

“Low Heat Concrete” Sebuah Inovasi untuk Pengecoran Beton Massa di Indonesia

Oleh Abdurakhman Rasyid

Product Development Supervisor - PT.SCG Ready Mix Indonesia

Abstrak

Secara teknis beton massa didefinisikan sebagai struktur yang memiliki dimensi besar seperti *mat-foundation*, beton untuk bendungan, kolom dengan dimensi besar, dinding diafragma dan lain-lain. Secara umum panas dalam beton dihasilkan oleh proses hidrasi dan secara bertahap suhu akan naik hingga dapat melebihi 70° C.

Pada dasarnya, panas di permukaan beton massa lebih mudah dilepaskan ke udara sekitar, sedangkan pada inti beton suhu tetap tinggi. Hal ini menyebabkan perbedaan suhu pada beton massa dan kemudian menyebabkan terjadinya tegangan internal pada beton yang selanjutnya dapat menimbulkan “retak termal”.

Untuk mengatasi permasalahan ini, terdapat 3 (tiga) metode konvensional diantaranya pengendalian suhu beton segar (*precooling*), menanam pipa pendingin (*pipecooling*) dan pengecoran bersegmen (*sectional-placement*), dimana ketiga metode tersebut memerlukan biaya yang mahal dan waktu penggerjaan lebih lama.

Oleh karena itu, “Low Heat Concrete” merupakan sebuah inovasi yang hadir untuk mengatasi retak termal dan menjadi solusi yang lebih baik untuk pengecoran struktur beton massa. *Low Heat Concrete* telah diteliti dan dikembangkan berdasarkan perilaku hidratisemen. *Low Heat Concrete* akan membatasi panas dengan cara pengendalian kandungan unsur CaO. Pada jumlah kandungan CaO tertentu, kenaikan suhu akan jauh berkurang. Sehingga secara efektif akan meningkatkan pencegahan keretakan dan mengendalikan risiko retak termal.

Kata kunci: *Beton massa, Temperatur, Retak termal, Low Heat Concrete*

1. Pendahuluan

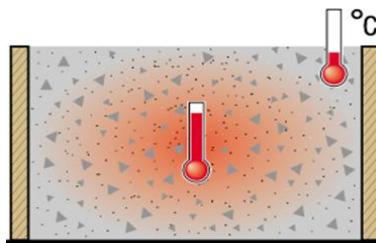
Retak merupakan permasalahan serius pada beton sebagai komponen utama dari sebuah struktur. Pada pengecoran beton massa keretakan terjadi diakibatkan oleh beberapa faktor terutama dari panas hidrasi akibat reaksi semen.

Hidrasi semen adalah reaksi eksotermik yang dapat menghasilkan panas dalam jumlah besar dan akan terakumulasi pada inti struktur beton. Pelepasan panas pada inti beton akan lebih lambat dibandingkan dengan permukaan beton yang dapat dengan mudah melepaskan panas ke udara. Hal ini akan menghasilkan perbedaan temperatur yang signifikan antara inti beton dan permukaan beton. Jika perbedaan temperatur yang terjadi melebihi batas maksimum yang disyaratkan akan menginduksi tegangan internal pada beton kemudian menghasilkan “retak termal”.

Saat ini metode konstruksi telah berkembang dan memiliki beberapa alternatif yang digunakan untuk mengatasi permasalahan keretakan pada struktur beton massa, untuk mengurangi dan mencegah perbedaan suhu yang signifikan pada inti struktur beton dan permukaan. Metode yang umum digunakan adalah (1) pengendalian suhu beton segar (*pre-cooling system*), (2) pemasangan pipa pendingin (*pipe-cooling system*), dan (3) pengecoran bersegmen (*sectional placement*). Ketiga metode tersebut dinilai kurang efektif karena

memiliki beberapa kelemahan terutama dalam hal waktu penggerjaan dan biaya yang mahal. Atas permasalahan tersebut, diperlukan sebuah inovasi untuk mengatasi permasalahan termal pada beton serta mengurangi kelemahan yang ada pada metode konstruksi konvensional yang dilakukan untuk pengecoran beton massa, namun juga tetap memperhatikan properties beton lainnya terutama target kuat tekan harus dicapai serta daya tahan struktur beton yang lebih baik.

Pengecoran beton massa pada umumnya membatasi suhu puncak sebesar 70°C dan maksimum diferensial temperatur tidak melebihi 20°C.



Gbr. 1 Differential Temperature pada Beton Massa

2. Tujuan

Pengembangan *Low Heat Concrete* bertujuan untuk pengecoran pada struktur bangunan gedung pencakar langit, seperti struktur *raft-foundation* dimana bukan hanya memiliki volume pengecoran yang besar (*mass concrete*) namun juga membutuhkan suhu puncak rendah dan diferensial temperatur yang tidak lebih dari 20°C. *Low Heat Concrete* sebagai salah satu solusi dalam upaya mengatasi permasalahan pada pengecoran beton massa yang timbul pada saat proses pengerasan beton.

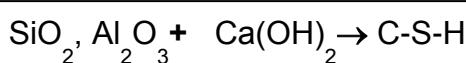
3. Konsep Pengembangan

Panas hidrasi yang dilepaskan oleh material pengikat menjadi penyebab utama terjadi perbedaan suhu antara inti beton dan permukaan. Konsep pengembangan yang dilakukan untuk mengendalikan panas hidrasi pada beton massa adalah sebagai berikut:

- Menggantikan OPC dengan PFA (40-50%), untuk tipe F berdasarkan ASTM C-618.
- Menggunakan super-plasticizer untuk mengurangi jumlah air
- Membatasi tingkat *bleeding* pada tingkat minimum
- Memiliki waktu penggerjaan yang disesuaikan untuk menghindari *cold joint* (*long setting time*)
- Menggunakan agregat dengan perubahan koefisien ekspansi termal yang rendah
- Menggunakan ukuran agregat yang lebih besar untuk mengurangi kandungan binder

4. Pengaruh Pozzolan Pada Beton

Low Heat Concrete secara efektif dapat menurunkan suhu puncak yang dihasilkan dari proses hidrasi dengan menggunakan pozzolan. Adapun reaksi pozzolanic adalah sebagai berikut:



Berikut adalah kelebihan dari penggunaan bahan pozzolan pada campuran beton:

- Pengaruh pada panas hidrasi
Sebagai cementitious material, penggunaan pozzolan akan mengurangi persentase kandungan semen portland terhadap total binder sehingga panas hidrasi yang terjadi pada beton akan berkurang

- Pengaruh pada jumlah kapur
Pozzolan akan bereaksi dengan kapur yang dihasilkan dari proses hidrasi beton
- Pengaruh pada *setting time*
Dengan menurunnya panas hidrasi maka akan berpengaruh pada *setting time* beton
- Pengaruh pada kuat tekan beton
Pada persentase tertentu, pozzolan akan menaikkan kuat tekan beton
- Pengaruh pada diameter pori, dimana pozzolan dapat memperkecil diameter pori dalam beton
- Pengaruh pada keawetan (*durability*), dengan mengecilnya diameter pori akan menaikkan ketahanan terhadap lingkungan yang agresif

5. Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara membuat 3 (tiga) perbandingan dengan tujuan yang berbeda untuk mendapatkan hasil terbaik atas properties beton yang ingin dicapai. Penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- **Penelitian 1**

Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk membandingkan hasil akhir berupa suhu puncak yang dicapai oleh campuran beton yang biasa digunakan dalam pengcoran beton massa dengan menggunakan metode penambahan es (*pre-cooling system, initial temperature* $\leq 32^{\circ}\text{C}$), serta suhu puncak yang dicapai dengan menggunakan konsep *Low Heat Concrete*.

- **Penelitian 2**

Bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari penggunaan es terhadap suhu puncak yang dicapai dengan menggunakan desain campuran yang sama.

- **Penelitian 3**

Membandingkan suhu puncak yang dicapai untuk penggunaan konsep *Low Heat Concrete* dengan volume dan kedalaman struktur yang berbeda.

Parameter desain campuran dapat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Desain Campuran

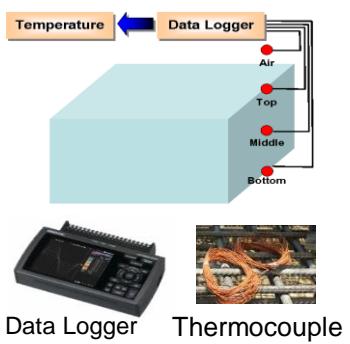
Parameter	FC'35 FA15% SL 12±2 With Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 Low Heat	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 With Ice	FC'30 FA40% SL 15-1+3 Non Ice	FC'30 FA40% SL 15-1+3 Non Ice		
Penelitian #1st			Penelitian #2nd			Penelitian #3rd		
Binder	454	516	516	516	418	418		
W/B	0,40	0,33	0,33	0,33	0,38	0,38		
FA Content	15%	50%	50%	50%	40%	40%		

Pengamatan Temperatur dan Metode Perawatan Pada Beton Massa

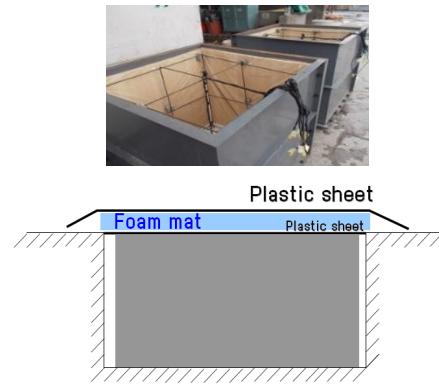
Pemantauan temperatur dilakukan untuk mengetahui perubahan temperatur secara bertahap hingga didapatkan suhu puncak dari beton massa tersebut. Sedangkan perawatan dilakukan untuk melindungi kehilangan panas secara cepat pada permukaan beton dan untuk mengatur perbedaan suhu yang terjadi tidak melebihi yang disyaratkan.

Pemantauan dilakukan menggunakan alat *Data-Logger* atau *Thermocouple*. Pengukuran suhu dilakukan sampai suhu puncak tercapai, namun pada 6 (enam) jam pertama pencatatan temperatur dilakukan setiap 30 menit dan selanjutnya pencatatan dilakukan setiap jam selama 3 sampai 7 hari.

Perawatan dilakukan segera setelah proses tahap akhir(*finishing*) selesai dengan menggunakan lembaran plastik dan styrofoam.

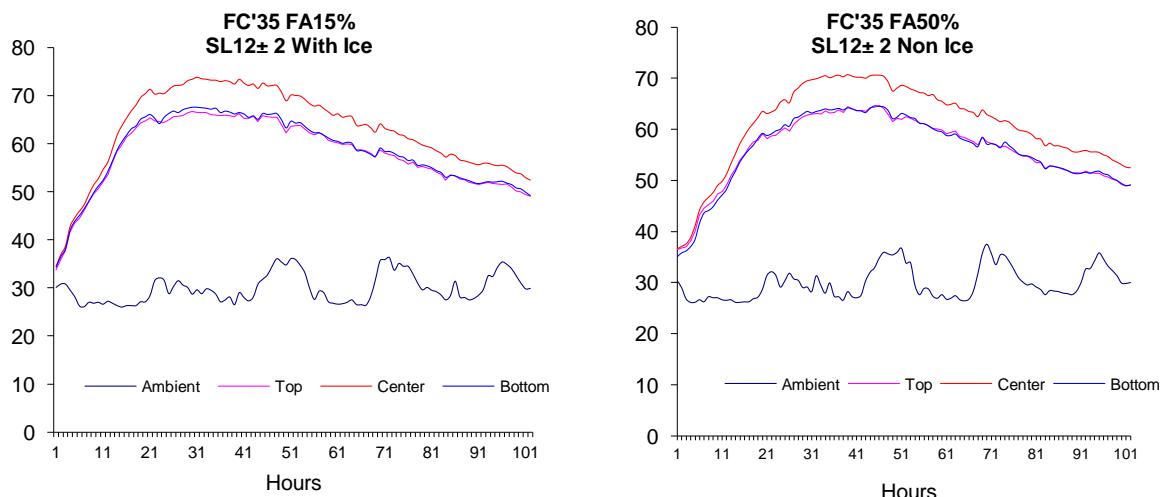


Gbr. 2 Alat dan Posisi Titik Pengamatan



Gbr. 3 Metode Perawatan Beton Massa

5.1 Hasil Penelitian 1



Gbr. 4 Grafik Peak Temp. Perbandingan Beton Normal + Es dan Low Heat Concrete Concrete

Berdasarkan pada Gambar 4 di atas, dapat terlihat perkembangan kenaikan temperatur untuk beton normal yang menggunakan es dan *Low Heat Concrete*. Pada beton normal tambah es mensyaratkan batasan suhu beton segar $< 32^\circ\text{C}$, sementara untuk *Low Heat Concrete* tidak ada batasan suhu beton segar. Adapun suhu beton segar pada *Low Heat Concrete* adalah sama dengan suhu beton segar pada beton normal tanpa penambahan es ($34\text{-}37^\circ\text{C}$). Aktual suhu puncak (*peak temperature*) untuk beton normal tambah es adalah $73,8^\circ\text{C}$ dan pada *Low Heat Concrete* adalah $70,7^\circ\text{C}$. Diferensial temperatur untuk beton normal tambah es adalah $7,3^\circ\text{C}$ dan *Low Heat Concrete* adalah $7,2^\circ\text{C}$. Data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Suhu Puncak (Peak Temperature)

Parameter	FC'35 FA15% SL 12±2 With Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice
Initial Temp.	$30,2^\circ\text{C}$	$34,1^\circ\text{C}$
Peak Temp.	$73,8^\circ\text{C}$	$70,7^\circ\text{C}$
Diff Temp.	$7,3^\circ\text{C}$	$7,2^\circ\text{C}$

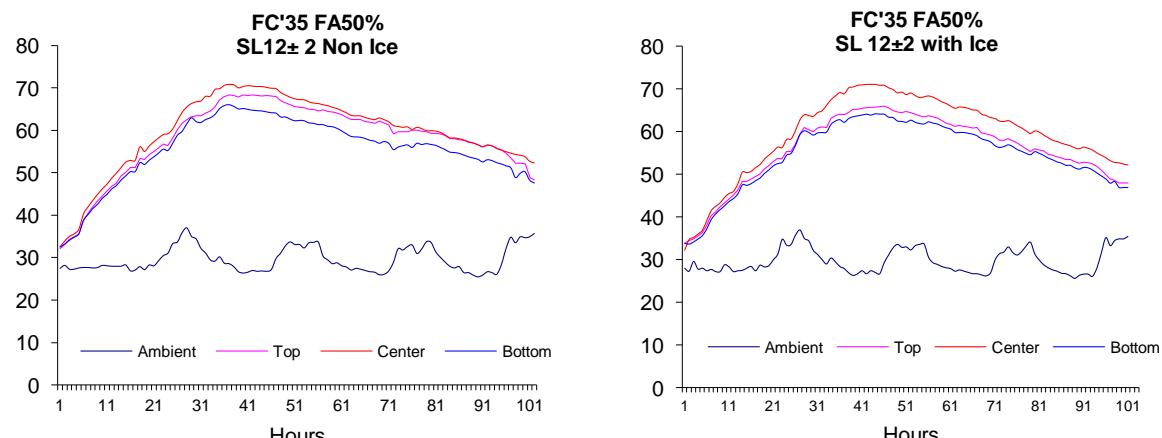
5.2 Hasil Penelitian 2

Penelitian 2 dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari es dalam penurunan suhu pada beton dengan menggunakan proporsi campuran yang sama.

Tabel 2. Parameter Campuran Penelitian 2

Parameter	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 With Ice
Penelitian #2nd		
Binder	516	516
W/B	0,33	0,33
Initial Temp.	34,8°C	29,8°C

Hasil akhir penelitian ditampilkan pada grafik berikut:



Gbr 5. Pengaruh Penambahan Es pada Temperatur Beton

Penambahan es pada beton dapat memberikan pengaruh untuk menurunkan temperatur terutama pada suhu beton segar, namun hasil aktual pengukuran suhu puncak tidak menunjukkan perbedaan temperatur yang signifikan. Hasil pengukuran dari Penelitian 2 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Pengaruh Es pada Temperatur Beton

Parameter	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 With Ice
Initial Temp.	34,8°C	29,8°C
Peak Temp.	71,1°C	70,8°C
Diff Temp.	7,2°C	5,9°C

5.3 Hasil Penelitian 3

Untuk mengetahui perbedaan suhu puncak yang terjadi pada kedalaman struktur beton yang berbeda, dilakukan penelitian dengan menggunakan volume dan kedalaman sebagai berikut:

- 1 x 1 x 1 meter tercapai suhu puncak 72,2°C pada kondisi full-adiabatik
- 2 x 2 x 2 meter tercapai suhu puncak 75,3°C pada kondisi semi-adiabatik

Tabel 4 menunjukkan prediksi suhu puncak berdasarkan kandungan CaO pada campuran beton dan koefisien kedalaman yang berbeda.

Tabel 4. Prediksi Suhu Puncak

Concrete	Slump (cm)	Binder	Cement	PFA	W/B	Prediksi Suhu Puncak (Celsius)			
						1.0 m. THK	1.5 m. THK	2.0 m. THK	2.5 m. THK
FC'30_FA40 %	15 (-1+3)	418	252	166	0.38	72.5	73.1	73.8	74.5

*Untuk memprediksi suhu puncak menggunakan formula berdasarkan pada kandungan total jumlah CaO pada semen dan koefisien kedalaman struktur beton

$$T_{peak} = a (\text{CaO}) + b$$

T_{peak} = Prediksi Suhu Puncak (°C)

CaO = Total Kandungan CaO (kg)

a, b = Koefisien Kedalaman Struktur

6.4 Perbandingan Kuat Tekan Hasil Penelitian

Berikut hasil perbandingan kuat tekan dari semua penelitian yang telah dilakukan:

Tabel 5. Hasil Kuat Tekan

Age	FC'35 FA15% SL 12±2 With Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 Non Ice	FC'35 FA50% SL 12±2 With Ice	FC'30 FA40% SL 15-1+3 Non Ice	FC'30 FA40% SL 15-1+3 Non Ice
	Penelitian #1 st		Penelitian #2 nd		Penelitian #3 rd	
3 Days (MPa)	28.5	26.2	24.8	25.9	28.9	29.8
7 Days (MPa)	33.5	30.4	28.1	29.9	34.0	34.6
28 Days (MPa)	38.8	39.2	41.1	40.3	37.4	38.2
56 Days (MPa)	40.2	42.9	43.9	43.1	39.9	40.7

Hasil pengujian kuat tekan melebihi mutu yang disyaratkan.

6. Kesimpulan

6.1 Hasil Penelitian

- *Low Heat Concrete* telah diteliti dan dikembangkan berdasarkan perilaku hidrasi semen. *Low Heat Concrete* akan membatasi panas dengan cara pengendalian kandungan unsur CaO. Pada jumlah kandungan CaO tertentu, kenaikan suhu akan jauh berkurang. Sehingga secara efektif akan meningkatkan pencegahan keretakan dan mengendalikan risiko retak termal.
- Penggunaan jumlah PFA 40-50% mendapatkan hasil akhir kuat tekan melebihi mutu yang disyaratkan. *Low Heat Concrete* dapat menjadi solusi untuk pengecoran struktur *raft-foundation* yang tidak hanya mensyaratkan suhu puncak yang rendah namun juga diferensial temperatur yang rendah.

6.2 Keunggulan pada Proses Pelaksanaan

- Pelaksanaan menjadi lebih mudah dibandingkan beton normal dengan menggunakan metode konvensional seperti penambahan es (*precooling system*), pemasangan pipa pendingin (*pipe cooling system*) dan pengecoran bersegmen (*sectional placement*).
- *Low Heat Concrete* memberikan manfaat yang baik untuk pengecoran di proyek juga dengan biaya konstruksi yang lebih hemat biaya.