

EVALUASI SUHU BETON MASSA 2100 M³ MENGGUNAKAN BALOK ES DAN ABU TERBANG (STUDI KASUS: PONDASI RAFT TOWER A APARTEMEN COLLINS BOULEVARD, TANGERANG)

Draga Hasan Saputra

Program Studi Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta

dragasaputra@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pengendalian suhu beton massa 2100 m³ dengan menggunakan balok es dan abu terbang sehingga melihat pengaruhnya terhadap beton. Dengan target yang ingin di capai yaitu suhu beton segar maksimal 32 °C, slump yang digunakan 15-18 cm, suhu puncak 81 °C, suhu antar lapisan beton maksimal 20 °C, mutu beton yang digunakan 30 Mpa. Pondasi *Raft* merupakan pondasi yang menyebar keseluruhan bagian dasar bangunan dengan ketebalan tertentu sebagai menyamaratakan gaya tekan yang memikul keseluruhan beban struktur di atasnya. Dalam pembuatannya, pondasi *Raft* menggunakan beton massa. Beton massa merupakan beton dengan volume yang cukup besar sehingga diperlukan langkah-langkah untuk mengatasi peningkatan panas dari proses hidrasi semen dan perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan. Beton dengan ketebalan lebih dari 1 meter atau 3 *feet* memerlukan perhatian khusus terhadap perubahan suhu. Seluruh kegiatan penelitian ini dilakukan di lapangan, mulai dari perencanaan dan pelaksanaan pondasi *raft* yang mengacu pada spesifikasi teknis konsultan struktur – PT. Satu Rekayasa Optima, ACI 207.1R – Panduan Beton Masal, ACI 207.4R – Sistem pendinginan dan isolasi beton masal. Dapat disimpulkan dengan hasil data sebagai berikut; Suhu beton segar tertinggi 32 °C, *workability* dicapai dengan slump rata-rata 15-18 cm, suhu puncak mencapai 92 °C, suhu antar lapis beton, dengan suhu tertinggi 19,8 °C, kuat tekan beton umur 7 hari mencapai 24 Mpa.

Kata kunci : Pondasi *Raft*, Beton masal, suhu, kuat tekan beton, balok es, abu terbang

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 2100 m³ dengan menggunakan balok es dan abu terbang 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 13,8 °C yaitu 38 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan air normal suhu 30 °C yaitu 34 MPa pada umur beton 28 hari, dan pada pengujian kuat lentur beton menunjukan bahwa penggunaan air es suhu 13,8 °C yaitu 5,993 MPa lebih rendah pada umur beton 28 hari dibandingkan dengan menggunakan air normal suhu 30 °C 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.



Gambar 1. Mapping Area Pondasi Raft
Sumber : Analisis Mandiri (2024)

2. METODOLOGI

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 2100 m^3 yang menggunakan balok es dan abu terbang dan sejauh mana pengaruhnya terhadap beton massa tersebut.

Penelitian beton massa yang dilakukan berupa studi kasus *raft foundation* Gedung Apartemen Collins Boulevard Tower A - Tangerang 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 yang diperoleh dari konsultan struktur, kontraktor, sub kontraktor atau diambil langsung dari lokasi proyek

2.1. Foundation Gedung Apartemen Collins Boulevard

Beton massa yang ditinjau adalah *raft foundation* sebuah proyek bangunan tinggi, Gedung Apartemen Collins Boulevard Tower A - Tangerang. Pengecoran *raft foundation* gedung Apartemen Collins ini menggunakan Beton massa $f_c' 30\text{ MPa}$, fly ash tipe F 20%, slump 15-18 cm, dengan design initial concrete temperature (T_f) = $\pm 32^{\circ}\text{C}$.

2.2. 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 di bawah dari standar yang disyaratkan dalam konstruksi. Monitoring yang dilakukan untuk beton massa *raft foundation* di proyek Gedung Apartemen Collins Boulevard Tower A Tangerang dilakukan dengan:

- Alat pembacaan sensor temperatur (*Thermocouple*) dengan kabel kawat + sensor *Thermocouple* Type J PT100 (Probe). 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 60 menit sekali selama 24 jam
 - Setiap 3 jam sekali, pada hari kedua dan ketiga menunjukkan penurunan yang konsisten.
 - Pada hari ke 4 dan seterusnya pembacaan suhu dibaca 4 kali: Pagi: 09.00 WIB, siang 12.00 WIB, sore 17.00 WIB dan malam 20.00 WIB.

2.3. Analisis Data Pendahuluan

Analisis data pendahuluan adalah data yang kami peroleh dari konsultan Struktur (PT. Satu Rekayasa Optima), berupa dokumen

acuan yang meliputi: berdasarkan pengolahan data sekunder yang berkaitan dengan rumusan masalah.

2.3.1. 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.

2.3.1.1. 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.

2.3.1.2. 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.

2.3.1.3. 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 tekanannya 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 *formwork cycling*.

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

2.3.1.4. 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 dengan lebih dari 0.1 f_c jika f_c lebih besar dari 35 MPa.

2.3.1.5. 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 *core* beton pada lokasi yang cocok.

b. Jika disyaratkan, *core* dengan diameter sekurang-kurangnya "2" harus diuji sesuai dengan ASTM C42. Sekurang-kurangnya tiga *core* yang mewakili harus diambil dari tiap elemen atau daerah yang dianggap berpotensi kurang baik. Lokasi dari *core* harus ditentukan oleh *Engineer* di tempat yang terjadi pengurangan kekuatan struktur. Jika, sebelum pengujian, satu atau lebih *core* menunjukan 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 f_c yang dispesifikasikan dan apabila tidak ada satu *core* pun yang lebih kecil dari 75% kekuatan f_c 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 f_c yang ditentukan. Tidak ada penyesuaian yang boleh dilakukan untuk kekuatan yang didapat dari pengukuran ini sehubungan dengan umur *core* pada saat diuji.

2.3.2. Pengiriman dan Pengangkatan 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.

2.3.3. Penambahan Air

Penambahan air di lapangan tidak diijinkan.

2.3.4. 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 dibanamkan harus diteliti dan disetujui oleh Manajer Konstruksi. Permintaan untuk penelitian harus diserahkan kepada Manajer Konstruksi 48 jam sebelum penempatan pengecoran 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 *formwork* sebelum penempatan pengecoran beton.

2.3.5. 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.

2.3.6. Konsolidasi Beton

- Konsolidasikan beton sesuai ACI 301 dan ACI 309 segera sesudah dicor.
- Sediakan vibrator cadangan untuk keperluan mendadak di lapangan selama pengecoran beton
- 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.

2.3.7. Curing

- Aplikasikan prosedur curing sesuai persyaratan khusus.
- 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.
- 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.
- Formwork* yang berhubungan dengan beton harus dijaga agar tetap basah selama periode curing. Apabila *formwork* dilepaskan dalam periode curing, beton harus di curing sampai berakhirnya masa curing tersebut dengan *water curing* atau bahan lain sesuai dengan persetujuan Manajer Konstruksi.

2.3.8. 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.

2.3.9. 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 :

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

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan meliputi beberapa tahapan yaitu;

3.1. 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 $f_c'30$ Mpa, Slump 15-18 cm, Suhu beton segar mak. 32°C , *slump retention* 4 jam dan *setting time* 7 jam.

Spesifikasi beton yang akan dibuat adalah sebagai berikut ; tipe beton $f_c'30$ Mpa, slump 15-18 cm, target strength di 28 hari 34,7 Mpa, semen konten 378 kg, fly ash konten 94 kg, *free water* konten 139 kg, balok es 45,80 kg, agregat kasar ex. Rumpin 960 kg, agregat halus ex. Rumpin 692 kg, admixtures tipe D-retarder 1,42 kg, admixtures tipe F-*super plasticizer* 3,07 kg, *water cement* ratio 0.399, suhu maksimum beton segar 32°C , peak temperature 81°C .

3.2. Perhitungan Temperatur Beton

Metode yang umum dipakai oleh kontraktor dan supplier beton adalah metode PCA, metode ini sangat sederhana untuk memprediksi suhu pada pekerjaan beton massa, dimana; T_a : *aggregate temperature* = 32°C , T_c : *cement temperature* = 75°C , T_{fa} : *fly ash temperature* = 40°C , T_w : *water temperature* = 30°C , T_{wa} : *water in aggregate temperatur* = 30°C , W_a : *mass of aggregate* = 1652 kg, W_c : *mass of cement* = 378 kg, W_{fa} : *mass of fly ash* = 94 kg, W_w : *mass of water* = 139 kg, W_{wa} : *mass of water in aggregate* = 4,5 kg. Dari data tersebut, dapat dihitung temperatur awal beton tanpa es pada kondisi siang hari adalah:

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

$$= \frac{0,22 (32 * 1652 + 75 * 378 + 40 * 94) + 30 * 139 + 32 * 4,5}{0,22 (1652 + 378 + 94) + 139 + 4,5}$$

$T_i = \pm 37^\circ\text{C}$ (suhu beton segar tanpa es)

Sedangkan untuk temperatur puncak adalah:

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

$$T_{max} = 37 + 12(378/100) + 6(94/100)$$

$$T_{max} = 88^\circ\text{C} \text{ (peak temperatur tanpa es)}$$

Sedang untuk metode PCA yang menggunakan balok es adalah sebagai berikut; dimana; T_a : *aggregate temperature* = 32°C , T_c : *cement temperature* = 75°C , T_{fa} : *fly ash temperature* = 40°C , T_w : *water temperature* = 30°C , T_{wa} : *water in aggregate temperatur* = 30°C , W_a : *mass of aggregate* = 1652 kg, W_c : *mass of cement* = 378 kg, W_{fa} : *mass of fly ash* = 94 kg, W_w : *mass of water* = 139 kg, W_{wa} : *mass of water in aggregate* = 4,5 kg, W_i : *mass of ice* = 46 kg. Dari data tersebut, dapat dihitung temperatur awal beton dengan es kondisi siang hari adalah:

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

$$= \frac{0,22 (32 * 1652 + 75 * 378 + 40 * 94) + 30 * 139 + 32 * 4,5 - 80 - 46}{0,22 (1652 + 378 + 94) + 139 + 4,5 + 46}$$

$$T_i = \pm 29^\circ\text{C} \text{ (suhu beton segar dengan es)}$$

Sedangkan untuk temperatur puncak adalah:

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

$$T_{max} = 29 + 12(378/100) + 6(94/100)$$

$$T_{max} = 80^\circ\text{C} \text{ (peak temperatur dengan es)}$$

3.3. Perhitungan TM dan Cycle Time

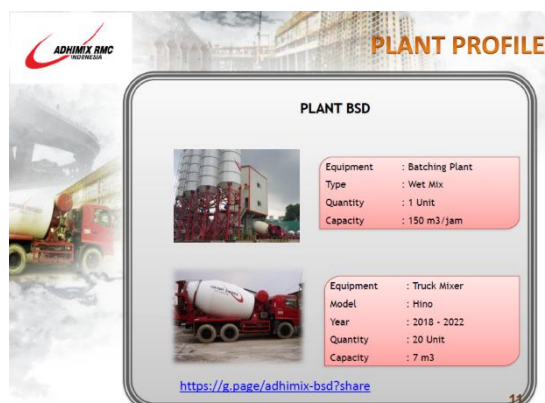
Satu Truck Mixer (TM) dengan kapasitas 7 m³, membutuhkan waktu untuk loading beton sekitar 30 menit (pembersihan TM 10 menit, Mixing time 15 menit, cek slump dan suhu beton segar 5 menit). Kemudian beton dikirim ke proyek yang berjarak 16 km dari batching plant, dibutuhkan waktu 60 menit untuk pengiriman 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 60 menit. Jadi waktu yang diperlukan untuk 1

Cycle Time Truck Mixer adalah 240 menit atau 4 jam.

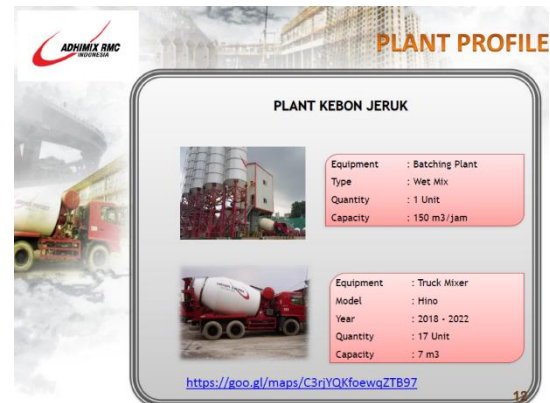
Pada pengecoran Pondasi Raft di proyek Apartemen Collins Boulevard Tahap 2 Tangerang, menggunakan 5 unit Concrete Pump, namun yang dioperasikan hanya 4 unit saja, dan 1 unit tersisa untuk cadangan bila terjadi masalah dengan salah satu concrete pump yang dioperasikan. Satu unit Concrete Pump mampu memompakan beton segar sebanyak 25 m³/jam. Jika menggunakan 4 unit Concrete Pump berarti 100 m³/jam. Karena volume pengecoran Pondasi Raft ±2100 m³, maka waktu yang diperlukan untuk pengecoran tersebut adalah $2100:100 = 21$ jam atau sekitar 1 hari.

Dengan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa pengecoran Pondasi Raft tersebut membutuhkan TM sebanyak $2100/7 = 300$ unit.

Plant-I (BSD) dan Plant-II (Kebun Jeruk) dengan jarak 16 km. Adapun kapasitas produksi dari kedua Plant tersebut adalah 300 m³/jam (@ 150 m³/jam). Selama pengecoran pondasi raft berlangsung, batching plant hanya melayani proyek Apartemen Collins Boulevard Tahap 2 Tangerang. Kapasitas produksi > total produksi pompa Ok!



Gambar 2. Plant Profile BSD
Sumber : Brosur Adhimix (2024)



Gambar 3. Plant Profile Kebun Jeruk
Sumber : Brosur Adhimix (2024)

3.4. Prinsip 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 31°C. Kemudian dilanjutkan dengan pengecekan kelecakan beton dan nilai slump, dari pengecekan slump didapat nilai slump rata-rata adalah 15-18 cm, 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 ditambah 2 cadangan, untuk pengetesan 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 100m³.

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-2, Pompa-3 dan Pompa-4 bersifat sebagai pompa utama dimana pompa tersebut hanya melayani pengecoran pada “jalurnya” saja. Sementara Pompa-1 bersifat sebagai pompa topping dan “service” untuk membantu *overlayer* pengecoran Pompa-2, Pompa-3 dan Pompa-4 sebelum terjadi ikatan awal beton. Zona 1 akan dicor selama 160 menit dengan Pompa-Pompa-2, Pompa-3 dan Pompa-4. Pompa-1 disini berperan sebagai pompa suport dan topping, untuk pompa utama yaitu Pompa-2, Pompa-3 dan Pompa-4 sehingga besar kemungkinan pengecoran di tiap segmennya kurang dari 160 menit. Sebelum melakukan pengecoran segmen 3 terlebih dahulu segmen 2 harus sudah tercor agar sekat penahan beton tidak rubuh.

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

3.5. 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.

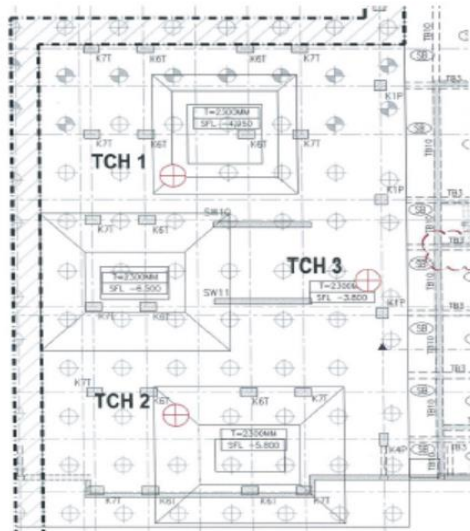
c. Styrofoam 5 cm, proses penutupan permukaan beton dengan styrofoam dilakukan suhu permukaan beton tidak dipengaruhi oleh udara yang berada di

permukaan beton, agar antar lapisan beton tidak terjadi perbedaan suhu yang diisyaratkan yaitu maksimum 20°C. Zona pengecoran nya adalah sebagai berikut: 1-2-3-4-5-6. Setelah segmen 5 selesai dicor maka Pompa-1 dapat melanjutkan pengecoran topping zona 6, dimana Pompa utama Tetap terus mundur untuk melanjutkan pengecoran. Proses selanjutnya adalah waktu monitoring temperatur setelah beton area thermocouple *setting*:

- Setiap 60 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 80°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.

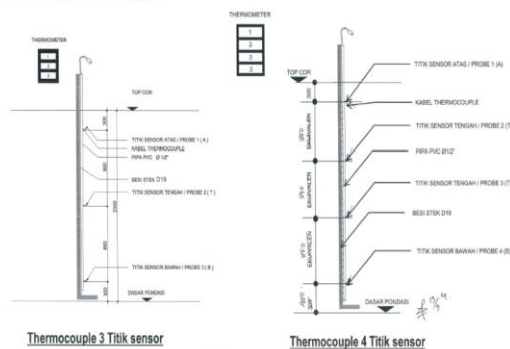
Pencatatan suhu di ambil dari 3 titik Thermo Couple, data suhu dari TC1, TC2 dan TC3 diinput datanya selama 29 hari dan dibuat tabel monitoring suhu, tabel monitoring suhu tersebut dapat dilihat pada lampiran. Dari tabel tersebut tercatat suhu tertinggi dari pengecoran Pondasi Raft tersebut adalah 92,0°C, dari tersebut beton dinyatakan harus di cek kembali dari panas retak thermal.

Setelah pengendalian suhu melebihi suhu yang dipersyaratkan, maka dilakukan coring atau pengambilan beton inti di area yang terindikasi retak thermal, lalu dilihat secara visual hasil pengambilan beton inti tersebut. Untuk kontrol mutu beton dilakukan test kuat tekan beton, pada benda uji yang sudah dibuat sebelumnya. Test tersebut dilakukan umur beton 7 hari dan didapat hasil terendah 24 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 36 Mpa.



Gambar 4. Denah titik thermocouple
Sumber : Presentasi PT. APG (2024)

4. Diagram Instalasi Thermocouple



Gambar 5. Diagram Instalasi thermocouple
Sumber : Presentasi PT. APG (2024)

3.6. Pembahasan

Melihat hasil pelaksanaan penelitian yang didapat dari pekerjaan pengendalian suhu beton massa 2100 m³, menggunakan balok es dan pengaruhnya terhadap beton,

a. Suhu beton segar yang direncanakan maksimum 32°C, dapat dicapai dengan hasil rata-rata dibawah 31°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 15-18 cm, workability tercapai dengan nilai yang sama yaitu ada dikisaran 15-18 cm, 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 raft yang cenderung rapat.

c. Temperatur puncak yang direncanakan adalah 80°C, dapat dicapai dengan nilai temperatur tertinggi adalah 92,0°C, artinya panas hidrasi puncak pada pekerjaan pondasi raft tersebut tidak dapat di-reduce. Tentunya hal tersebut akan ada peninjauan kembali pada potensi keretakan pondasi, sehingga harus di evaluasi untuk berat es dan penambahan prosentase pada *fly ash*.

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 perencanaan. 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 34,7 Mpa, hasil pengtesan kuat tekan beton pada benda uji umur 7 hari diperoleh nilai terendah 24 Mpa dan pengtesan kuat tekan beton pada benda uji umur 28 hari diperoleh nilai rata-rata diatas 36 Mpa. Artinya kuat tekan beton pada pekerjaan pondasi raft atau beton massa pada proyek Apartemen Collins Boulevard Tahap 2 Tangerang lebih tinggi 6 Mpa dari target perencanaan. Dengan demikian penelitian “evaluasi suhu beton massa 2100 m³, menggunakan balok es dan abu terbang” pada pekerjaan pondasi raft proyek Apartemen Collins Boulevard Tahap 2 Tower A Tangerang dengan hasil yang kurang baik dari sisi peak temperature yang melebihi sampai 92°C, sedangkan untuk hasil yang lainnya cukup baik.

4. 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;

4.1. Kesimpulan Penelitian

Seluruh kegiatan penelitian yang dilakukan di lapangan, dari perencanaan dan pelaksanaan *raft foundation* yang mengacu kepada; Spesifikasi teknis konsultan struktur – PT. Satu Rekayasa Optima, 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 31°C, Workability tercapai dengan slump rata-rata 15-18 cm, Temperatur puncak mencapai 92,0°C, Temperatur antar lapisan beton dengan suhu tertinggi 19,8°C, Test kuat tekan beton umur 7 hari mencapai 24 Mpa. Dengan demikian evaluasi suhu beton massa dengan menggunakan balok es dan abu terbang dapat direkomendasikan pada proyek *mass concrete* selanjutnya dengan menambah bobot es dan menambahkan abu terbang sampai 30%.

4.2. Saran-saran Penulis

Dari seluruh kegiatan pengecoran dan evaluasi suhu beton massa yang terbilang sukses dan tidak 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 perencanaan struktur, sebaiknya untuk pengecoran beton massa selanjutnya;

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

Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Optima, Satu Rekayasa. (2024). Spesifikasi Teknis Proyek Apartemen Collins Boulevard Tahap 2 Tower A, Tangerang.

Portland Cement Association. (1997). Concrete and Heat Hydration.

Santhosh R & Dr.P.Shivananda. (2017). *Review of Concrete Mix Design*.

John Gajda & Martha Vangeem (2012). Controlling temperatures in Mass Concrete

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

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (2006). ACI Committee 207.1R-05 Guide to Mass Concrete.

American Concrete Institute. (1993). ACI Committe ASTM 207.4R-93 Cooling and insulating System for Mass Concrete.

American Standard Testing Material. (2017). ASTM Committee ASTM C 186 Heat of hydration for selected portland cements.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019 *Persyaratan Beton Struktural Untuk*