meliputi cetakan silinder diameter 152 mm dan tinggi 305 mm, tongkat pemadat, dan mesin tekan.

Prosedur pengujian dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1974-1990, benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris, dan mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> perdetik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat. Kuat tekan beton dihitung berdasarkan besarnya beban persatuan luas, menurut persamaan 1.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \text{ MPa} \tag{1}$$

di mana ;  $P$  = beban maksimum (kN)  
 $A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Metode pengujian yang sering digunakan mengacu pada ASTM C496-90 dengan benda uji berupa silinder dengan diameter 150mm dan tinggi 300mm. Besarnya kuat tarik belah beton dinyatakan dengan:

$$Kuat\ tarik = \frac{2P}{\pi.l.d} MPa \tag{2}$$

dengan; P = Beban maksimum (kN)  
 l = Panjang benda uji (mm)  
 d = diameter benda uji (mm)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Nilai slump

Berikut disajikan data hasil pengujian nilai slump, untuk berbagai variasi nilai limbah cair (tetes) tebu dan waktu pengujian slump.

Tabel 5. Nilai slump pada berbagai variasi nilai limbah cair (tetes) tebu

Slump	0%	0.2%	0.8%
0'	7,5 cm	10,8 cm	13,4 cm
30'	2,5 cm	8,5 cm	0 cm
60'	2 cm	5,3 cm	0 cm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kelecakan beton yang berbanding lurus dengan penambahan takaran tetes tebu. Peningkatan kemudahan pengerjaan beton ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai slump yaitu 7,5 cm pada beton normal, 10,8 cm pada beton dengan penambahan 0,2% tetes tebu dan 13,4 cm pada beton yang ditambahkan 0,8% tetes tebu. Peningkatan kelecakan ini dimungkinkan karena terjadinya absorpsi pada permukaan semen, yang menyebabkan dispersi partikel (*plasticizing action* atau *superplasticizing action*) semen.

Hasil pengujian *slump-loss* menunjukkan bahwa penambahan tetes tebu dengan takaran 0,2% dari berat semen dapat meningkatkan kelecakan beton dan mempertahankan kelecakan beton dengan baik dimana nilai slump sesaat setelah pengadukan (0 menit) adalah 10,8 cm, nilai slump setelah 30 menit adalah 8,5 cm dan nilai slump 60 menit adalah 5,3 cm. Berdasarkan hasil tersebut penambahan tetes tebu dengan takaran 0,2% dapat berfungsi sebagai *admixture* tipe D; *water-reducing and retarding admixture*, yaitu bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air untuk campuran beton yang konsistensinya tertentu dan menghambat pengikatan beton.

Fenomena ini dapat terjadi karena terjadi intervensi reaksi kimia oleh senyawa sukrosa, glukosa ataupun fruktosa selama proses hidrasi semen, yang menyebabkan percepatan atau perlambatan laju reaksi semen. Untuk menjelaskan mekanisme ini perlu dilakukan penelitian multi-disipliner dengan melibatkan ahli kimia guna mendapatkan mekanisme reaksi kimiawi yang terjadi antara semen, air dan kandungan senyawa gula dalam tetes tebu.

#### Kuat Tekan Beton

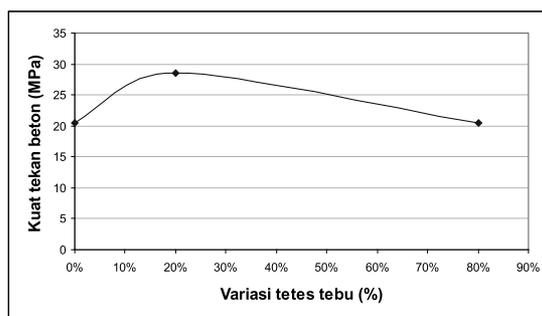
Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mencari besarnya nilai kekuatan tekan beton, akibat adanya penambahan limbah tetes tebu sebesar 0%; 20% dan 80%. Berikut disajikan hasil analisis data pada Tabel 6 berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 6. Kuat tekan beton rerata dari berbagai hasil pengujian

Kode Benda Uji	Kuat tekan beton rerata (MPa)	Kuat tarik belah beton rerata (MPa)
BN0	20.43	2.43
BN20	28.59	2.74
BN80	20.43	2.48

Keterangan:

BN: Beton Normal



Gambar 6. Grafik hubungan antara kuat tekan dan variasi kadar tetes tebu

Berdasarkan Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa secara umum, adanya penambahan variasi tetes tebu akan meningkatkan kuat tekan betonnya. Nilai kuat tekan beton akan efektif pada saat penambahan tetes tebu sebesar 20% dan nilainya akan menurun pada kadar tetes tebu sebesar 80%. Besarnya peningkatan kuat tekan pada kadar tetes tebu sebesar 20% adalah 28.54% apabila dibandingkan dengan kadar tebu sebesar 0%.

### Pengujian Kuat tarik belah beton

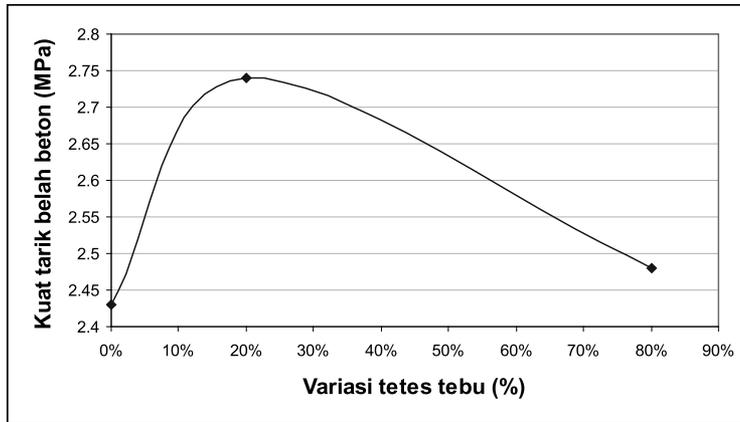
Pengujian kuat tarik beton dimaksudkan untuk mencari besarnya nilai kekuatan tarik belah akibat adanya penambahan limbah tetes tebu sebesar 0%; 20% dan 80%. Berikut disajikan hasil analisis data pada Tabel 7 berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 7. Kuat tekan beton rerata dari berbagai hasil pengujian

Kode Benda Uji	Kuat tekan beton rerata (MPa)	Kuat tarik belah beton rerata (MPa)
BN0	20.43	2.43
BN20	28.59	2.74
BN80	20.43	2.48

Keterangan:

BN: Beton Normal



Gambar 7. Grafik hubungan antara kuat tarik belah beton dan variasi kadar tetes tebu

Berdasarkan Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa secara umum, dengan adanya penambahan variasi tetes tebu akan berpengaruh terhadap kuat tarik belahnya. Nilai kuat tarik belah beton akan meningkat pada saat penambahan tetes tebu sebesar 20%, dan nilainya akan menurun pada kadar tetes tebu sebesar 80%. Besarnya peningkatan kuat tekan pada kadar tetes tebu sebesar 20% adalah 11.31% apabila dibandingkan dengan kadar tebu sebesar 0%.

Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton juga menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada saat dilakukan penambahan tetes tebu dengan takaran 0,2% dari berat semen. Hal ini disebabkan karena tetes tebu dapat mendispersikan partikel semen menjadi partikel yang lebih kecil sehingga reaktivitas semen selama proses hidrasi menjadi lebih optimal. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Satyarno (2004) dan Rifany (2008) yang menyatakan bahwa dalam hal tinjauan kuat tekan penambahan gula dapat mengurangi pemakaian jumlah semen sampai sebesar 30%. Menurut Olbrich (2006), limbah cair (tetes) tebu mengandung 32% sukrosa, 14% glukosa dan 16% fruktosa sehingga secara keseluruhan di dalam tetes tebu masih terkandung 62% senyawa gula. Oleh karena itu, dapat dipahami bahwa penambahan tetes tebu juga memungkinkan terjadinya peningkatan kuat tekan beton.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut: (a) Besarnya nilai workability beton segar rerata pada nilai setting 0'; 30' dan 60' pada kadar tetes tebu efektif sebesar 20% adalah sebesar 10.80cm; 8.50cm dan 5.30cm; (b) Besarnya kuat tekan beton rerata pada penambahan variasi tetes tebu sebesar 0%; 20% dan 80% berturut-turut sebesar 20.43 MPa; 28.59 MPa dan 20.43 MPa. (c) Besarnya kuat tarik belah beton rerata pada penambahan variasi tetes tebu sebesar 0%; 20% dan 80% berturut-turut sebesar 2.43 MPa; 2.74MPa dan 2.48MPa.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Abalaka, A.E., 2011, "Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete", *AU Journal of Technology*14(3), pp. 225-228.
- [2] Dian Rifany K., Iman Satyarno, Kardiyono Tjokrodimuljo, 2008, "Penggunaan Gula Pasir Lokal sebagai Plasticizer pada Adukan Mortar untuk Pembuatan Conblock", *Forum Teknik Sipil No. XVIII/3*, pp. 869-878.
- [3] Jumadurdiyev, A., Ozkul, M.H., Saglam, A.R., and Parlak, N., 2005, "The Utilization of Beet Molasses as a Retarding and Water-Reducing Admixture for Concrete", *Cement and Concrete research* 35, pp. 874-882.
- [4] <http://www.duniaindustri.com>: Tim Redaksi 03, 2012. Tingkat konsumsi semen domestik pada tahun 2010 dan 2011.
- [5] Kardiyono Tjokrodimuljo, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Nafiri.
- [6] M.I. Retno Susilorini, dan Kusno Adi Sambowo, 2011, *Teknologi Beton Lanjutan: Durabilitas Beton Edisi ke-2*, Semarang: Penerbit Surya Perdana Semesta.
- [7] Myrdal, R., 2007, *Retarding admixtures for concrete: State of the art*, Trondheim: SINTEF Building and Infrastructure-COIN Concrete Innovation Centre
- [8] Neville, A.M. and Brooks, 1987, *Concrete Technology*, Essex: Longman Scientific & Technical.
- [9] Newmann, J. and Choo, B.S., 2003. *Advanced Concrete Technology: Consituent Material*, Burlington, MA: Elsevier Ltd.
- [10] Olbrich, H., (2006), *The Molasses*, Biotechnologie-Kempe GmbH.
- [11] Taylor, H.F.W., 1997, *Cement Chemistry*, London: Thomas Telford.