

PENGARUH PANAS HIDRASI BETON DENGAN SEMEN TYPE II TERHADAP KETEBALAN ELEMEN BETON

Rochaeti, Jul Endawati, Lilian Diasti Dessi Widuri dan Moeljono

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Kotak Pos 1234 Bandung 40012. Email: amr_dgreat@yahoo.com

Abstract: *The characteristics of the mixture with the heat of hydration of cement type I in the new field reads the peak temperature, the temperature of which is formed after a period of Dormant (Dormant Period) in the hydration process. The temperature difference between the core and the upper part in several monitoring results exceed 20°C thermocouple can be a trigger cracks in the long run. Overall the presence of fly ash in the concrete mix in the field is not indicated on the temperature recorded. Use of Type II cement and fly ash on the large size of the test specimen in the laboratory have not been able to lower the temperature of the mixture to the maximum, whereas for the test object with the smaller size of the maximum temperature can be met. While the temperature characteristics of the setting time with a standard test specimen (100mm x 100mm x 100mm) is not easy to be a reference to the behavior of the temperature setting time of concrete with large volume. Visually, the condition of the specimen without micro cracks, thus assuming that was taken is that the difference in temperature of the test element with the top of the core temperature is not too large (<20 ° C). Such assumptions can be said is correct. With the lack of density, the temperature difference between the core layer and the top layer will not be large, because of the greater porisitas, seen from the test results PUNDIT, fast propagation rate only shows the value of 3.7 km / sec. Correlation of field test data with the data observed in the laboratory basically can not be done, because different forming materials. But the future by using cement concrete type I and fly ash by 15%, recorded temperature reaches the temperature limit (85 ° C) which can cause very large voltage difference in the concrete. The use of fly ash in greater amounts and type II cement in the test specimen in the laboratory, showing the recorded temperature reaches 68°C temperature limit, the value is lower by 19% of the maximum temperature in the field.*

Keywords: *Concrete mass, temperature, heat of hydration, Type II cement, fly ash*

Abstrak: Karakteristik panas hidrasi campuran dengan semen type I di lapangan baru terbaca pada suhu puncak, yaitu suhu yang terbentuk setelah periode Dormant (Dormant Periode) dalam proses hidrasi. Perbedaan suhu antara bagian inti dan bagian atas pada beberapa hasil monitoring thermocouple melebihi 20°C dapat menjadi pemicu retak dalam jangka panjang. Secara keseluruhan adanya fly ash dalam campuran beton di lapangan tidak terindikasi dari suhu yang tercatat. Pemakaian semen type II serta fly ash pada benda uji ukuran besar di laboratorium belum dapat menurunkan suhu campuran secara maksimal, sedangkan untuk benda uji dengan ukuran lebih kecil suhu maksimum tersebut dapat dipenuhi. Sedangkan karakteristik suhu pada setting time dengan benda uji standar (100mm x 100mm x 100mm) tidak mudah dijadikan referensi untuk perilaku suhu setting time beton dengan volume besar. Secara visual, kondisi benda uji tanpa retak mikro, dengan demikian asumsi yang kemudian diambil adalah bahwa perbedaan suhu elemen uji bagian atas dengan suhu inti tidak terlalu besar (< 20 °C). Asumsi tersebut dapat dikatakan sudah benar. Dengan kurangnya kepadatan, maka perbedaan suhu antara lapisan inti dan lapisan atas tidak akan besar, karena adanya porisitas yang lebih besar, terlihat dari hasil uji PUNDIT, nilai cepat rambat gelombang hanya menunjukkan nilai 3.7 Km/sec. Korelasi data hasil pengujian di lapangan dengan data hasil pengamatan di laboratorium pada dasarnya tidak bisa dilakukan, karena bahan pembentuk berbeda. Tetapi beton masa dengan menggunakan semen type I dan fly ash sebesar 15%, suhu terekam mencapai suhu batas (85°C) yang dapat menyebabkan perbedaan tegangan sangat besar dalam beton. Pemakaian fly ash dalam jumlah lebih banyak serta semen type II pada benda uji di laboratorium, menunjukkan suhu terekam mencapai suhu batas 68°C, nilai tersebut lebih rendah sebesar 19% dari suhu maksimum di lapangan.

Kata kunci: Beton massa, suhu, panas hidrasi, semen type II, fly ash

PENDAHULUAN

Pada konstruksi beton, sering dijumpai pelaksanaan struktur beton dengan volume pekerjaan yang besar atau dikenal dengan beton massa (mass concrete). Beton massa ini memiliki sifat khusus, yaitu selama proses pengerasan, beton tersebut mengalami kenaikan temperatur (suhu) sampai batas tertentu sebagai akibat dari pelepasan panas hidrasi semen portland. Kenaikan suhu beton tersebut bisa mencapai 85 oC pada bagian dalamnya. Ukuran beton yang cukup besar/tebal dan karena beton mempunyai sifat “ Poor Thermal Conductivity”, maka suhu ini tidak cepat turun, sehingga akan terjadi perbedaan suhu yang cukup besar antara bagian dalam dan bagian permukaan beton, dan apabila hal ini tidak dapat diantisipasi atau dikendalikan, akan mengakibatkan retakan-retakan pada permukaan beton yang dapat berlanjut ke bagian dalam beton sehingga dapat mempengaruhi kekuatan dari konstruksi beton tersebut. Maksimum perubahan suhu (thermal shock) yang dapat menyebabkan terjadinya kontraksi dan mengakibatkan retak adalah 40oC/jam (ACI.207, 2002; ACI 207, 1997).

Maka dari itu konstruksi beton massa memerlukan perhatian khusus karena ketebalan dan jumlah dari pengecoran beton yang dilakukan. Semakin besar dan tebal ukuran elemen beton, maka penggunaan semen semakin tinggi sehingga di perlukan pengontrolan terhadap panas hidrasi, oleh karena itu studi ini meninjau pengaruh dan perilaku dari kenaikan temperatur yang terjadi terhadap ketebalan elemen beton.

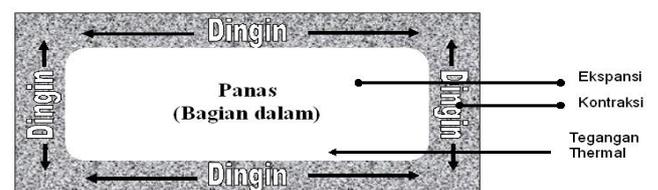
Beton Massa

Mass concrete adalah kelompok beton

dengan volume yang cukup besar sehingga membutuhkan pengendalian suhu thermal akibat dari hidrasi semen serta perubahan volume beton untuk mengurangi keretakan atau *cracking* (ACI,1996). Beton dengan ketebalan minimal 4 kaki atau 1,3 dikategorikan mass concrete (ACI,2010). Desain beton massa berdasarkan perubahan temperatur, *durability*, dan ekonomis, kekuatan tidak menjadi perhatian utama dalam desain beton massa. Perubahan temperatur menjadi perhatian utama karena perbedaan temperatur yang terlalu besar antara inti dengan permukaan dan dasar dapat menimbulkan tegangan internal beton.

Beton memiliki sifat “*Poor Thermal Conductivity*” Sehingga beton dengan volume yang besar memerlukan waktu yang relatif lebih lama untuk melepaskan panas yang dikandungnya. Pada proses pelepasan panas, bagian permukaan beton akan lebih mudah melepaskan panas dibandingkan dengan bagian dalam. Hal ini mengakibatkan selalu terjadi perbedaan suhu antara beton bagian dalam dan bagian permukaan selama proses pelepasan panas berlangsung hal ini diilustrasikan dalam

Gambar 1 :



Gambar 1 *Poor Thermal Conductivity*
(Sumber : PT. Nusa Raya Cipta)

Suhu beton segar yang diijinkan dalam pekerjaan *mass concrete* adalah 35°C dan perbedaan temperatur beton antara lapisan inti, permukaan dan dasar adalah $\leq 20^{\circ}$ C. Sedangkan temperatur maksimum yang

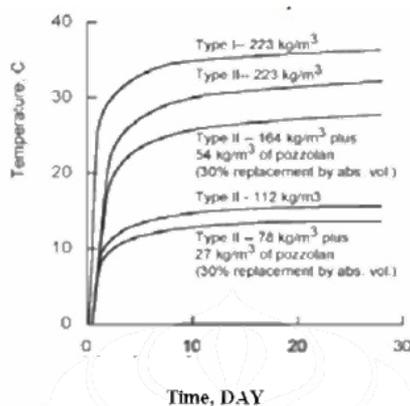
dijinkan sebesar 70° pada setiap titik (ACI: ACI. Jurnal Vol. 94. no 2.1997). Pada pelaksanaannya di lapangan, maka dibutuhkan suatu perhatian khusus berupa pengendalian yang tepat untuk mencapai beton dengan kondisi yang telah disyaratkan.

Coarse Aggregate Coefficient of Thermal Expansion (CTE)

Coefficient of Thermal Expansion dari agregat kasar adalah pengaruh utama CTE terhadap beton. Dengan menggunakan agregat kasar dengan CTE yang rendah dapat mengurangi tegangan akibat suhu.

Supplementary Cementitious Material (SCMs)

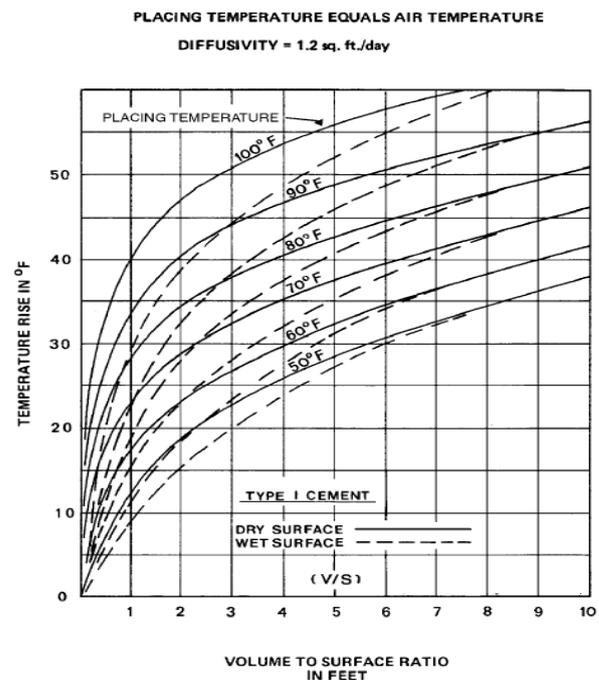
SCMs seperti fly ash dan slag dapat mengurangi panas hidrasi. Fly ash adalah abu atau debu dari pembakaran batubara, fly ash sebagai pozzolan jika memiliki kadar karbon rendah dan kehalusan sama dengan semen. Fly ash tipe F lebih dapat mengurangi panas dari tipe C. Fly ash dan slag menghasilkan 15-50 % panas yang dihasilkan *Portland Cement* dengan jumlah yang sama. SCMs sejenis Silica Fume tidak berpengaruh terhadap penurunan panas hidrasi.



Gambar 2 Pengaruh pemakaian pozzolan terhadap temperatur
Sumber: ACI 207, 2002

Suhu Pengecoran (*Initial Temperature*)

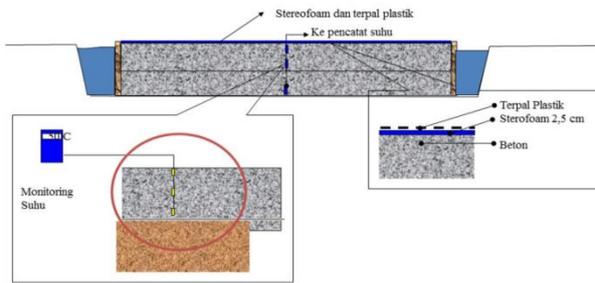
Suhu beton pada saat pengecoran dipengaruhi oleh suhu material untuk pembuatan beton, apabila suhu beton pada waktu pengecoran sudah tinggi, maka kenaikan suhu beton menjadi cepat dan *peak temperature* yang dicapai menjadi tinggi.



Gambar 3 Temperature rise of concrete members containing 375 lbs of cement per cubic yard for different placing temperature
(Sumber : ACI Committee 207, 2002)

Metoda Isolasi

Beton massa dalam bekisting mengalami peningkatan suhu Sebagai reaksi dari panas hidrasi semen. Umur awal beton massa mengalami peningkatan suhu yang tinggi. Beton massa dengan ketebalan $\geq 1,5$ meter mangalami kenaikan suhu mendekati kondisi adiabatik pada bagian inti. Beberapa lapisan insulasi yaitu bekisting kayu dan baja, lapisan busa, styrofoam, dan sejenisnya serta plastik cor.

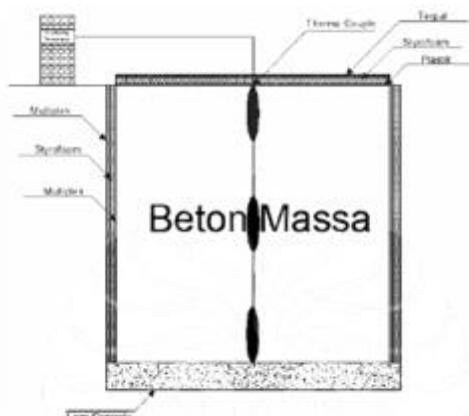


Gambar 4 Lapisan Insulasi
(Sumber: Dokumen proyek)

Perbedaan suhu permukaan beton dengan ambient yang terlalu besar dapat dengan mudah menyebabkan keretakan maka dari itu pengontrolan isolasi permukaan sangat di perhatikan agar tidak menyebabkan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi seperti retak, yang di akibatkan terlalu kehilangan banyak udara keluar.

Metode Pengontrolan Suhu Beton

Pengontrolan temperatur untuk mengamati perbedaan suhu yang terjadi di dalam beton massa di lakukan dengan menanamkan *themocouple* pada lapisan permukaan, tengah dan dasar dan melakukan pengukuran temperatur serta temperatur *ambient*. Pada sample uji yang dimensinya lebih dari 20 cm, *Thermocouple* di tempatkan di 3 tempat yaitu di permukaan atas; tengah dan permukaan bawah (**Gambar 5**).

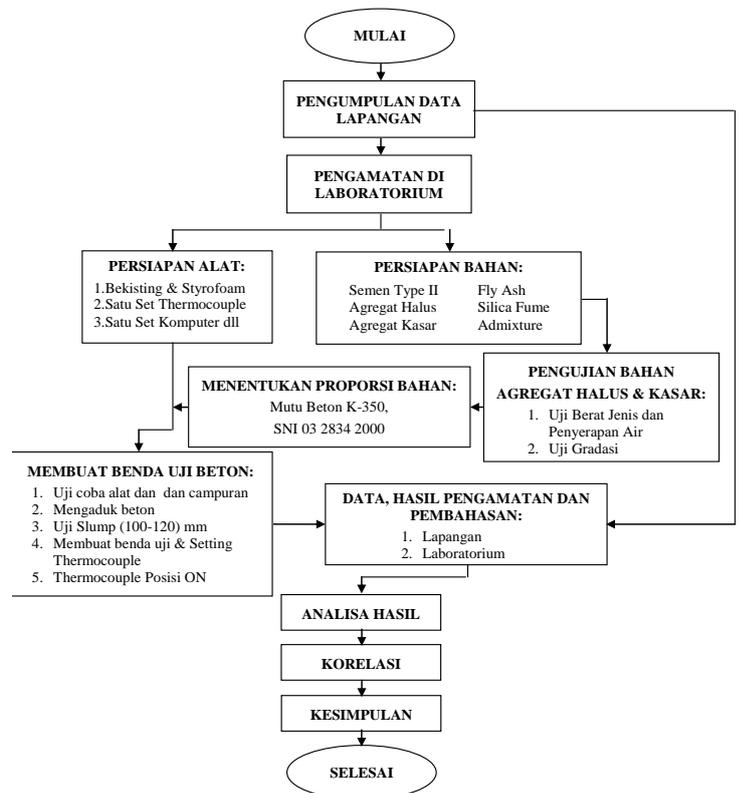


Gambar 5. Ilustrasi monitoring temperatur beton massa
(Sumber : Ultrachem)

Penanaman thermocouple memberikan pembacaan temperatur pada tiap lapisan sehingga dapat diperoleh temperatur puncak setiap bagian dan perbedaan temperatur antar lapisan.

METODOLOGI

Pelaksanaan penelitian dengan judul “Pengaruh Panas Hidrasi Beton dengan Semen Type II Terhadap Ketebalan Elemen Beton” diselesaikan berdasarkan Kajian Laboratorium. Selanjutnya hasil dari penelitian ini dibandingkan dengan Referensi yang diambil dari proyek. Metode dan rencana penyelesaian penelitian ini disajikan dalam **Gambar 6**.



Gambar 6 Metode dan Rencana Penyelesaian Penelitian

Pengumpulan Data Lapangan

Data data lapangan diperlukan sebagai pembanding yang akan digunakan dalam menyelesaikan penelitian. Proyek yang

dijadikan Referensi yaitu pembuatan *raft foundation* pada Pembangunan Apartemen Parahyangan Residences Jl. Ciumbuleuit Bandung. Data data dari lapangan berupa data sekunder dan data primer. Data Sekunder meliputi: mutu beton dan nilai workability dengan alat slump, type semen, volume; luas; dan tebal *raft foundation*, jadwal dan data hasil monitoring temperature, dan data lain yang berkaitan dengan data di atas. Data Primer antara lain: jenis; temperature dan berat bahan

bahan pembentuk beton, temperatur beton sebelum pengecoran, skema *thermocouple* pada setiap titik pengamatan lengkap dengan jarak penempatan sensor, data pengamatan suhu dengan menggunakan sensor sensor yang direkam *thermocouple* selanjutnya dibaca dengan komputer.

Dari data data di atas, selanjutnya menghitung prediksi *initial* temperatur (T_i) dan *peak* temperatur (T_{max}) dengan menggunakan **Persamaan (3.1)** dan **Persamaan (3,2)**.

$$T_i = \frac{0.22[(T_a * W_a) + (T_c * W_c) + (T_f * W_f)] + (T_w * W_w) + (T_a * W_{wa})}{[0.22 * (W_a + W_c + W_f)] + W_w + W_{wa}} \dots (3.1)$$

$$T_{mak} = T_i + 12 * \left(\frac{W_c}{100}\right) + 6 * \left(\frac{W_{fa}}{100}\right) \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana:

T_i = *Initial concrete temperature* (°C)

T_{mak} = *peak concrete temperature*

T_a = *aggregate temperature* (°C)

T_c = *cement temperature* (°C)

T_{fa} = *fly ash temperature* (°C)

T_w = *water temperature* (°C)

T_{wa} = *water in aggregate temperature* (°C)

W_c = *mass of cement* (kg)

W_{fa} = *mass of fly ash* (kg)

W_w = *mass of water* (kg)

W_{wa} = *mass of water in aggregate* (air yang diserap agregat) (kg)

Data hasil monitoring temperature disusun dalam bentuk table yang berisi informasi mengenai:

1. Tanggal pengecoran, nomor thermocouple, interval pembacaan temperatur, sensor perekam temperatur pada beton masa bagian atas (A); tengah (T); bawah (B) dan udara (U).

2. Selisih antara (A)-(U); (T)-(A) dan (T)-(B) untuk melihat nilai rata rata selisih dari ke tiganya yang akan dijadikan bahan analisa hasil data temperatur di lapangan.
3. Temperatur puncak dari setiap thermocouple, pada setiap interval pengamatan.

Pengamatan di Lapangan

Pengamatan beton masa di laboratorium dilakukan dengan meneliti benda uji yang dijadikan model dibuat dalam bentuk kubus.

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain:

Persiapan alat.

Thermocouple satu set untuk merekam temperatur beton melalui sensor dengan kapasitas maksimum 11 sensor. Satu set komputer untuk membaca data temperatur yang direkam dalam *thermocouple*. Palu beton (Hammer), untuk mengetahui perkiraan kekuatan benda uji beton setelah umur >28 hari.

Ultrasonic Pulse Velocity, untuk mengetahui kerapatan benda uji, dan alat bantu lainnya.

Persiapan Bahan.

Satu set bekisting terbuat dari multiplek diikat dengan baja siku dilengkapi dengan Styrofoam sebagai bahan insulasi. Semen type II, Agregat halus dan kasar, fly ash, silica fume, admixture jenis superplastisler dan returder.

Pengujian bahan.

Berat jenis dan penyerapan air serta Gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat halus dan kasar dapat dilihat berturut turut dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1 Spesifikasi gradasi agregat halus

Ukuran Ayakan (mm)	PROAENTASE LOLOS KUMULATIF							
	No-1		No-2		No-3		No-4	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
9.50	100	100	100	100	100	100	100	100
4.75	90	100	90	100	90	100	95	100
2.36	60	95	75	100	85	100	95	100
1.18	30	70	55	90	75	100	90	100
0.60	15	34	35	60	60	79	80	100
0.30	5	20	8	30	12	40	15	50
0.15	0	10	0	10	0	10	0	15
FM	4.00	2.71	3.37	2.10	2.78	1.71	2.25	1.35

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 2 Spesifikasi gradasi agregat kasar

Ukuran Ayakan (mm)	PROAENTASE LOLOS KUMULATIF					
	NOMINAL 40 MM		NOMINAL 20 MM		NOMINAL 10 MM	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
70.00	100	100				
37.50	95	100	100	100		
19.00	35	70	95	100	100	100
9.50	10	40	30	60	50	85
4.75	0	5	0	10	0	10
2.36						
1.18						
0.60						
0.30						
0.15						
FM	6.90	6.55	6.00	5.90	6.00	5.90

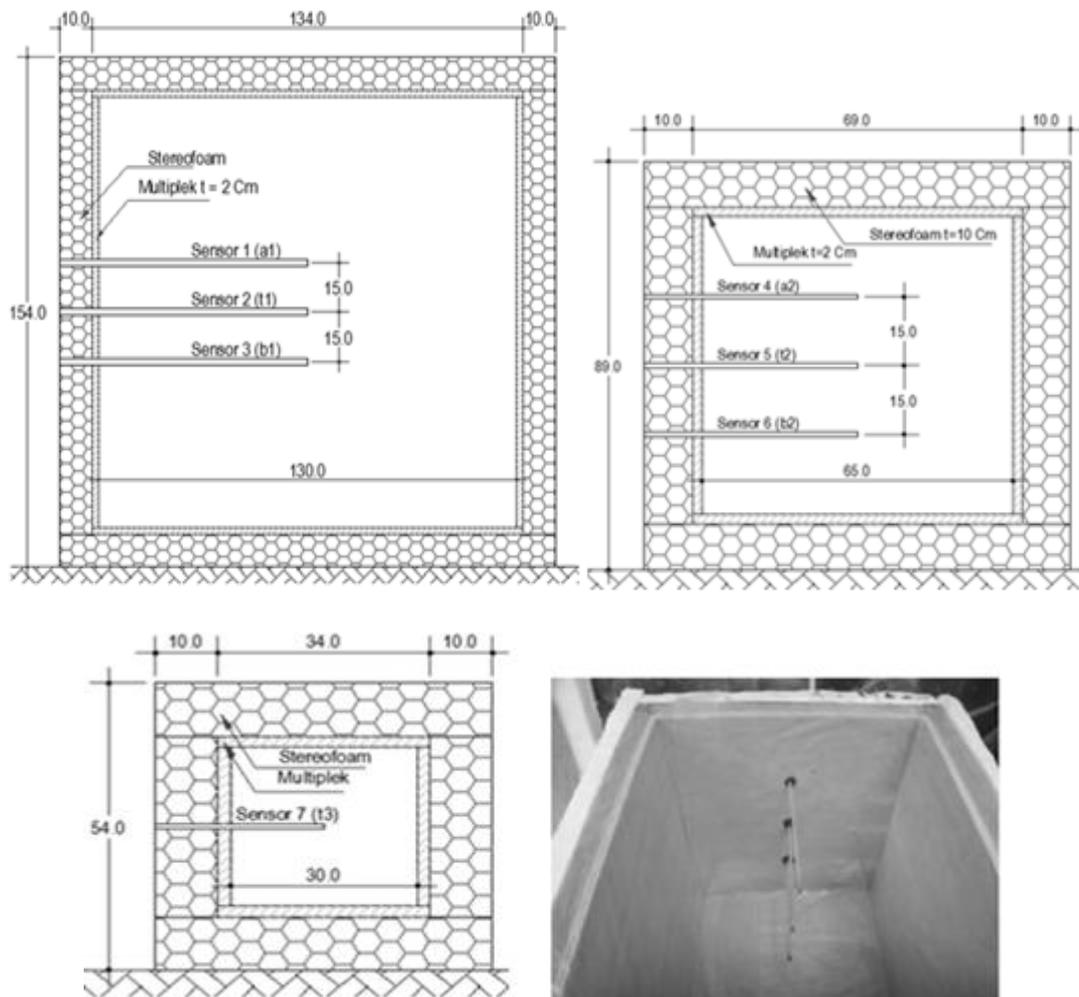
Sumber: SNI 03-2834-2000

Menentukan Proporsi Bahan

Proporsi bahan campuran beton dirancang berdasarkan SNI 03 2834 2000. Mutu beton K-350, slump rencana antara 100-120 mm. Digunakan bahan semen type II, agregat halus dan kasar, fly ash, silica fume dan admixture jenis superplastiliser dan returder.

Pembuatan benda Uji.

Benda uji dibuat dalam bentuk kubus dengan rusuk ukuran: 1.30 cm dua buah masing masing benda uji dengan dan tanpa insulasi untuk membandingkan karakter temperatur dengan perlakuan yang berbeda; 0.65 cm dan 0.30 cm masing masing satu buah untuk benda uji dengan insulasi. Skema titik uji pada **Gambar 3.2** memperlihatkan penempatan thermocouple pada benda uji beton yang dibuat.



Gambar 7 Skema penempatan thermocouple pada benda uji

HASIL DAN ANALISIS

Pengamatan Dan Analisa Hasil di Lapangan

Beton di lapangan mempergunakan semen type I dan fly ash, dengan perbandingan semen : fly ash = 5.69 : 1. Waktu pengecoran

dilakukan pukul 10.00 pagi. Dimensi raft foundation di lapangan adalah: tebal antara (1-1,75) m, luas 3.861 m², volume 6.283 m³. Thermocouple terpasang seperti telah disampaikan terdahulu, berjumlah 23 buah.

Berdasarkan **Persamaan (3.1)** dan **Persamaan (3.2)**, suhu awal campuran beton (Ti) teoritis adalah 31.9 °C, sedangkan suhu maksimal di dalam inti beton (Tmaks) adalah 72.56 °C. Tidak ada catatan tentang suhu pengadukan dan suhu pengecoran untuk pengamatan suhu di lapangan. Dengan demikian, karakteristik panas hidrasi campuran dengan semen type I ini baru terbaca pada suhu puncak, yaitu suhu yang terbentuk setelah periode *Dormant (Dormant Periode)* dalam proses hidrasi. Resume hasil monitoring suhu dapat dilihat pada **Table 3**. Pada thermocouple

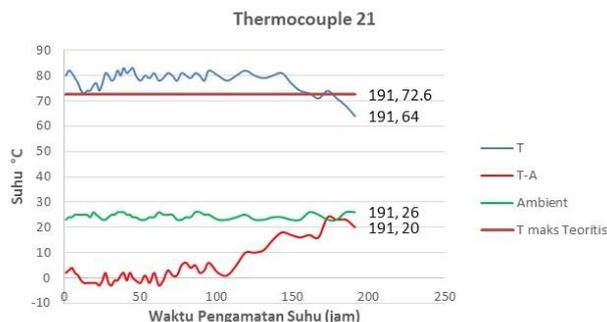
1 secara keseluruhan perbedaan suhu di dalam beton masih lebih kecil dari 20°C, namun untuk 5 thermocouple terdeteksi waktu pengamatan perbedaan suhu yang mencapai 20°C, yaitu pada thermocouple 13, 16, 17, 21 dan 23. Perbedaan suhu antara inti dan atas tersebut dapat menjadi pemicu terjadinya retak mikro di bagian dalam beton terutama pada interfacial zone antara binder dengan agregat, karena adanya tegangan pada permukaan beton yang dapat menimbulkan retak dalam jangka panjang.

Tabel 3. Resume perbedaan suhu bagian inti dengan bagian atas dan suhu maksimal pada inti beton

No. Thermo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Teoritis
T-A maks (°C)	20	20	15	18	19	12	13	15	21	20	21	18	22	17	21	24	55	20	21	20	24	19	23	20
T maks (°C)	71	63	66	64	67	65	59	60	65	67	79	79	77	77	75	74	74	79	80	77	83	83	85	72.56

Pengecoran yang dilakukan per lapisan akan memberikan indikasi yang berbeda dengan pengecoran menyeluruh. Suhu beton terus meningkat hingga 2 x 24 jam pengamatan. Secara keseluruhan suhu yang terjadi menyiratkan kondisi suhu beton dengan pengikat portland semen (rata-rata suhu adalah 50°C). Adanya fly ash dalam campuran tidak terindikasi dari suhu yang tercatat. Pada umumnya jika dalam campuran dipakai fly ash maka suhu akan menjadi lebih rendah dibandingkan campuran dengan portlan semen sebagai pengikatnya.

Pengamatan suhu di lapangan dilakukan selama 175 jam (kurang lebih 7 hari umur beton), dengan suhu ahir pengamatan adalah masih di atas suhu ambient. Pada **Gambar 8**. tersebut dapat dilihat pula bahwa suhu ahir pengamatan adalah 64 °C, yaitu suhu pada saat insulasi dibuka dari beton. Sedangkan suhu ambient pada saat tersebut berada pada 26 °C. Dengan demikian perbedaan yang kemudian terjadi adalah sebesar 38 °C di atas perbedaan suhu yang disarankan (20 °C).

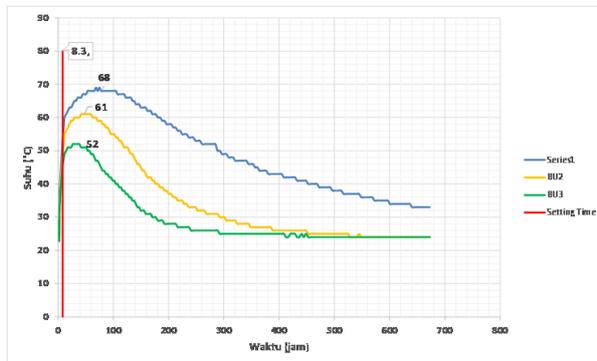


Gambar 8. Monitoring suhu pada thermocouple 21

Pengamatan dan Analisa Hasil di Laboratorium

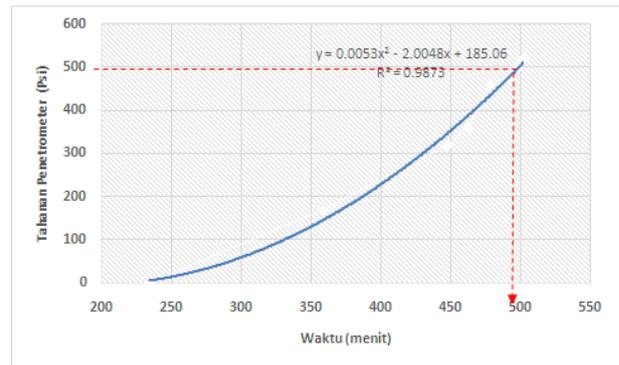
Beton di laboratorium mempergunakan semen type II dan fly ash, dengan perbandingan semen : fly ash : silica fume = 267 : 123 : 21 . Waktu pengadukan dilakukan pukul 10.00 pagi, dengan suhu pengadukan tercatat 29 °C dan waktu pengecoran adalah pukul 12.00 siang dengan suhu pengecoran 30 °C. Dimensi benda

uji adalah : 1300 mm x 1300 mm x1300 mm (3 thermocouple); 650mm x 650 mm x 650 mm (3 thermocouple), dan 300 mm x 300 mm x300 mm (1 thermocouple).



Gambar 9. Karakteristik suhu hidrasi pada elemen uji

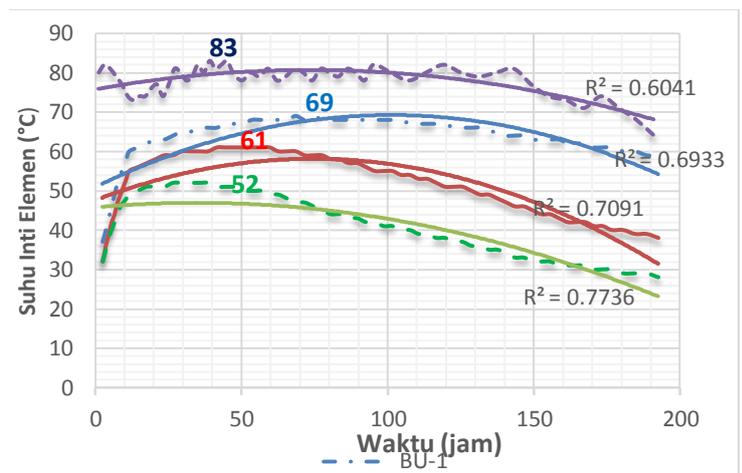
Karakteristik suhu hidrasi dapat dilihat pada **Gambar 9**. Pemakaian semen type II serta fly ash dalam matriks pengikat dimaksudkan untuk menurunkan suhu campuran, namun demikian pada BU-1 terlihat bahwa suhu maks yang tercatat (68°C) masih melampaui batasan suhu maksimal secara teoritis (66.24°C), sedangkan untuk benda uji dengan ukuran lebih kecil, suhu maksimum tersebut dapat dipenuhi. Setting time beton yang terlihat pada gambar dilakukan pada benda uji standar ukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm, dengan waktu ikat tercatat adalah 498 menit atau 8.3 jam. Perilaku *setting time* campuran yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 10**. Steting time tersebut terlihat lebih lama dibandingkan setting time beton dengan ukuran non massa yang umumnya terjadi 4-5 jam, hal ini terjadi selain volume elemen yang besar juga karena adanya fly ash dalam campuran beton yang cenderung lebih lambat proses hidrasinya dibandingkan beton normal.



Gambar 10. Grafik hubungan antara tahanan penetrometer (Psi) dengan waktu (menit) benda uji standar ukuran 100mm x 100mm x 100mm

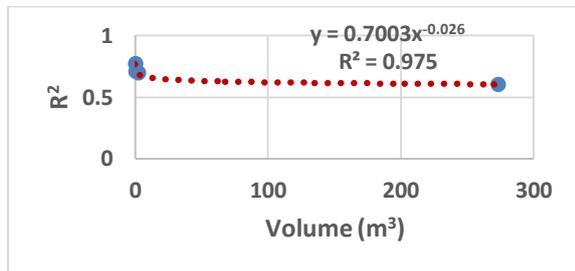
Korelasi Monitoring Suhu di Lapangan dan di Laboratorium

Secara harfiah, data hasil pengujian antara pengamatan di lapangan dengan data hasil pengamatan di laboratorium tidak dapat dikorelasikan, karena bahan pembentuk yang berbeda, terutama pada pemakaian type semen. Namun demikian, berdasarkan grafik pada **Gambar 11**, terlihat bahwa untuk beton massa dengan type semen I dan perbandingan PC : FA = 85% : 15% (dalam berat), suhu termonitor hampir mendekati 85 °C, yaitu suhu batas yang dapat menyebabkan perbedaan tegangan yang sangat besar dalam beton.



Gambar 11. Perbandingan suhu inti antara benda uji laboratorium dengan elemen uji lapangan

Grafik pada **Gambar 11** tersebut juga menunjukkan bahwa persamaan garis yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh type semen, pembentuk bahan pengikat serta proporsinya. Regresi pada monitoring suhu lapangan menunjukkan nilai $R^2=0.6041$, lebih kecil jika dibandingkan regresi monitoring suhu benda uji di laboratorium ($R^2 = 0.7736$). Pada **Gambar 12**, diberikan hubungan antara nilai regresi di atas dengan volume pengecoran beton di lapangan, BU-1, BU-2 dan BU-3, dengan $y= 0.7003x^{-0.026}$



Gambar 12 Grafik hubungan volume dengan regresi suhu inti

Berbeda dengan kondisi di laboratorium, di lapangan pada saat termonitor bahwa perbedaan suhu antara beton inti dan bagian atas elemen uji lebih dari 20°C , maka memang menurut pengawas di lapangan terjadi retak mikro pada elemen beton. Melalui uji PUNDIT, diperoleh gambaran bahwa kepadatan beton ada pada katagori BAIK, dengan cepat rambat gelombang 3.7 Km/sec . Kondisi ini terjadi dengan cara pemadatan beton dengan memakai alat pemadat batang kayu, sehingga cepat rambat gelombang tidak dapat lebih besar dari hasil yang diperoleh atau dengan kata lain, kepadatan yang diperoleh tidak maksimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan analisa data data yang diperoleh di lapangan dan di laboratorium,

dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik panas hidrasi campuran dengan semen type I di lapangan baru terbaca pada suhu puncak, yaitu suhu yang terbentuk setelah periode *Dormant (Dormant Periode)* dalam proses hidrasi. Hal ini disebabkan suhu pengadukan dan pengecoran tidak ada.
2. Perbedaan suhu antara bagian inti dan bagian atas pada *thermocouple* 13, 16, 17, 21 dan 23 melebihi 20°C dapat menjadi pemicu terjadinya retak mikro di bagian dalam beton terutama pada interfacial zone antara binder dengan agregat, karena adanya tegangan pada permukaan beton yang dapat menimbulkan retak dalam jangka panjang.
3. Secara keseluruhan adanya fly ash dalam campuran beton di lapangan tidak terindikasi dari suhu yang tercatat. Hal ini diperlihatkan oleh suhu rata rata dalam campuran yaitu 50°C
4. Pemakaian semen type II serta fly ash pada benda uji ukuran besar di laboratorium belum dapat menurunkan suhu campuran secara maksimal, perlu menurunkan suhu maksimum sebesar 2.66% dari suhu maksimum teoritis, sedangkan untuk benda uji dengan ukuran lebih kecil suhu maksimum tersebut dapat dipenuhi.
5. Karakteristik suhu pada setting time dengan benda uji standar (100mm x 100mm x 100mm) tidak mudah dijadikan referensi untuk perilaku suhu setting time beton dengan volume besar.
6. Korelasi data hasil pengujian di lapangan dengan data hasil pengamatan di laboratorium pada dasarnya tidak bisa dilakukan, karena bahan pembentuk berbeda. Tetapi beton masa dengan menggunakan

semen type I dan fly ash sebesar 15%, suhu terekam mencapai suhu batas (83°C) yang dapat menyebabkan perbedaan tegangan sangat besar dalam beton. Pemakaian *fly ash* dalam jumlah lebih banyak serta semen type II pada benda uji di laboratorium, menunjukkan suhu terekam mencapai suhu batas 68°C, nilai tersebut lebih rendah sebesar 17% dari suhu maksimum di lapangan. Perbedaan suhu akan lebih rendah lagi jika pengecoran dilakukan malam hari, pemakaian agregat dengan suhu rendah, dan perlakuan terhadap material pembentuk sebelum pengecoran misalnya penempatan pipa untuk mengalirkan air es pada stock pile agregat.

7. Kurang sesuainya penempatan thermocouple bagian atas, menyebabkan pemahaman terhadap kondisi benda uji tidak dapat dievaluasi, sehingga langkah awal, dilakukan pengamatan visual. Secara visual, kondisi benda uji tanpa retak mikro, baik untuk BU-3, BU-2 maupun BU-1, dengan demikian asumsi yang kemudian diambil adalah bahwa perbedaan suhu elemen uji bagian atas dengan suhu inti tidak terlalu besar ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Asumsi tersebut dapat dikatakan sudah benar. Dengan kurangnya kepadatan, maka perbedaan suhu antara lapisan inti dan lapisan atas tidak akan besar, karena adanya porositas yang lebih besar, terlihat dari hasil uji PUNDIT, bahwa kepadatan beton tidak dapat dikategorikan BAIK, dengan nilai cepat rambat gelombang 3.7 Km/sec.

Saran

Saran perlu disampaikan setelah terlaksananya penelitian mengenai beton massa

di lapangan dan beton massa di laboratorium, antara lain:

1. Perlu ada rekaman data mengenai dampak dari suhu puncak yang melebihi suhu puncak yang dijadikan acuan untuk dapat dianalisa pengaruhnya terhadap kelayakan struktur guna dijadikan solusi dalam perbaikannya.
2. Perlu dilakukan monitoring suhu pada benda uji standar untuk uji setting time, sehingga dapat diketahui perilakunya untuk campuran yang dipakai.
3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *admixture* untuk mempercepat proses hidrasi, sehingga setting time dari beton massa dengan menggunakan *fly ash* minimal mendekati setting time dari beton massa tanpa *fly ash*.

DAFTAR PUSTAKA

2002. Effect of Restraint, Volume Change Reinforcement on cracking of Mass Concrete, American Concrete Institute 207.2R95..
- ACI, 2010, Specification for structural concrete, American Concrete Institute 301.10.
- ASTM, 2012. Standard Specification for Portland Cemen, American Standar for Testing Material C 150/C 150M.
- Dhir, R.K., and Byars, E.A., 1986 "PFA Concrete: Chloride Diffusion Rates," Magazine of Concrete Research, V. 45, No. 162, 1993, pp.1-9.
- Sindhunata; John L. Provis; Grant C. Lukey; Hua Xu; and, Jannie S. J. van Deventer, 2006, "Effect of Curing Temperature and Silicate Concentration on Fly-Ash-Based Geopolymerization", Ind. Eng. Chem. Res., 2006, 45 (10), pp 3559–3568, DOI: 10.1021/ie051251p, Publication Date (Web): April 14, 2006, Copyright © 2006 American Chemical Society.
- Aris, 2014, "Pengaruh Perubahan Temperatur pada Raft Foundation".

Bamforth, P.B., 1984b, "The effect of heat of hydration of pfa concrete and its effect on strength. Publish: Ashtech 84, Second Int. Conf. on Ash Technology and Marketing. London, September pp 287-29.

John Newman John, Choo BS., 2003, "Advance Concrete Technology 2: Concrete Properties", Publish: Butterworth-Heinemann 2003, Oxford p6-9.

Madsuri, 2000, "Pengaruh kenaikan temperatur terhadap pengecoran beton massa raft foundation". UI-Laporan Penelitian.