

**PENGENDALIAN SUHU BETON MASSA 3500M3  
MENGUNAKAN BALOK ES DAN PENGARUHNYA  
TERHADAP BETON  
(Studi Kasus : Pondasi Raft Gedung PPAG2)**

**M. Dede Pardede, Fatmawati Oemar**

Program Studi Teknik Sipil Universitas Jayabaya  
e-mail : mdedepardede@gmail.com

**ABSTRACT**

*This study aims to determine how to control the temperature of mass concrete, with a cooling method using ice cubes. With the target to be achieved is a maximum fresh concrete temperature of 32 ° C, workability slump 16 ± 2, peak temperature 81 ° C, temperature between layers of concrete 20 ° C, concrete quality of 35 MPa. A raft foundation is a raft-shaped foundation that spreads to all parts of the base of the building with a certain thickness as a compressive force leveler that bears the overall load of the structure above it. In its manufacture, the Raft Foundation uses mass concrete. Mass concrete is concrete with a large enough volume so that steps are needed to overcome the increased heat from the cement hydration process and volume changes that can cause cracking. Concrete with a thickness greater than 1 meter or 3 feet requires special attention to temperature changes. All research activities are carried out in the field, from the planning and implementation of the raft foundation which refers to the technical specifications of the structural consultant - Davy Sukamta Konsultan, ACI 207.1R - guide to mass concrete, ACI 207.4R - cooling and insulation system for mass concrete. Can be concluded with the following data results; The highest fresh concrete temperature was 29°C, workability was achieved with an average slump at 16 ± 2, the peak temperature reached 79.5°C, the temperature between concrete layers, with the highest temperature was 19.2°C, the 7 day old concrete compressive strength test reached 37 MPa.*

*Key words: Mass concrete, temperature, concrete compressive strength.*

## 1. PENDAHULUAN

Pengecoran konstruksi beton volume besar dan tebal diperlukan perlakuan khusus, mulai dari proses persiapan dan pelaksanaan, pada umumnya perbedaan suhu (lebih dari 20°C) diantara layer beton akan menyebabkan retak thermal. Untuk itu perlu dijaga agar perbedaan suhu antar layer tidak melebihi ketentuan, maka bagian tepi atas perlu dicuring dengan curing compound dan ditambah sistem insulasi permukaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pengendalian suhu beton massa 3500 m<sup>3</sup> dengan menggunakan balok es dan pengaruhnya terhadap beton. Secara garis besar, suhu beton massa yang kami amati tidak boleh melebihi yang diisyaratkan, dimana suhu maksimum beton adalah 81°C dan perbedaan temperatur antar layer maksimal 20°C. Oleh karena itu diperlukan pengendalian suhu permukaan beton atau bagian beton yang terkena udara.

Untuk pembuktian apakah pengendalian suhu yang dilakukan berhasil atau tidak dan target kuat betonnya tercapai atau tidak, maka dibuat benda uji silinder yang berukuran 15 cm x 30 cm. Benda uji yang telah dibuat sebelum beton segar dituang, diberi nama, tanggal pengecoran dan tanggal akan dilakukan pengujian, kemudian benda uji dimasukkan ke dalam bak perendaman air dilakukan perawatan 7 hari dan 28 hari.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan air es suhu 13,8o C yaitu 40 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan air normal suhu 30C yaitu 36 MPa pada umur beton 28 hari, dan pada pengujian kuat lentur beton menunjukkan bahwa penggunaan air es suhu 13,8oC yaitu 5,993 MPa lebih rendah pada umur beton 28 hari dibandingkan dengan menggunakan air

normal suhu 29oC yaitu 6,348 MPa, Pada hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah dan kuat tarik lentur diperoleh nilai koefisien (k) diatas nilai cakupan yang dikemukakan Nilson dan Winter (1986 : 41 ) yaitu 0,5 – 0,67 dalam satuan MPa.

## 2. IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

Pengontrolan temperatur dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan terhadap beton. Perbedaan temperatur antara layer yang diijinkan untuk konstruksi beton massa memiliki ambang batas 20°C dan suhu maksimum beton adalah 81°C. Adapun rumusan masalah yang akan diteliti adalah pengendalian suhu beton massa 3500 m<sup>3</sup> yang menggunakan air es dan sejauh mana pengaruhnya terhadap beton massa tersebut.

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian beton massa yang dilakukan berupa studi kasus raft foundation Gedung Kampus Universitas Katolik Parahyangan – PPAG2, Jl. Ciumbuleuit, Bandung – Jawa Barat dengan dikaji dan dianalisa berdasarkan bidang ilmu teknik sipil. Oleh karena itu penelitian ini bersifat analitis.

Kegiatan penelitian dilaksanakan melalui ;

- Studi Lapangan Studi lapangan untuk memperoleh data primer. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari sumber data, baik melalui pengamatan, wawancara, maupun hasil pengukuran langsung.
- Studi Kepustakaan Studi kepustakaan untuk memperoleh teori-teori dan data sekunder yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan memanfaatkan data yang terlebih dahulu dikumpulkan dan dilaporkan pihak lain, dalam bentuk

publikasi ilmiah, jurnal, buku, dan sebagainya.

- Data-data, yaitu dokumentasi baik berupa foto, tabel dan gambar yg diperoleh dari konsultan struktur, kontraktor, sub kontraktor atau diambil langsung dari lokasi proyek.

### 3.1 Foundation Gedung PPAG2

Beton massa yang ditinjau adalah raft foundation sebuah proyek bangunan tinggi, Gedung Kampus Universitas Katolik Parahyangan - PPAG2, Jl. Ciumbuleuit, Bandung – Jawa Barat. Pengecoran raft foundation gedung PPAG2 menggunakan Beton massa  $f_c'$  35 MPa, fly ash tipe F 26%, slump  $16 \pm 2$ , dengan design initial concrete temperature (Tf) =  $\pm 32^\circ\text{C}$ .

### 3.2 Pengumpulan Data Temperatur

Temperatur puncak beton massa terjadi pada 1-3 hari awal setelah pengecoran. Sifat beton yang “Poor Thermal Conductivity” menyebabkan panas hidrasi yang terlepas berlangsung lambat sehingga diperlukan monitoring selama waktu tertentu hingga perbedaan temperatur dibawah dari standar yang disyaratkan dalam konstruksi. Monitoring yang dilakukan untuk beton massa raft foundation di proyek Gedung Kampus Universitas Katolik Parahyangan – PPAG2 Bandung dilakukan dengan :

- Alat pembacaan sensor temperatur (Thermocouple) Pembacaan suhu beton secara manual dilakukan intensif untuk 24 jam pertama dikarenakan peak temperature terjadi pada fase ini.
- Pengamatan temperatur raft foundation dilakukan dengan fase yang berbeda. berikut jadwal monitoring :
  - Setiap 30 menit sekali selama 24 jam
  - Setiap 1 jam sekali, sampai suhu menunjukkan penurunan yang konsisten.

### 3.3 Analisis Data Pendahuluan

Analisis data pendahuluan adalah data yang kami peroleh dari konsultan Struktur (Davy Sukamta Konsultan), berupa dokumen acuan yang meliputi :

#### 3.3.1 Pembuatan Beton

Beton dari bahan campuran dan design mixes yang disebut disini sebelum dispesifikasikan harus diukur, dikumpulkan dan dicampur di plant, sesuai dengan SNI 2847 dan ACI.

##### 3.3.1.1. Batching :

- a. Proporsi campuran diukur tersendiri dengan timbangan dan alat yang sesuai corong dan mekanisme penimbangan harus disediakan. Jika semen borongan digunakan, alat kedap air terpisah, corong dan mekanisme penimbang harus disediakan juga. Satu set lengkap dari pemberat untuk pengujian mekanisme penimbangan harus disimpan pada batching plant
- b. Mekanisme penimbangan harus akurat sampai setengah dari satu persen pada kondisi operasional dan skala-skala harus disediakan dan dapat dibaca dengan mudah oleh operator
- c. Air harus ditambahkan kedalam campuran dari reservoir terpisah dan harus benar-benar dikontrol dengan penyesuaian terhadap kelembaban agregat. Jika bahan aditif diijinkan, dispenser terpisah, seperti yang disediakan atau direkomendasikan oleh manufaktur bahan aditif dan disetujui oleh Manajer Konstruksi, harus digunakan.

##### 3.3.1.2. Pencampuran :

- a. Mixing plant harus mempunyai wadah (drum) yang dapat menampung keseluruhan material dari batch dan air dan mencampurnya hingga tercapai konsistensi yang homogen dalam jangka waktu yang dapat diterima. Jangka waktu ini harus ditetapkan di lapangan dengan percobaan yang didasarkan pada rekomendasi dari manufaktur mixer-plant

b. Wadah mixer harus berupa konstruksi yang sedemikian rupa sehingga dapat mengeluarkan keseluruhan campuran dengan cepat tanpa adanya tumpahan.

#### **3.3.1.3. Silinder**

a. Kuat tekan beton harus ditentukan dengan pengujian silinder standar diameter 150mm, 28 hari setelah pecampuran dan dilakukan oleh pihak independen ketiga yang telah disetujui oleh Manajer Konstruksi.

b. Sample yang mewakili harus diambil dari beton segar untuk membuat silinder uji dan setiap sampel harus diambil dari satu batch.

c. Sample harus diambil tepat sebelum beton dituangkan.

d. Jumlah sample dari beton segar harus sedikitnya seperti yang dispesifikasikan dan sedikitnya satu sample harus diambil dari setiap mutu beton yang diproduksi pada setiap harinya

e. Dari setiap beton, minimum 4 silinder harus diambil sesuai dengan ASTM.

f. Setiap silinder beton harus diberi nomor dalam urutan seri dan nomor seri tidak boleh digandakan atau dihilangkan.

g. Setiap silinder harus cukup mengalami curing (perawatan) di lapangan atau di laboratorium sampai siap untuk diuji.

h. Tujuh (7) hari setelah pencampuran, satu silinder harus diuji untuk mengetahui kuat tekan beton.

i. Dua puluh delapan (28) hari setelah pencampuran 2 silinder harus diuji kuat tekannya sesuai dengan ASTM dan rata-rata kuat tekanan setiap pasangan silinder yang dibuat dari sampel yang sama harus diambil sebagai hasilnya. Silinder keempat harus disimpan sebagai cadangan.

j. Silinder tambahan harus dibuat untuk menunjukkan kekuatan beton pada umur awal untuk memungkinkan terjadinya fromwork cycling.

k. Silinder tambahan harus dibuat untuk menunjukkan kekuatan beton 56 hari yang dispesifikasikan.

#### **3.3.1.4. Kriteria Penerimaan**

a. Mutu beton yang dispesifikasikan harus dicapai jika hasil uji individu dan hasil rata-rata dari seluruh overlapping set dari 3 uji yang berurutan (setiap uji terdiri dari 2 silinder) mengikuti kriteria yang dispesifikasikan dalam mutu beton.

b. Jika ada lebih dari 4 hasil uji, rata-rata dari setiap set yang terdiri dari empat uji yang berurutan harus diperiksa dan dihitung untuk memenuhi setiap kali hasil uji baru diperoleh, dengan menggunakan hasil uji itu dan 3 hasil uji terdahulu.

c. Jika hanya ada 2 atau 3 hasil uji yang tersedia, hasil-hasil tersebut harus disajikan untuk kepentingan dari butir ini seakan-akan ada 4 uji yang berurutan

d. Tingkat kekuatan dari kelas individual beton dianggap memenuhi jika kedua persyaratan berikut dipenuhi:

- Rata-rata kekuatan dari semua set yang terdiri dari 3 uji kekuatan yang berurutan sama atau melebihi  $f_c$ .
- Tidak ada uji kekuatan individu (rata-rata dari 2 silinder) dibawah  $f_c$  dengan lebih dari 3.5 MPa jika  $f_c$  35 MPa atau kurang atau denan lebih dari 0.1  $f_c$  jika  $f_c$  lebih besar dari 35 MPa.

#### **3.3.1.5. Pengujian Core**

a. Jika beton yang diperiksa secara visual di curigai atau mutu beton yang dispesifikasikan tidak memenuhi persyaratan. Kuat tekanan beton dalam struktur dapat ditentukan dengan mengebor sejumlah cores beton pada lokasi yang cocok.

b. Jika disyaratkan, cores dengan diameter sekurang-kurangnya 2" harus diuji sesuai dengan ASTM C42. Sekurang-kurangnya tiga cores yang mewakili harus diambil dari tiap elemen atau daerah yang dianggap berpotensi kurang baik. Lokasi dari cores harus ditentukan oleh Engineer di tempat yang terjadi pengurangan kekuatan struktur. Jika, sebelum pengujian, satu atau lebih cores menunjukkan bukti telah terjadi kerusakan atau selama pemindahan struktur, semuanya harus digantikan dengan core baru. Beton pada daerah

yang diwakili oleh core test akan dipertimbangkan memenuhi syarat kekuatan apabila rata-rata kekuatan core sama dengan paling sedikit 85%. Kekuatan fc yang dispesifikasikan dan apabila tidak ada satu core pun yang lebih kecil dari 75% kekuatan fc yang dispesifikasikan.

c. Core yang dibor dari dalam beton harus disiapkan dan diuji sesuai dengan "Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Saved Beams of Concrete (ASTM C42). Pada kasus tertentu, core tersebut harus diambil untuk setiap uji kekuatan yang melebihi 500 psi pada fc yang ditentukan. Tidak ada penyesuaian yang boleh dilakukan untuk kekuatan yang didapat dari pengukuran ini sehubungan dengan umur core pada saat diuji.

### **3.3.2. Pengiriman dan Pengangkutan Beton**

a. Pengiriman beton dari mixing plant kelapangan harus dilaksanakan sedemikian sehingga segregasi dan kehilangan beton tidak terjadi.

b. Rata-rata pengiriman, haul time, waktu pencampuran dan kapasitas corong yang harus sedemikian rupa sehingga semua campuran beton yang dikirim harus ditempatkan dalam waktu yang tidak lebih dari sembilan puluh menit dari saat semen dan air dicampurkan ke dalam mixer.

### **3.3.3. Penambahan Air**

Penambahan air pada lapangan tidak diijinkan.

### **3.3.4. Pengecoran Beton**

a. Sediakan jadwal pengecoran dan serahkan kepada Manajer Konstruksi untuk disetujui sebelum pekerjaan beton dimulai.

b. Sebelum pengecoran beton, formwork, tulangan dan material yang akan dibenamkan harus diteliti dan disetujui oleh Manajer Konstruksi. Permintaan untuk penelitian harus diserahkan kepada

Manajer Konstruksi 48 jam sebelum penempatan coran beton.

c. Deposit beton sedekat mungkin dengan posisi final pada lapisan yang seragam tidak boleh melebihi kedalaman 30cm. tinggi jatuh maksimum adalah 1.5m. Pisahkan form dan tulangan dari percikan beton sebelum pengangkatan berikutnya.

d. Jangan alirkan beton dengan vibrator. Gunakanlah elephant trunks, tremie atau alat lainnya yang disetujui di mana drop melebihi 1.5m disyaratkan. Segregasi tidak diijinkan.

e. Cor plat lantai dan plat-plat lainnya sesuai ACI 302.

f. Jangan digunakan peralatan aluminium dalam penempatan finishing beton.

g. Cor pelat yang dipertebal untuk partisi menyatu dengan pelat lantai.

h. Siapkan tempat untuk deposit, mix, pengangkutan, penempatan dan perawatan beton sesuai ACI 301, ACI 304 dan ACI 318. Basahkan from work sebelum penempatan coran beton.

### **3.3.5. Batas Waktu**

Beton harus dituangkan kedalam waktu 90 menit setelah batching. Waktu yang lebih lama antara batching dengan penulangan diijinkan, dengan syarat bahwa tidak ada efek negatif yang ditimbulkan terhadap campuran beton.

### **3.3.6. Konsolidasi Beton**

a. Konsolidasikan beton sesuai ACI 301 dan ACI 309 segera sesudah dicor.

b. Sediakan vibrator cadangan untuk keperluan mendadak di lapangan selama pengecoran beton

c. Vibrator yang digunakan baik elektrik maupun pneumatik, jenis immersion yang bekerja pada 7.000 rpm untuk diameter kepala vibrator <180mm dan 6.000 rpm untuk diameter kepala vibrator >180mm. Vibrator-vibrator tersebut harus mempunyai amplitudo yang cukup menghasilkan konsolidasi yang cukup.

### **3.3.7. Curing**

a. Aplikasikan prosedur curing sesuai persyaratan khusus.

b. Beton dicuring sesuai dengan ACI 308. Pertahankan agar permukaan beton tetap lembab. Apabila digunakan acrylic curing compound gunakan sesuai dengan rekomendasi dari manufaktur untuk permukaan beton yang tidak terlindungi selama 5 hari oleh formwork. Jangan gunakan curing compound pada daerah yang akan diaplikasikan material yang tidak menempel pada beton yang telah dicuring dengan curing compound kecuali apabila curing compound dapat larut dalam air.

c. Prosedur curing basah adalah sebagai berikut; Tempatkan kain basah dan polyethylene curing blankets pada permukaan dan usahakan agar tetap lembab dengan menggunakan sprinkler selama 7 hari. Pada suhu tinggi dan kondisi berangin, hindari penguapan air campuran dengan cepat dan plastic shrinkage cracking yang mungkin terjadi dengan menggunakan penghambat penguapan atau fog spray. Pada cuaca dingin ikuti prosedur yang direkomendasikan pada ACI 306 dan ACI 308. Apabila sealer tidak digunakan setelah curing blanket dilepaskan, semprotkan 2 lapis liquid membrane curing compound. Apabila digunakan sealer curing compound tidak diperlukan.

d. Formwork yang berhubungan dengan beton harus dijaga agar tetap basah selama periode curing. Apabila formwork dipelaskan dalam periode curing, beton harus di curing sampai berakhirnya masa curing tersebut dengan water curing atau bahan lain sesuai dengan persetujuan Manajer Konstruksi.

### 3.3.8. Kondisi Lingkungan

Laksanakan pengecoran pada cuaca panas sesuai dengan ACI 305. Lindungi beton dari kekeringan dan suhu berlebihan untuk 7 hari pertama. Lindungi beton segar dari angin.

### 3.3.9. Kontrol dan Monitor Suhu

1. Tindakan pencegahan yang diperlukan seperti yang diisyaratkan, harus dilaksanakan oleh Kontraktor untuk meyakini bahwa suhu mass concrete pada

saat pengecoran tidak melampaui 32°C pada saat discharge, dan suhu maksimum beton selama curing tidak melebihi 81°C. Tindakan pencegahan seperti itu harus dipertimbangkan, tetapi tidak terbatas pada hal-hal di bawah ini dan dimasukkan dalam biaya Kontraktor :

- a. Low-heat-of-hydran portland atau blended cement.
- b. Pozzolan
- c. Pengurangan suhu beton awal sampai  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  dengan cara mendinginkan bahan-bahan campuran beton.
  - Mendinginkan mixing water (air pencampuran)
  - Meletakkan es pada campuran
  - Mendinginkan agregat
- d. Mendinginkan beton dengan menggunakan pipa pendingin yang dibenamkan.
- e. Menggunakan formwork untuk rapid head dissipation.
- f. Water curing.

2. Uji laboratorium dari Manajer Konstruksi harus memonitor peningkatan panas yang terjadi pada mass concrete selama periode perawatan sampai saat tertentu yang memperhatikan bahwa suhu maksimum beton telah tercapai. Perbedaan suhu maksimum antara bagian dalam dan permukaan beton tidak boleh lebih dari 20°C

3. Uji laboratorium harus menyerahkan metode monitoring peningkatan suhu mass concrete kepada Manajer Konstruksi dan Engineer untuk disetujui. Laporan akhir harus diserahkan dimana laporan tersebut memperlihatkan hasil dari monitor suhu tersebut.

## 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan meliputi beberapa tahapan yang meliputi ;

### 4.1. Mix Design dan Trial Mix

Pelaksanaan penelitian di lapangan diawali dengan pembuatan Mix Design, Mix Design beton adalah pemilihan

bahan campuran beton dengan mempertimbangkan kuantitas atau perbandingan material, agar beton dapat mencapai mutu yang diisyaratkan. Selanjutnya untuk pembuktian apakah Mix Design itu berhasil atau tidak, maka dilakukan Trial Mix. Adapun yang menjadi dasar acuan Mix Design dan Trial Mix adalah spesifikasi teknis dari perencana struktur. Target utama dalam pembuatan Mix Design adalah mutu beton  $F_c'35$ , Slump  $16 \pm 2$ , Suhu beton segar  $32^\circ\text{C}$  dan setting time 7jam.

Spesifikasi beton yang akan dibuat adalah sebagai berikut ; tipe beton  $F_c'35$ , slump  $16 \pm 2$ , target strength di 28 hari 35 mpa, semen konten 391 kg, fly ash konten 130 kg, free water konten 179 kg, balok es 50 kg, agregat kasar ex. Batujajar 750 kg, agregat halus ex. Cimalaka 829 kg, admixtures tipe D 1,82 liter, admixtures tipe F 4,17 liter, water cement ratio 0.44, suhu maksimum beton segar  $32^\circ\text{C}$ , peak temperature  $81^\circ\text{C}$ .

#### 4.2. Perhitungan Temperatur Beton

Metode yang umum dipakai oleh kontraktor dan suplayer beton adalah metode PCA, metode ini sangat sederhana untuk memprediksi suhu pada pekerjaan beton massa, dimana ;  $T_a$  : aggregate temperature =  $32^\circ\text{C}$ ,  $T_c$  : cement temperature =  $80^\circ\text{C}$ ,  $T_{fa}$  : fly ash temperature =  $45^\circ\text{C}$ ,  $T_w$  : water temperature =  $28^\circ\text{C}$ ,  $T_{wa}$  : water in aggregate temperatur =  $29^\circ\text{C}$ ,  $W_a$  : mass of aggregate = 1579 kg,  $W_c$  : mass of cement = 391 kg,  $W_{fa}$  = mass of fly ash = 130 kg,  $W_w$  : mass of water = 179 kg,  $W_{wa}$  : mass of water in aggregate = 15 kg. Dari data tersebut, dapat dihitung temperatur awal beton tanpa es adalah :

$$T_i = \frac{0,22((T_a.W_a)+(T_c.W_c)+(T_{fa}.W_{fa}))+(T_w.W_w)+T_{wa}+W_w}{0,22(W_a+W_c+W_{fa})+W_w+W_{wa}}$$

$$T_i = \frac{0,22((30.1579)+(80.391)+(45.130))+(28.179)+29+15}{0,22(1579+391+130)+179+15}$$

$$T_i = \pm 36^\circ\text{C} \text{ (suhu beton segar tanpa es)}$$

Sedangkan untuk temperatur puncak adalah :

$$T_{max} = T_i+12(W_c:100)+6(W_{fa}:100)$$

$$T_{max} = 36+12(391:100)+6(130:100)$$

$$T_{max} = 90^\circ\text{C} \text{ (peak temperature tanpa es)}$$

Sedang untuk metode PCA yang menggunakan balok es adalah sebagai berikut ; dimana ;  $T_a$  : aggregate temperature =  $32^\circ\text{C}$ ,  $T_c$  : cement temperature =  $80^\circ\text{C}$ ,  $T_{fa}$  : fly ash temperature =  $45^\circ\text{C}$ ,  $T_w$  : water temperature =  $28^\circ\text{C}$ ,  $T_{wa}$  : water in aggregate temperatur =  $29^\circ\text{C}$ ,  $W_a$  : mass of aggregate = 1579 kg,  $W_c$  : mass of cement = 391 kg,  $W_{fa}$  = mass of fly ash = 130 kg,  $W_w$  : mass of water = 179 kg,  $W_{wa}$  : mass of water in aggregate = 15 kg,  $W_i$  : mass of ice = 50 kg. Dari data tersebut, dapat dihitung temperatur awal beton tanpa es adalah :

$$T_i = \frac{0,22((T_a.W_a)+(T_c.W_c)+(T_{fa}.W_{fa}))+(T_w.W_w)+T_{wa}+W_w-112W_i}{0,22(W_a+W_c+W_{fa})+W_w+W_{wa}+W_i}$$

$$T_i = \frac{0,22((30.1579)+(80.391)+(45.130))+(28.179)+29+15-(112 \times 50)}{0,22(1579+391+130)+179+15+50}$$

$$T_i = \pm 26^\circ\text{C} \text{ (suhu beton segar dengan balok es)}$$

Sedangkan untuk temperatur puncak adalah :

$$T_{max} = T_i+12(W_c:100)+6(W_{fa}:100)$$

$$T_{max} = 26+12(391:100)+6(130:100)$$

$$T_{max} = \pm 75^\circ\text{C} \text{ (peak temperature dengan balok es)}$$

#### 4.3. Perhitungan TM dan Cycle Time

Satu Truck Mixer (TM) dengan kapasitas 6 m<sup>3</sup>, membutuhkan waktu untuk loading beton sekitar 30 menit (pembersihan TM 10 menit, Mixing time 15 menit, cek slump dan suhu beton segar 5 menit). Kemudian beton dikirim ke proyek yang berjarak 20 km dari batching plant, dibutuhkan waktu 90 menit untuk pengiriman tersebut. Setelah TM sampai diproyek dibutuhkan waktu unloading beton sekitar 30 menit (cek

slump dan suhu beton segar 10 menit, parkir 10 menit, penuangan beton ke concrete pump 10 menit) Jika beton sudah selesai dituang maka TM akan kembali ke batching plant, dengan waktu tempuh 90 menit. Jadi waktu yang diperlukan untuk 1 Cycle Time Truck Mixer adalah 240 menit atau 4 jam.

Pada pengecoran Pondasi Raft di proyek PPAG2, menggunakan 4 unit Concrete Pump, namun yang dioperasikan hanya 3 unit saja, dan 1 unit tersisa untuk cadangan bila terjadi masalah dengan salah satu concrete pump yang dioperasikan. Satu unit Concrete Pump mampu memompakan beton segar sebanyak 20 m<sup>3</sup>/jam. Jika menggunakan 3 unit Concrete Pump berarti 60 m<sup>3</sup>/jam. Karena volume pengecoran Pondasi Raft ±3500 m<sup>3</sup>, maka waktu yang diperlukan untuk pengecoran tersebut adalah  $3500:60 = 58$  jam atau sekitar 2,4 hari.

Dengan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa pengecoran Pondasi Raft tersebut membutuhkan TM sebanyak 40 unit ((60:6)x4).

Plant-I (Cimareme) dan Plant-II (Soekarno Hatta) dengan jarak 20 km. Adapun kapasitas produksi dari kedua Plant tersebut adalah 84 m<sup>3</sup>/jam (@ 42 m<sup>3</sup>/jam). Selama pengecoran pondasi raft berlangsung, batching plant hanya melayani proyek PPAG2 Kapasitas produksi > total produksi pompa Ok!

#### 4.4. Perinsip Urutan Pengecoran

Pada prinsipnya pengecoran pondasi raft (beton massa) tahapannya pengecorannya sama dengan pengecoran biasa namun yang membedakannya adalah durasi pengecoran yang lama dan dikerjakan secara terus menerus (tidak boleh berhenti sebelum selesai), perlakuan material dan perawatan setelah selesai pengecoran, setiap TM yang datang akan diperiksa dokumennya (mutu beton yang dimuat) jam berapa selesai loading dan berapa jam perjalanan, setelah pengecekan dokumen selesai kemudian beton dituang pada troli besi untuk dilakukan pengecekan suhu

beton segar yang tidak boleh melebihi 32°C dan rata-rata didapat hasil di bawah 30°C. Kemudian dilanjutkan dengan pengecekan kelecakan beton dan nilai slump, dari pengecekan slump didapat nilai slump rata-rata adalah  $16 \pm 2$ , dan kelecakan beton segar cukup baik, namun demikian tidak semua TM membawa beton segar mutu yang diisyaratkan, untuk beton yang tidak memenuhi persyaratan maka beton akan dinyatakan reject (dikembalikan ke batching plant). Setelah beton segar dinyatakan lolos test (suhu dan slump) kemudian dibuatkan sample benda uji sebanyak 4 buah silinder, untuk pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari, tidak semua TM diambil sample untuk benda uji. Pembuatan benda uji berjumlah 35 set ( 1 set = 4 silinder ) dan diambil setiap 100m<sup>3</sup>.

Truck Mixer yang sudah dinyatakan lolos test, diijinkan masuk ke area proyek untuk proses penuangan beton segar ke Concrete Pump yang telah ditentukan. Waktu yang dibutuhkan selama penuangan ± 10 menit, setelah selesai TM langsung kembali ke batching plant dan begitu seterusnya (sampai pengecoran dinyatakan selesai)

Beton akan mulai ada ikatan setelah 7 jam, dimana 3 jam (maksimal) diasumsikan untuk perjalanan dari batching plant menuju lokasi pengecoran, maka tersisa waktu 4 jam saja sebelum ikatan awal beton terjadi.

Pada prinsipnya Pompa-1 dan Pompa-3 bersifat sebagai pompa utama dimana pompa tersebut hanya melayani pengecoran pada “jalurnya” saja. Sementara Pompa-2 bersifat sebagai pompa topping dan “service” untuk membantu overlayer pengecoran Pompa-1 dan Pompa-3 sebelum terjadi ikatan awal beton. Segmen 1 akan dicor selama 206 menit dengan Pompa-1. Pompa-2 disini berperan sebagai pompa suport dan topping, untuk pompa utama yaitu Pompa-1 dan Pompa-3 sehingga besar kemungkinan pengecoran di tiap segmennya kurang dari 206 menit. Sebelum melakukan pengecoran segmen 3 terlebih dahulu segmen 2 harus sudah

tercor agar sekat penahan beton tidak rubuh.

Urutan pengecoran nya adalah sbb: 1-2-3-4-5-6. Setelah segmen 5 selesai dicor maka Pompa-2 dapat melanjutkan pengecoran topping segmen 6, dimana Pompa utama Tetap terus mundur untuk melanjutkan pengecoran.

#### 4.5. Perawatan dan Monitoring Temperatur

Perawatan dilakukan dengan :

- a. Curing compound, setelah beton dinyatakan setting kemudian dilakukan trowel (perataan permukaan beton) setelah rata dan permukaan beton keras dilanjutkan curing compound, yang diaplikasikan dengan cara roll.
- b. Plastik cor, setelah proses curing compound dinyatakan selesai, maka permukaan beton tersebut akan ditutup dengan plastik cor untuk mencegah proses penguapan panas, agar suhu permukaan beton tidak turun secara drastis.
- c. Styrofoam 5 cm, proses penutupan permukaan beton dengan styrofoam dilakukan suhu permukaan beton tidak dipengaruhi oleh udara yang berada di permukaan beton, agar antar lapisan beton tidak terjadi perbedaan suhu yang diisyaratkan yaitu maksimum 20°C.

Proses selanjutnya adalah waktu monitoring temperatur setelah beton area thermocouple setting :

- Setiap 30 menit selama 24 jam pertama
- Setiap 1 jam sampai suhu menunjukkan penurunan yang konsisten
- Styrofoam berfungsi sebagai kontrol suhu, dimana ketika suhu terlalu tinggi (sudah mencapai 75°C) dapat dilepas sementara, dan jika suhu sudah turun ke 70°C maka styrofoam harus ditutup kembali. atau dapat dikatakan styrofoam tersebut digunakan untuk menjaga temperatur antar lapisan beton agar tidak lebih dari 20°C.

Pencatatan suhu di ambil dari 4 titik Thermo Couple, data suhu dari TC1,

TC2, TC3 dan TC4 diinput datanya selama 8 hari dan dibuat tabel monitoring suhu, tabel monitoring suhu tersebut dapat dilihat pada lampiran. Dari tabel tersebut tercatat suhu tertinggi dari pengecoran Pondasi Raft tersebut adalah 79,5°C, dari tersebut beton dinyatakan aman dari retak thermal.

Setelah pengendalian suhu dianggap berhasil lalu dilakukan test kuat tekan beton, pada benda uji yang sudah dibuat sebelumnya. Test tersebut dilakukan umur beton 7 hari dan didapat hasil terendah 37 Mpa. Untuk memastikan mutu beton yang sesungguhnya maka dilakukan test pada benda uji dengan umur 28 hari dan hasil rata-rata yang dicapai pada pengujian tersebut mencapai lebih dari 50 Mpa.

#### 4.6. Pembahasan

Melihat hasil pelaksanaan penelitian yang didapat dari pekerjaan pengendalian suhu beton massa 3500 m<sup>3</sup>, menggunakan balok es dan pengaruhnya terhadap beton,

- a. Suhu beton segar yang direncanakan maksimum 32°C, dapat dicapai dengan hasil rata-rata dibawah 30°C. Artinya bahwa temperatur beton segar yang akan dituang pada pekerjaan beton massa tersebut dapat di-reduce hingga 7°C.
- b. Nilai slump yang direncanakan 16±2, workability tercapai dengan nilai yang sama yaitu ada dikisaran 16±2, dimana nilai slump tersebut bertujuan untuk memudahkan aliran beton pada saat masih didalam pipa Concrete Pump, memudahkan penuangan beton segar ke dalam pondasi dan memudahkan pekerjaan pemadatan beton, mengingat penulangan pondasi ramp yang cenderung rapat.
- c. Temperatur puncak yang direncanakan adalah 81°C, dapat dicapai dengan nilai temperatur tertinggi adalah 79,5°C, artinya panas hidrasi puncak pada pekerjaan pondasi raft tersebut dapat di-reduce hingga 10°C. Tentunya hal tersebut dapat mengurangi potensi keretakan pondasi

d. Temperatur antar lapisan beton direncanakan maksimum 20°C, diperoleh nilai rata-rata dibawah 20°C. Hal ini terbantu oleh lapisan insulasi styrofoam yang dapat dibuka tutup, sesuai arahan inspektor perencana. Karena nilai suhu rata-rata di bawah 20°C, maka pengecoran pondasi raft tersebut aman dari keretakan yang disebabkan oleh panas hidrasi beton.

e. Target strength di 28 hari adalah 35 Mpa, hasil pengetesan kuat tekan beton pada benda uji umur 7 hari diperoleh nilai terendah 37 Mpa dan pengetesan kuat tekan beton pada benda uji umur 28 hari diperoleh nilai rata-rata diatas 50 Mpa. Artinya kuat tekan beton pada pekerjaan pondasi raft atau beton massa pada proyek PPAG2 lebih tinggi 15 Mpa dari target perencanaan. Dengan demikian penelitian “pengendalian suhu beton massa 3500 m3, menggunakan balok es dan pengaruhnya terhadap beton” pada pekerjaan pondasi raft proyek PPAG2 dengan hasil yang cukup baik.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran merupakan hal yang penting dari suatu penelitian dan jika ada yang belum tuntas dari penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti selanjutnya ;

### 5.1. Kesimpulan Penelitian

Seluruh kegiatan penelitian yang dilakukan di lapangan, dari perencanaan dan pelaksanaan raft foundation yang mengacu kepada ; Spesifikasi teknis konsultan struktur - Davy Sukamta Konsultan, ACI 207.1R - Guide to Mass Concrete, ACI 207.4R - Cooling and insulating System for Mass Concrete.

Dapat disimpulkan dengan data sebagai berikut ; Suhu beton segar tertinggi adalah 29°C, Workability tercapai dengan slump rata-rata 16±2, Temperatur puncak mencapai 79,5°C, Temperatur antar lapisan beton dengan suhu tertinggi 19,2°C, Test kuat tekan beton umur 7 hari mencapai 37 Mpa.

Dengan demikian pengendalian suhu beton massa dengan menggunakan balok es dapat direkomendasikan pada proyek mass concrete selanjutnya.

### 5.1. Saran-Saran Penulis

Dari seluruh kegiatan pengecoran dan pengendalian suhu beton massa yang terbilang sukses. Karena dalam proses pengecoran dan pengendalian suhu beton massa menggunakan balok es, yang mana sifat leleh balok es tersebut banyak di pengaruhi oleh faktor cuaca, maka pada saat pengecoran siang dengan terik matahari tidak terjadi “bleeding” sedangkan pengecoran siang dengan cuaca hujan atau pengecoran malam dengan cuaca dingin agak sedikit terjadi bleeding (walaupun hal ini dapat diatasi oleh arahan dari inspektor perencana struktur, sebaiknya untuk pengecoran beton massa selanjutnya ;

- Perlu dipertimbangkan kondisi cuaca.
- Diameter pecahan balok es harus mengikuti kondisi cuaca.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 207.1R-05**, 2006, Guide to Mass Concrete.  
*Available* : <https://www.concrete.org>
- ACI Committee 207.4R-93**, 1993, Cooling and insulating System for Mass Concrete.  
*Available* : <https://www.concrete.org>
- ASTM Committee ASTM C 186**, 2017, Heat of hydration for selected portland cements.  
*Available* : <https://astm.org>
- BSN Committee SNI 2847-2019**, 2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.  
*Available* : <https://www.bsn.go.id>
- Ir. Davy Sukamta**, 2017, Spesifikasi Teknis Proyek PPAG2
- Ir. Eri Setia Romadhon, MT**, , buku ajar teknologi beton Universitas Jayabaya
- Portland Cement Association**, 1997, Concrete and Heat Hydration.  
*Available* at : <https://www.philadelphia.edu.jo/academics/aalfraihat/uploads/heat%20of%20hydration>

**Santhosh R & Dr.P.Shivananda**, 2017, A review of Concrete Mix Designs.

*Available* at :  
<https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=11045>

**John Gajda & Martha Vangeem**, 2012, Controlling temperatures in Mass Concrete.

*Available* at :  
[https://gab.wallawalla.edu/~larry.aamodt/engr325/concrete\\_heating](https://gab.wallawalla.edu/~larry.aamodt/engr325/concrete_heating)

**S. Swaddiwudhipong, D. Chen and M. H. Zhang**, 2002, Simulation of the exothermic hydration process of Portland cement.

*Available* :  
[https://www.researchgate.net/figure/Specific-heat-of-hydration-of-individual-compounds\\_tbl1\\_250071355](https://www.researchgate.net/figure/Specific-heat-of-hydration-of-individual-compounds_tbl1_250071355)