

Metode Pengendalian Suhu Beton Massa Pekerjaan Pengecoran Pile Cap Jembatan dengan Pengaliran Air Laut Menggunakan Pipa-pipa PVC didalam Beton

Studi Kasus : Pengecoran Pile Cap Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek

Ruminsar Simbolon¹⁾, Heri Sutanto²⁾

¹⁾Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: ruminsar_15@yahoo.co.id

²⁾Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda

Abstrak

Pengecoran konstruksi beton volume besar dan tebal yang diklasifikasikan sebagai beton massa perlu perlakuan khusus, mulai dari proses persiapan dan pelaksanaan. Maksimum temperature puncak dibatasi sampai sebesar 70 °C dan perbedaan temperature ≤ 20 °C. Pada umumnya perbedaan suhu (lebih dari 20°C) diantara layer beton akan menyebabkan retak thermal. Pile cap pondasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek termasuk jenis beton massa karena ukuran Ketebalan lebih dari 4 kaki atau 1,3 m (ACI,2010). Berdasarkan hasil analisa temperature puncak yang terjadi sebesar 78.860C melebihi temperature maksimum beton 700C, sehingga perlu dilakukan system pendingin beton pada pile cap. Sistem pendingin yang digunakan adalah metode penyiraman agregat dan pengaliran air melalui pipa-pipa didalam beton. Dari hasil pengamatan thermocouple, suhu dilapisan atas tertinggi yang terjadi mencapai 56 °C, sedangkan suhu dilapisan tengah tertinggi mencapai 67°C, dan suhu lapisan bawah adalah 61°C. hal ini masih masuk dalam syarat maksimum temperature puncak sebesar 70 °C dan perbedaan temperature ≤ 20 °.

Kata Kunci: Beton massa, beton segar, temperature.

ABSTRACT

The casting of large-volume and thick concrete construction classified as mass concrete needs special treatment, starting from the preparation and implementation process. The maximum peak temperature is limited to 70 °C and the temperature difference ≤ 20 °C. In general, the temperature difference (more than 20°C) between the concrete layers will cause thermal cracking. The pile cap foundation of the Short Span Balang Island Bridge is a type of mass concrete because of its size, thickness is more than 4 feet or 1.3 m (ACI, 2010). Based on the results of the analysis, the peak temperature that occurred was 78,860C exceeding the maximum temperature of 700C concrete, so it was necessary to carry out a concrete cooling system on the pile cap. The cooling system used is an aggregate watering method and water flow through pipes in concrete. From the observation results of the thermocouple, the highest temperature in the upper layer reached 56 °C, while the temperature in the middle layer reached 67°C, and the temperature of the lower layer was 61°C. This is still included in the maximum requirement of peak temperature of 70 °C and a temperature difference of ≤ 20 °.

Keywords: Mass concrete, fresh concrete, temperature.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

1. Sering dijumpai pelaksanaan struktur beton dengan volume pekerjaan yang besar atau dikenal dengan beton massa (mass concrete) pada pekerjaan pembangunan bangunan gedung dan jembatan. 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 85oC pada bagian dalamnya. Karena beton mempunyai sifat Poor Thermal Conductivity”, maka suhu ini tidak cepat turun pada beton

yang mempunyai dimensi cukup besar/tebal, 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 penelitian ini meninjau pengaruh penggunaan metode Penyiraman Agregat dan Pengaliran Air didalam beton melalui pipa-pipa terhadap kenaikan temperatur yang terjadi terhadap ketebalan elemen beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Massa

Beton massa adalah beton dengan volume cukup besar sehingga diperlukan langkah-langkah untuk mengatasi peningkatan panas dari proses hidrasi semen dan perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan. Beton dengan ketebalan lebih besar dari 1,3 meter atau 4 feet diperlukan perhatian khusus terhadap perubahan temperatur. Beton massa berkembang dengan pesat pada tahun 1930-1970, perkembangan tersebut tidak lepas dari banyaknya konstruksi dam pada periode tersebut. Catatan konstruksi beton massa pada periode tersebut menunjukkan pengaruh hidrasi semen terhadap temperatur internal. Beton massa umumnya diaplikasikan untuk bendungan, tetapi suatu konstruksi dengan massa beton yang besar dapat dikategorikan sebagai beton massa, seperti raft foundation, bridge piers, thick slabs, dll. 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. Tegangan yang terjadi dikhawatirkan melampaui kuat tarik beton, sehingga dapat menimbulkan retak. Temperatur puncak yang terjadi pada umur awal beton membutuhkan perhatian khusus, dimana

temperatur puncak yang terlalu tinggi dapat menimbulkan delay ettringite formation (DEF) dan tidak tercapainya kekuatan beton massa.

2.2. Panas Hidrasi dan Thermal Cracking

Semen portland yang bercampur dengan air akan terjadi reaksi yang disebut proses hidrasi. Pada proses ini akan terjadi pelepasan panas yang disebut panas hidrasi. Kemampuan suatu benda untuk melepaskan panas tergantung pada besarnya “Thermal Conductivity” dan volume benda tersebut, semakin besar volume semakin besar panas yang dihasilkan tetapi semakin lambat benda tersebut melepaskan panas. Struktur dengan ketebalan kecil seperti perkerasan jalan, panas yang hilang hampir sama dengan panas yang dihasilkan sehingga temperatur pada beton dapat terkontrol. Beton mempunyai sifat “Poor Thermal Conductivity” sehingga beton dengan volume yang besar memerlukan waktu yang relatif 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. Semen portland memiliki komposisi kimia; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, SO₃, C₃A, C₃S, C₂S, dan C₃AF. Proporsi komposisi kimia yang tergantung dari jenis semen. Komposisi utama dari semen portland adalah C₃S, C₂S, C₃A dan C₃AF. Setiap komposisi utama kimia dalam semen portland memberikan kontribusi panas yang berbeda.

Tabel 2.1. *Standard requirements for portland cement*

Type of Cement	SiO ₂ min	Al ₂ O ₃ max	Fe ₂ O ₃ max	SO ₃ C ₃ A<8	SO ₃ C ₃ A<8	C ₃ S max	C ₂ S min	C ₃ A max
Type I When Special properties specified for any other type are not required	-	-	-	3	3.5	-	-	-
Type II When moderate sulfate resistance or moderate heat of hydration is desired	20	6	6	3	-	58*	-	8
Type III When high early strength is desired	-	-	-	3.5	4.5	-	-	15
Type IV When low heat of hydration is desired	-	-	6.5	2.3	-	35	40	7
Type V When high sulfate resistance is desired	-	-	-	2.3	-	-	-	5

(Sumber : AASHTO, 2005)

Komposisi kimia setiap tipe semen berbeda-beda sehingga panas yang dihasilkan berbeda untuk setiap tipe semen. Tricalcium Silicate (C₃S) dan Tricalcium Aluminate (C₃A) menghasilkan panas lebih banyak dan lebih cepat terjadi proses hidrasi dibandingkan komposisi kimia yang lain. Jumlah pemakaian semen mempengaruhi panas yang dihasilkan, semakin banyak penggunaan semen semakin tinggi panas yang dihasilkan. Pengendalian suhu dalam beton sangat penting untuk mencegah terjadinya retak, delay ettringite formations, dan

kerusakan lainnya. Suhu pada permukaan beton massa lebih kecil dibandingkan dengan suhu inti karena berhubungan dengan suhu lingkungan. Perbedaan suhu yang besar menginduksi tekanan ke permukaan, jika tekanan yang terjadi malampaui kuat tarik beton maka dapat menimbulkan retak. Untuk mengurangi lebar dan kedalaman retakan yang terjadi pada beton massa dapat dikurangi dengan pendetailan tulangan pada beton massa. Pendekatan sederhana untuk menentukan batas dari thermal strain yang dapat menyebabkan retak, berdasarkan pendekatan terhadap suhu dengan thermal expansion dari beton dan restraint, dimana : Retak tidak terjadi pada kondisi

$$\varepsilon_r < \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_r = \text{Thermal Strain}$$

$$\varepsilon_t = \text{Tensile Strain Capacity}$$

Tegangan tarik yang terjadi dapat diturunkan dari hukum Hooke:

$$\sigma_t = E \cdot \varepsilon_r$$

$$\varepsilon_r = K \alpha_c \Delta T R$$

Dimana:

K = modification factor (0,8)

α_c = Koefisien thermal expansion beton

ΔT = Perubahan temperatur

R = Restraint factor (0 = unrestrained; 1 = full restraint)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

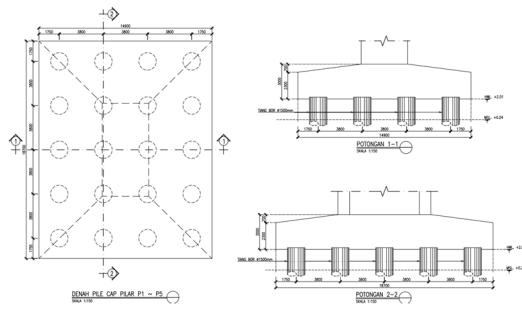
Lokasi Penelitian ini dilakukan pada pekerjaan pembangunan duplikasi jembatan Pulau Balang bentang pendek, Kabupaten Penajam Paser Utara Kalimantan Timur, yang dibangun untuk mendukung pembangunan IKN di Propinsi Kalimantan Timur.



Gambar 3.1 Lokasi pembangunan duplikasi jembatan pulau balang bentang pendek
Sumber: Penulis (2024)

3.2. Pile Cap Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek

Beton massa yang ditinjau adalah pile cap jembatan duplikasi pulau balang bentang pendek sebuah proyek pembangunan jembatan yang dibangun untuk menunjang transportasi dari kota madya Balikpapan menuju Ibukota Nusantara di Kabupaten Penajam. Pengecoran pile cap menggunakan Beton massa $f_c' = 40$ MPa, ukuran agregat maksimum ≤ 20 mm, dan kadar semen maksimum ≤ 420 kg/m³. Tinggi pile cap bervariasi dari 2,3 meter sampai 3 meter dengan panjang 18,7 meter dan lebar 14,9 meter. Proses pengecoran pilecap ini menggunakan 2 alat concrete pump dengan jumlah Truck Mixer sebanyak 10 unit, dimana waktu mulai dari TM mengisi dan tuang sekitar 35 menit dari batching plant, dengan sirkulasi TM 10 unit untuk 2 Lokasi dan 2 Batching Plant tidak terdapat antrian atau waktu tunggu pada saat pengecoran dilakukan. Jarak antar concrete pump dengan Lokasi kerja sekitar 50 m, sehingga durasi pengiriman serta kebutuhan TM yang diperlukan lebih terjaga. Estimasi durasi pengecoran dengan asumsi Kapasitas produksi untuk setiap batching plant adalah 20 m³ per jam, sehingga jika menggunakan 2 batching plant untuk pengecoran 540 m³ akan memakan waktu 13.5 jam (asumsi 5 TM untuk masing-masing batching plant). Data stock material pada Batching Plant akan dipersiapkan saat mendekati jadwal pengecoran untuk memastikan material serta aditif tersedia sesuai dengan kebutuhan pilecap tersebut. Varian setting time juga dilakukan untuk mengakomodir agar beton dapat setting dalam waktu yang sama.



Gambar 3.2 Detail pile cap jembatan duplikasi bentang pendek pulau balang

3.3. Pelaksanaan Metode Instalasi Cooling Sistem

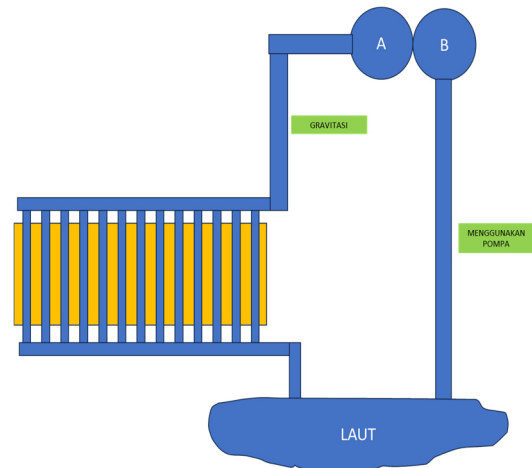
Berdasarkan ACI 207 2R-07, analisa estimasi temperature awal dan puncak dapat ditentukan. Berdasarkan hasil analisa temperature puncak yang terjadi pada pile cap Duplikasi Jembatan Bentang Pendek Pulau Balang sebesar 78.860C, melebihi temperature maksimum beton 700C, sehingga perlu dilakukan system pendingin beton pada pile cap untuk menghindari beton tersebut mengalami retak sebagai akibat dari pelepasan panas hidrasi semen portland.

$$T_i = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c + T_{fa} W_{fa}) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0.22(W_a + W_c + W_{fa}) + W_w + W_{wa}}$$

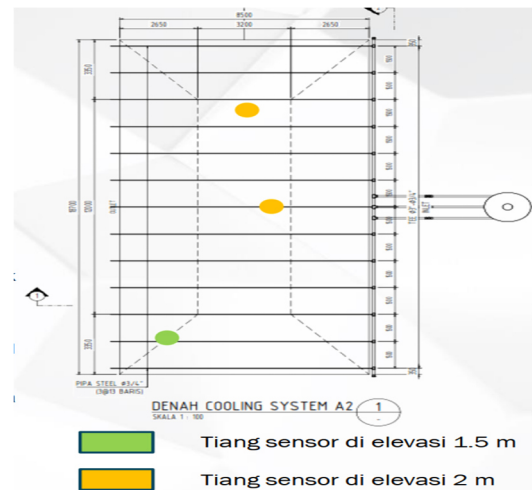
$$T_i = \frac{0.22(28 \times 1696.1 + 50 \times 320 + 28 \times 180) + 25 \times 159.6 + 0}{0.22(1696.1 + 320 + 180) + 159.6 + 0} = 29.66^\circ\text{C}$$

$$T_p = T_i + 12 \frac{W_c}{100} + 6 \frac{W_{fa}}{100} = 29.66 + 12 \frac{320}{100} + 6 \frac{180}{100} = 78.86^\circ\text{C}$$

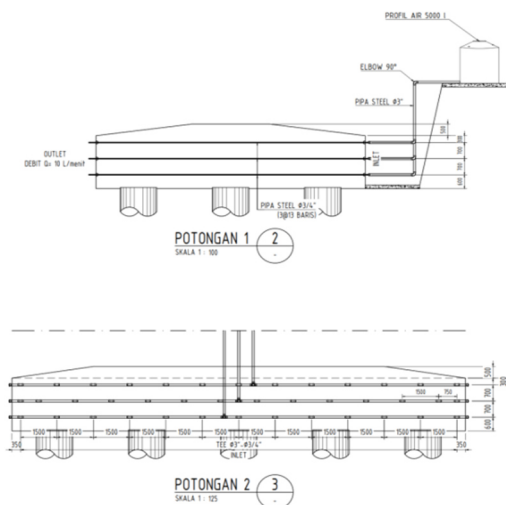
Cooling System dilakukan dengan metode mass concrete post - cooling system yang mana instalasi pipa PVC dikerjakan bersamaan dengan instalasi pembersian dan bekisting pilecap. Pendinginan beton didapatkan dari pipa yang dialiri air untuk menurunkan temperatur di pusat struktur beton. Penentuan spasi pipa mengikuti ACI 207 4R-05. Pengontrolan temperatur untuk mengamati perbedaan suhu yang terjadi di dalam beton massa di lakukan dengan menanamkan themocouple pada lapisan permukaan beton, tengah dan dasar dan melakukan pengukuran temperatur serta temperature ambient. Penanaman thermocuple memberikan pembacaan temperatur pada tiap lapisan sehingga dapat diperoleh temperatur puncak setiap bagian dan perbedaan temperatur antar lapisan.



Gambar 3.3 Alur Pelaksanaan cooling system



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a)(b) Metode Kerja Pelaksanaan Cooling System

Sumber air menggunakan air laut pada bagian bawah dan pada bagian dalam untuk mengejar suhu air yang tidak terdampak dari cuaca. Pompa yang digunakan untuk menarik air ke tandon adalah pompa submersible. Sistem pendingin beton pada pilecap Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek diaplikasikan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Menggunakan pipa dengan spasi horizontal pipa maksimal sebesar 150 cm (3.94 ft) dan spasi vertikal pipa maksimal sebesar 85 cm (2.79 ft)
2. Debit air yang dialirkan pada pipa minimal sebesar 10 L/menit (2.64 gal/min)
3. Suhu air yang dialirkan maksimal sebesar 25°C
4. Waktu mengalirkan air pada pipa minimal selama 7 hari
5. Pasca curing beton pilecap selama 7 hari tercapai, maka lubang pada pipa-pipa pendingin diisi kembali dengan beton anti susut atau grouting dengan mutu minimal setara dengan mutu beton pilecap tersebut. Tindakan tersebut dapat mencegah potensi terganggunya jalur geser (sesuai AASTHO pasal 5.13.2.5.4-1 Design of Beam Ledges for Punching Shear) akibat punching shear pada pilecap.

Urut-urutan metode pelaksanaan dan pemasangan cooling system pada pekerjaan pengecoran pile cap Jembatan Dupilasi Pulau Balang bentang pendek dijelaskan pada gambar 5 sampai Gambar 13 sebagai berikut,

1. Mempersiapkan area kerja dan alat (Gambar 5)
2. Penghamparan urugan pasir setebal $t=15$ cm (Gambar 6)
3. Pekerjaan Lean Concrete Beton $F_c'10$ MPa (Gambar 7)
4. Pekerjaan Pembesian Pilecap BjTs 420 B (Gambar 8)
5. Pekerjaan Pembesian Kolom (Gbr 9)
6. Pembuatan Cooling System (Gambar 10)
7. Water Management Cooling system dilakukan dengan mempersiapkan pompa submersible, tandon air, pipa pvc dan mengalirkan air (sirkuler) selama 5 hari dan menyediakan buangan air agar tidak terjadi genangan pada area pilecap serta suhu beton terjaga (Gambar 11)
8. Pekerjaan pemasangan bekisting Pilecap (Gambar 12)
9. Pekerjaan Pengecoran Pilecap Beton $F_c'40$ Mpa dengan 1 CP Mobile dan 1 CP Kodok yang dilakukan secara bertahap/ per layer (per 50 cm) (Gambar 13)
10. Pengamatan/monitoring Suhu beton setiap interval 30 menit selama 7 hari dipastikan maksimum 70 °C dan saat pengecoran dipastikan tidak terjadi perbedaan lebih dari 20 °C (Gambar 14)

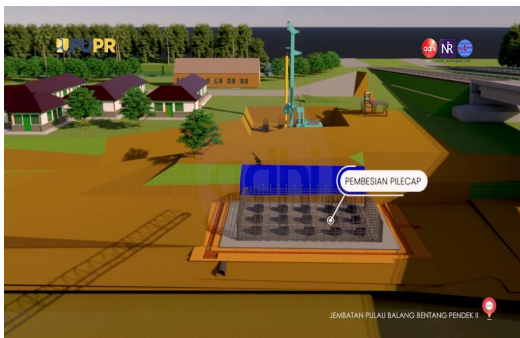
Gambar 3.6 Penghamparan urugan pasir ($t=15$ cm)



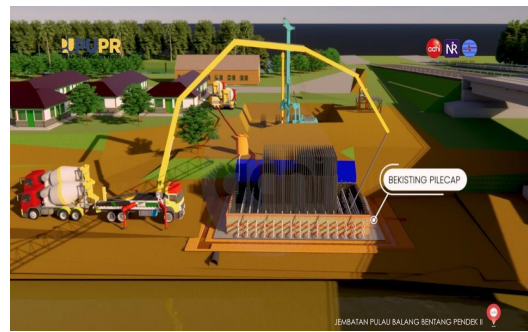
Gambar 3.5 Persiapkan area kerja dan alat



Gambar 3.7 Pekerjaan Lean Concrete Beton $F_c'=10$ MPa



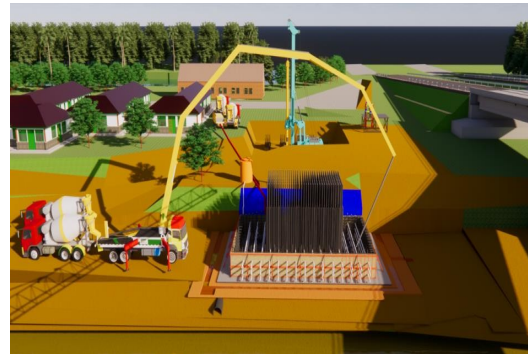
Gambar 3.8 Pekerjaan Pembesian Pilecap BjTs 420 B



Gambar 3.12 Pekerjaan Bekisting Pilecap



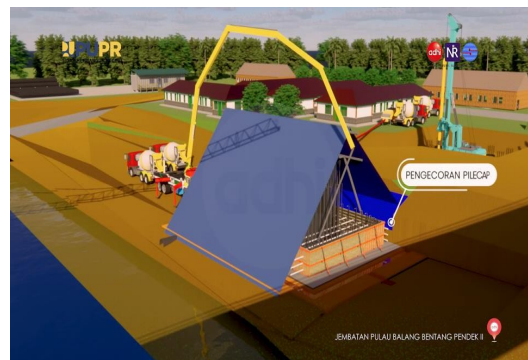
Gambar 3.9 Pekerjaan Pembesian Kolom



Gambar 3.13 Pekerjaan Pengecoran Pilecap secara per layer 50 cm



Gambar 3.10 Pemasangan pipa PVC untuk Cooling System



Gambar 3.14 Monitoring suhu setiap interval 30 menit selama 7 hari



Gambar 3.11 Pemasangan pompa submersible, Dan tandon air untuk mengalirkan air (sirkuler)

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Resume hasil monitoring suhu dapat dilihat pada Table 1. Secara keseluruhan perbedaan suhu hasil pembacaan thermocouple di dalam beton $\pm 15^{\circ}\text{C}$, masih lebih kecil dari perbedaan suhu yang disarankan 20°C . Perbedaan suhu antara inti dan atas tersebut dapat menjadi pemicu terjadinya retak mikro di bagian dalam beton terutama pada interfacialzone antara binder dengan agregat, karena adanya tegangan pada permukaan beton yang dapat menimbulkan retak dalam jangka panjang. 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 55°C). Pengamatan suhu di lapangan dilakukan selama 175 jam (kurang lebih 7 hari umur beton), dengan suhu akhir pengamatan adalah masih di atas suhu ambient. Memperhatikan hasil pelaksanaan penggunaan metode Pengendalian Suhu Beton Massa Pekerjaan Pengecoran Pile Cap Jembatan duplikasi Pulau Balang bentang pendek dengan Penggunaan pipa PVC

Tabel 1. Resume hasil monitoring suhu

Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
Titik TC-1										
Atas (A)	58	58	56	55	54	54	54	53	54	55
Tengah (T)	68	67	66	65	65	65	65	64	65	66
Bawah (B)	64	63	62	61	59	59	59	59	60	61
Udara (U)	27	26	26	25	27	30	34	34	30	28
A-U	31	32	30	30	26	24	20	19	24	27
T-A	10	9	10	10	11	11	11	11	11	11
T-B	4	4	4	4	5	6	6	5	5	5
TC-2										
Atas (A)	60	59	58	58	57	55	55	55	56	56
Tengah (T)	68	67	66	65	64	63	63	64	65	66
Bawah (B)	59	59	58	57	57	56	56	57	58	58
Udara (U)	27	26	26	26	27	30	34	34	30	29
A-U	33	33	32	32	30	25	21	21	26	27
T-A	8	8	8	7	7	8	8	9	9	10
T-B	9	8	8	8	7	7	7	7	7	8
TC-3										
Atas (A)	54	54	53	54	54	53	53	54	55	56
Tengah (T)	68	68	67	66	67	65	65	66	67	67
Bawah (B)	67	59	58	57	57	56	60	61	60	61
Udara (U)	26	26	26	26	27	30	34	34	30	29
A-U	28	33	32	32	30	25	19	20	25	27
T-A	14	8	8	7	7	8	17	12	12	10
T-B	6	6	6	6	6	5	5	5	7	8

didalam beton yang dialiri Air Laut, serta Pengecoran yang dilakukan per lapisan pengaruhnya terhadap beton adalah,

a. Resume hasil monitoring suhu dapat dilihat pada Table 3. Pada thermocouple secara keseluruhan perbedaan suhu di dalam beton ±15°C.

b. Suhu beton segar dapat dicapai dengan hasil rata-rata dibawah 29.66°C.

c. Nilai slump yang direncanakan 16±2, workability tercapai dengan nilai yang sama yaitu ada dikisaran 16±2, dimana nilai slump tersebut bertujuan untuk memudahkan workability pada saat masih didalam pipa Concrete Pump, memudahkan penuangan beton segar ke dalam pilecap dan memudahkan pekerjaan pemadatan beton

d. Temperatur puncak yang direncanakan adalah 78.86°C, dapat dicapai dengan nilai temperatur tertinggi adalah 68°C, artinya panas hidrasi puncak pada pekerjaan pondasi raft tersebut dapat direduce hingga 9.14°C. Tentunya hal tersebut dapat mengurangi potensi keretakan pondasi

e. Temperatur antar lapisan beton direncanakan maksimum 20°C, diperoleh nilai rata-rata dibawah 15°C. Hal ini terbantu oleh pengaturan suhu air yang dimasukkan kedalam pipa PVC. Karena nilai suhu rata-rata di bawah 20°C, maka pengecoran pile cap tersebut aman dari keretakan yang disebabkan oleh panas hidrasi beton.

f. Target kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 40 Mpa dapat dipenuhi dengan nilai rata-rata 43,5 MPa. Artinya kuat tekan beton pada Pengecoran Pile Cap Jembatan duplikasi Pulau Balang bentang pendek dengan Penggunaan pipa PVC didalam beton yang dialiri Air Laut lebih tinggi 3.5 Mpa dari target perencanaan. Dengan demikian penelitian “pengendalian suhu

beton massa, menggunakan pipa PVC didalam beton yang dialiri Air Laut” pada pekerjaan Pengecoran Pile Cap Jembatan duplikasi Pulau Balang bentang pendek dengan hasil yang cukup baik

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan pembacaan suhu pada thermocouple, dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan pipa PVC didalam beton yang dialiri Air Laut dappat berfungsi sebagai berikut ;

1. Temperatur tertinggi yang terjadi adalah 68°C, lebih rendah 10.860 dari perkiraan suhu yang terjadi berdasarkan analisa sebesar 78.86°C,

- Temperatur ini masih lebih kecil dari yang dipersyaratkan sebesar 70 °C
2. sedangkan Suhu beton segar yang terjadi rata-rata dibawah 29.66°C lebih rendah dari Suhu beton segar yang direncanakan sebesar 33°C.
 3. Secara keseluruhan perbedaan suhu di dalam beton $\pm 15^{\circ}\text{C}$ masih lebih rendah dari perbedaan suhu yang disarankan 20 °C, untuk mencegah terjadinya retak thermal

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu:

1. Dalam proses pengecoran dan pengendalian suhu beton massa menggunakan pipa PVC didalam beton yang dialiri Air Laut banyak dipengaruhi oleh faktor cuaca, maka sebaiknya disarankan untuk melaksanakan pengecoran pada malam hari.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan membuat benda uji tanpa penggunaan alat pengendali suhu untuk melihat dampak dari suhu puncak yang dijadikan acuan terhadap kelayakan struktur guna dijadikan solusi dalam perbaikannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Dede Pardede, Fatmawati Oemar. (2020). Pengendalian Suhu Beton Massa 3500m³ Menggunakan Balok Es Dan Pengaruhnya Terhadap Beton : Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur Vol. 19 No. 2 (2020): November 2020
2. Rochaeti, Jul Endawati, Lilian Diasti Dessi Widuri dan Moeljon Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type II Terhadap Ketebalan Elemen Beton : Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, Nomor 2 Volume 16 – Juli 2014, hal: 183– 19.
3. Melky Suryawijaya (2012). Study pengaruh temperature beton massa dengan ketebalan 4 meter : Skripsi Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia