



Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Pile Cap Pada Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek

Yusuf Suranto¹, Olvi Pamadya²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri, Kediri, Indonesia

Email: yusufsuranto@students.kahuripan.ac.id¹, olvikusuma@kahuripan.ac.id²

Abstrak

Untuk mengurangi resiko retak *thermal* di pengecoran *mass concrete* pada pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2020 mendefinisikan beton bervolume besar (*mass concrete*) dengan dimensi terkecil sama atau lebih besar dari 1 m atau komponen struktur dengan ukuran yang lebih kecil dari 1 m tetapi mempunyai potensi menghasilkan temperatur maksimum melebihi batas temperatur yang diizinkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode pendinginan yang digunakan dalam pengecoran pile cap diproyek Jembatan Pulau Balang. Metode penelitian ini adalah observasional dengan pendekatan kuantitatif, dimana data suhu beton massa dikumpulkan menggunakan termometer dan thermocouple selama proses pengerasan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu maksimum beton massa yang terukur berada dalam batas yang diizinkan, maksimal perbedaan suhu antar lapisan beton sebesar 30°C dan di proyek ini didapatkan maksimum deviasi perbedaannya adalah sebesar 9,05° C . Metode pendinginan yang diterapkan, seperti pemasangan *cooling sytem*, penambahan balok es, insulasi permukaan dengan styrofoam dan plastic cor, efektif dalam menjaga suhu beton dalam batas aman dalam mencegah retak *thermal*. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengendalian suhu beton massa untuk memastikan kualitas dan keamanan struktur beton. Jika pemilihan metode pendinginan tidak tepat maka akan terjadi retak *thermal*, *delay ettringite formations*, dan kerusakan lainnya didalam *mass concrete*.

Kata Kunci: Beton Massa; Metode Pendinginan; Suhu Beton; Retak *Thermal*; Jembatan Pulau Balang

ABSTRACT

To reduce the risk of thermal cracking in mass concrete casting in road and bridge construction work, the Directorate General of Highways in 2020 defines mass concrete with the smallest dimensions equal to or greater than 1 m or structural components with a size smaller than 1 m but has the potential to produce a maximum temperature exceeding the permissible temperature limit. This study aims to analyze the cooling method used in pile cap casting in the Balang Island Bridge project. This research method is observational with a quantitative approach, where mass concrete temperature data is collected using a thermometer and a thermocouple during the concrete hardening process. The results show that the maximum temperature of the measured mass concrete is within the permissible limit, the maximum temperature difference between concrete layers is 30°C and in this project the maximum deviation of the temperature difference is 9.05°C. The cooling methods applied, such as the installation of cooling sytem, the addition of ice blocks, surface insulation with styrofoam and cast plastic, are effective in keeping the temperature of the concrete within safe limits in preventing thermal cracking. This research makes an important contribution to the temperature control of mass concrete to ensure the quality and safety of concrete structures. If the cooling method is not chosen correctly, thermal cracks, delay ettringite formations, and other damage will occur in the mass concrete

Keywords: Mass Concrete; Cooling Methods; Concrete Temperature; Thermal Cracking; Balang Island Bridge

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling umum digunakan dalam berbagai proyek, termasuk jembatan, jalan, dan bangunan gedung. Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBK 2020) menerbitkan Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) yang membatasi temperatur maksimum yang diizinkan pada beton bervolume besar sebesar 71°C dan Perbedaan temperatur maksimum yang diizinkan 21°C , kecuali bisa dibuktikan dengan analisis bahwa struktur beton mampu mengakomodasi perbedaan temperatur yang lebih besar dari 21°C . Permasalahan ini dapat berdampak pada kualitas dan keamanan struktur beton, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menemukan solusi yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu puncak yang diizinkan pada pekerjaan *mass concrete*, selisih suhu pada tiap lapisan *mass concrete* yang diperbolehkan, serta pengaruh dan perilaku suhu *mass concrete* terhadap ketebalan serta kondisi suhu udara di area proyek.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dapat menurunkan nilai temperatur maksimal beton saat waktu pengerasan. Namun, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas metode pendinginan beton pada pekerjaan beton pilecap di lapangan. Secara ilmiah dimungkinkan penggunaan *fly ash* hingga mencapai 60% dari total sementitus (Hemalatha and Ramaswamy, 2017). Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan kimia dan fisik sesuai kandungan kapur kurang dari 10%.

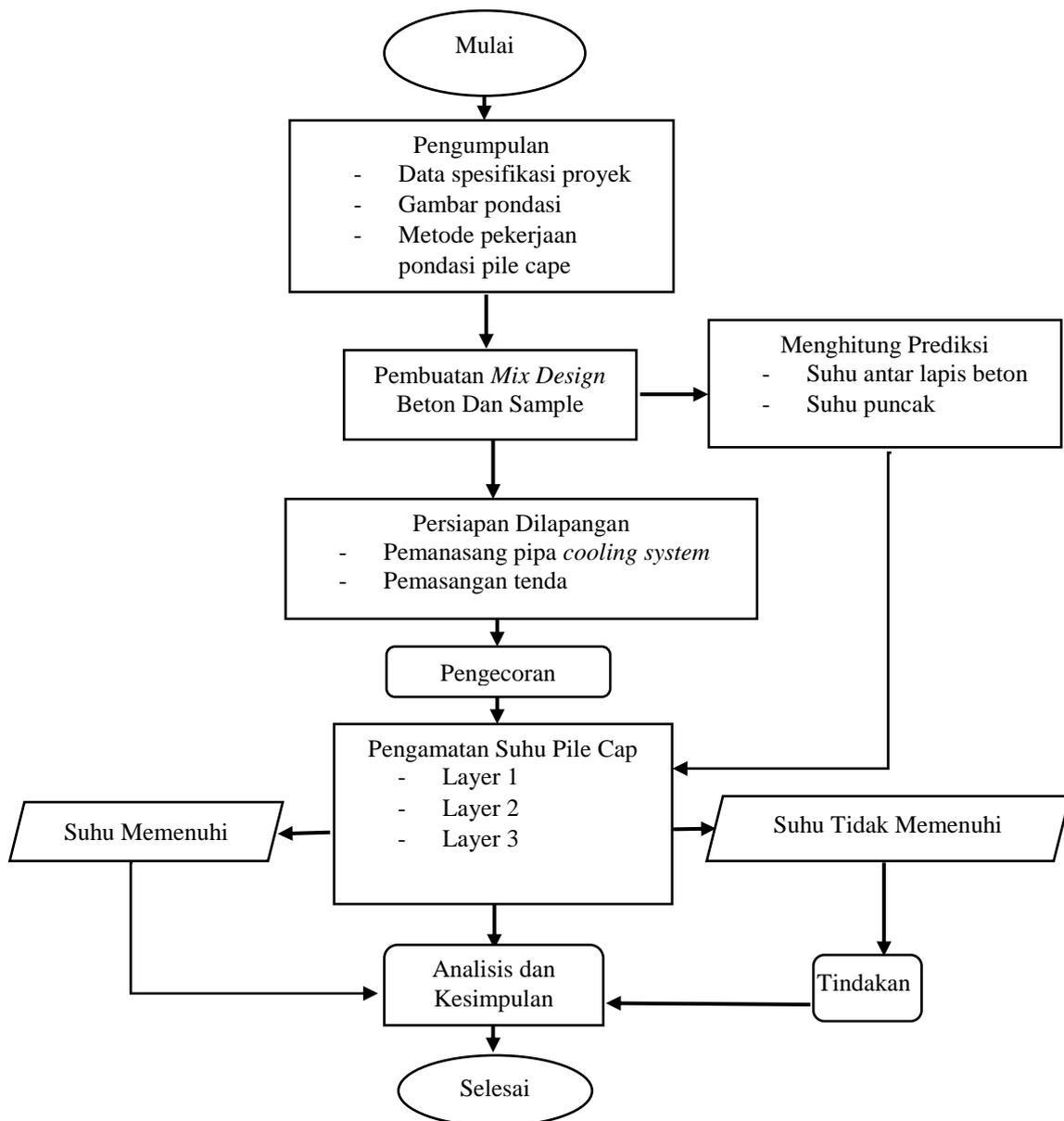
Dalam penelitian ini, dilakukan kajian tentang metode pendinginan beton pada pekerjaan beton pilecap di proyek Jembatan (Duplikasi) Pulau Balang Bentang Pendek. Selain itu juga faktor-faktor yang mempengaruhi proses pendinginan tersebut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kualitas dan keamanan struktur beton, serta memberikan solusi yang efektif untuk permasalahan yang dihadapi dalam pelaksanaan konstruksi beton massa (*mass concrete*).

2. METODE

Desain penelitian observasional yang akan digunakan untuk penelitian ini dan berfokus pada analisis suhu dan reaksi dalam beton massa (*mass concrete*) selama proses pengerasan. Maksimum perubahan suhu (*thermal shock*) yang dapat menyebabkan terjadinya kontraksi dan mengakibatkan retak adalah $40^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ (ACI.207, 2002; ACI 207, 1997).

Penelitian ini dilakukan pada proyek Jembatan (Duplikasi) Pulau Balang Bentang Pendek dengan menggunakan beberapa tahapan dan metode pengumpulan data yang sistematis.

Jenis penelitian ini adalah penelitian observasional dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisis suhu beton selama proses pengerasan serta efektivitas metode pendinginan yang digunakan. Subyek penelitian ini adalah beton massa yang digunakan pada pondasi pile cap di proyek Jembatan Pulau Balang. Observasi dilakukan terhadap suhu beton pada berbagai lapisan selama proses pengerasan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data dikumpulkan melalui beberapa tahapan observasi yang meliputi:

1. Pengumpulan data proyek meliputi data spesifikasi proyek, gambar pondasi, dan metode pekerjaan pondasi pile cap.
2. Pengamatan suhu beton dengan mengukur menggunakan termometer untuk suhu awal beton dan thermocouple untuk suhu di tiap lapisan beton massa.
3. Monitoring thermocouple menggunakan tabel monitoring untuk mencatat suhu yang dihasilkan oleh tiap lapisan beton.

Langkah-langkah analisis yang dilakukan meliputi:

1. Prediksi suhu awal dan suhu puncak dengan menggunakan metode PCA atau metode U.S Bureau Reclamation untuk memprediksi suhu awal dan suhu puncak. Data yang dibutuhkan termasuk suhu agregat, suhu semen, suhu *fly ash*, suhu air, berat semen, berat air, dan komposisi beton lainnya.
2. Mengnalisis pengamatan suhu pondasi pilecap dengan mencatat semua suhu beton yang datang dan suhu yang dihasilkan oleh tiap lapisan beton massa.

Pengujian keabsahan data dilakukan dengan memastikan bahwa alat ukur yang digunakan (termometer dan thermocouple) dalam kondisi baik dan terkalibrasi. Selain itu, data yang diperoleh dari pengamatan dicatat secara sistematis dan dianalisis menggunakan metode yang telah disesuaikan dengan standar penelitian yang berlaku. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat mengenai suhu beton selama proses pengerasan serta efektivitas metode pendinginan yang diterapkan pada proyek Jembatan Pulau Balang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Menurut standard ACI 207.1R-96 tentang *mass concrete* terdapat batasan nilai temperatur antar lapisan (udara, atas, tengah, bawah) yaitu tidak lebih dari 20°C. Kontraktor pelaksana harus menentukan metode perencanaan dalam pelaksanaan pengecoran pile cap. Acuan untuk perencanaan harus mengetahui initial temperatur yang didapatkan dari perhitungan temperatur *mass concrete* yaitu jumlah waktu temperatur tertinggi, suhu tertinggi pada temperatur puncak, kehilangan temperatur, dan tegangan yang terjadi dalam beton massa. Untuk perencanaan bisa menggunakan contoh perhitungan dalam memperkirakan

temperatur yang terjadi dari hasil mix desain. Perhitungan temperatur pile cap proyek Proyek Jembatan (Duplikasi) Pulau Balang Bentang Pendek metode yang digunakan adalah PCA initial temperatur.

Kontraktor bersama *supplier* beton biasanya menggunakan metode PCA untuk dasar memprediksi temperatur saat pekerjaan *mass concrete* dilaksanakan. Dari data-data laboratorium yang di peroleh *supplier* beton PT. Sarana Jagadhita Sejahtera memprediksi initial temperatur dan temperatur puncak berikut ini :

Perkiraan suhu (T0) Waktu malam hari

- Ta = 29.2° C (suhu *agregate*)
- Tc = 70° C (suhu semen)
- Tf = 54° C (suhu *fly ash*)
- Tw = 29,4° C (suhu air)
- Wi = 0 Kg (berat es) tanpa penambahan es
- Wa = 1.771 Kg (berat *agregate*)
- Wc = 299 Kg (berat semen)
- Wf = 70 Kg (berat *fly ash*)
- Ww = 180 lt (berat air tambah)
- Wwa = 28 lt (berat air teresap)
- L = 80° C (rasio es *equivalent*)

Dari data di atas maka didapatkan perkiraan suhu awal :

$$\begin{aligned}
 T0 \text{ Rencana} &= 0.22 (Ta Wa + Tc Wc + Tf Wf) + Tw Ww + Ta Wwa - L Wi \\
 &= 0.22 (Wa + Wc + Wf) + Ww + Wwa + Wi \\
 &= 0.22 (29.2 \times 1.771 + 70 \times 229 + 54 \times 70) + 29.4 \times 180 + 29.4 \times 28 - 80 \times 0 \\
 &= 0.22 (1.771 + 299 + 70) + 180 + 28 + 0 \\
 &= 32.22° C \text{ (suhu minimum)}
 \end{aligned}$$

Perkiraan suhu (To) Waktu siang hari

- Ta = 32.0° C (suhu *agregate*) disiram
- Tc = 70° C (Suhu semen)
- Tf = 54° C (suhu *fly ash*)
- Tw = 29.4° C (suhu air)
- Wi = 0 Kg (berat es) tanpa es

- W_a = 1.771 Kg (berat *agregate*)
- W_c = 299 Kg (berat semen)
- W_f = 70 Kg (berat *fly ash*)
- W_w = 180 lt (berat air tambah)
- W_{wa} = 28 lt (berat air teresap)
- L = 80° C (rasio es *equivalent*)

Dari data di atas maka didapatkan perkiraan suhu awal :

$$\begin{aligned}
 T_o \text{ Rencana} &= 0.22 (T_a W_a + T_c W_c + T_f W_f) + T_w W_w + T_a W_{wa} - L W_i \\
 &= 0.22 (W_a + W_c + W_f) + W_w + W_{wa} + W_i \\
 &= 0.22 (32 \times 1.771 + 70 \times 229 + 54 \times 70) + 29.4 \times 180 + 29.4 \times 28 - 80 \times 0 \\
 &= 0.22 (1.771 + 299 + 70) + 180 + 28 + 0 \\
 &= 33.79^\circ \text{ C (suhu maksimum)}
 \end{aligned}$$

Metode PCA dapat memperkirakan temperatur puncak berdasarkan initial temperatur, kandungan semen, dan *fly ash*. Untuk itu perlu dihitung Temperatur Puncak dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$T_p = T_o + (\text{kadar semen}/100) \times f \quad (1)$$

Keterangan:

T_p = Temperatur puncak

T_o = Temperatur awal beton (*actual*)

f = di ambil 12 ° C

Dari data initial temperatur didapat data :

T_o Malam = 32.22° C

T_o Siang = 33.79° C

W_c = 369 kg

$$1. \quad T_p \text{ Malam} = 32.22^\circ \text{ C} + (369/100) \times 12^\circ \text{ C} = 76.5^\circ \text{ C}$$

$$2. \quad T_p \text{ Siang} = 33.79^\circ \text{ C} + (369/100) \times 12^\circ \text{ C} = 78.07^\circ \text{ C}$$

Maka dapat diambil kesimpulan T puncak di perkirakan antara 76.5° C sampai dengan 78.07° C. Dengan kondisi temperatur puncak tersebut dapat di lakukan pengecoran pile cap, dengan perlu dilakukan metode-metode pengendaliannya dengan tujuan untuk meminimalisir resiko yang akan terjadi akibat temperatur puncak. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan

thermocouple yang dipasang pada berbagai lapisan beton. Hasil monitoring suhu ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 2, serta divisualisasikan dalam Grafik Suhu Thermocouple.

Tabel 1. Hasil Monitor Beton Mass Concrete

Date	Truck Number (No. TM)	Departure Time	Arrival Time	Volume/ Truck (m ³)	Cumulative Volume (m ³)	Slump (mm)	Flow (mm)	Temperature (°C)	Notes
2 Feb 2024	79	16:35	16:50	5	390	69	30	30	
2 Feb 2024	80	16:45	16:55	5	395	67	27	27	
2 Feb 2024	81	16:54	17:08	5	400	65	29	29	
2 Feb 2024	82	17:07	17:22	5	405	67	24	24	
2 Feb 2024	83	17:17	17:35	5	410	68	24	24	
2 Feb 2024	84	17:26	17:39	5	415	69	22	22	
2 Feb 2024	85	17:36	17:46	5	420	69	29	29	
2 Feb 2024	86	17:47	17:55	5	425	67	27	27	
2 Feb 2024	87	17:58	18:13	5	430	71	26	26	
2 Feb 2024	88	18:09	18:24	5	435	68	25	25	Sample
2 Feb 2024	89	18:19	18:34	5	440	69	30	30	
2 Feb 2024	90	18:29	18:45	5	445	69	27	27	
2 Feb 2024	91	18:44	19:00	5	450	70	30	30	
2 Feb 2024	92	18:54	19:10	5	455	70	32	32	
2 Feb 2024	93	19:04	19:19	5	460	70	30	30	
2 Feb 2024	94	19:16	19:30	5	465	69	30	30	
2 Feb 2024	95	19:26	19:43	5	470	67	28	28	
2 Feb 2024	96	19:37	19:54	5	475	68	29	29	Sample
2 Feb 2024	97	19:55	20:20	5	480	68	27	27	
2 Feb 2024	98	20:10	20:26	5	485	68	30	30	
2 Feb 2024	99	20:19	20:33	5	490	67	32	32	
2 Feb 2024	100	20:30	20:46	5	495	69	32	32	
2 Feb 2024	101	20:41	20:56	5	500	69	32	32	
2 Feb 2024	102	21:11	21:26	5	505	71	26	26	
2 Feb 2024	103	21:22	21:37	5	510	68	27	27	
2 Feb 2024	104	21:33	21:50	5	515	69	28	28	Sample
2 Feb 2024	105	21:43	21:57	5	520	69	30	30	
2 Feb 2024	106	21:52	22:06	5	525	67	29	29	
2 Feb 2024	107	22:09	22:15	5	530	67	30	30	
2 Feb 2024	108	22:18	22:35	5	535	66	30	30	
2 Feb 2024	109	22:28	22:50	5	540	70	26	26	
2 Feb 2024	110	22:41	22:58	5	545	69	29	29	
2 Feb 2024	111	22:55	23:10	5	550	69	28	28	
2 Feb 2024	112	23:10	23:20	5	555	68	30	30	Sample
2 Feb 2024	113	23:15	23:25	5	560	67	25	25	
2 Feb 2024	114	23:23	23:35	5	565	65	30	30	
2 Feb 2024	115	23:28	23:45	5	570	70	24	24	
2 Feb 2024	116	23:38	23:56	5	575	70	32	32	

Tabel ini menunjukkan hasil pengukuran suhu beton massa selama periode monitoring. Analisa akan dilakukan pada concrete pump (CP) dengan memperhitungkan temperatur beton segar sesuai waktu kedatangannya. Suhu beton segar yang didapat dari

lapangan tidak melebihi suhu izin 38° C. Hasil Analisa suhu beton segar yang didapatkan adalah bahwa rata-rata suhu beton segar = 27.17°.

LOKASI : FILE CAP AREA : P2		HARI KE : 1											
MUTU BETON : Fc 40 MPa													
Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)												49	52
Tengah (T)												54	57
Bawah (B)												52	54
Udara (U)												28	28
A-U												21	24
T-A												5	5
T-B												2	3
Paraf													
TC 2													
Atas (A)												47	50
Tengah (T)												54	57
Bawah (B)												52	53
Udara (U)												28	28
A-U												19	22
T-A												7	7
T-B												2	4
Paraf													
TC 3													
Atas (A)												43	47
Tengah (T)												55	57
Bawah (B)												52	53
Udara (U)												28	28
A-U												15	19
T-A												12	10
T-B												3	4
Paraf													

LOKASI : FILE CAP AREA : P2		HARI KE : 2												
MUTU BETON : Fc 40 MPa														
Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	
TC 1														
Atas (A)		53	55	56	57	59	59				58	58	58	59
Tengah (T)		58	60	61	62	64	66				67	68	69	69
Bawah (B)		56	58	59	59	60	61				61	62	62	63
Udara (U)		27	27	27	26	29	30				29	27	27	27
A-U		26	28	29	31	30	29				29	31	31	32
T-A		5	5	5	5	5	7				9	10	11	10
T-B		2	2	2	3	4	5				6	6	7	6
Paraf														
TC 2														
Atas (A)		52	54	55	56	57	58				58	57	58	59
Tengah (T)		58	59	61	62	64	65				66	67	68	69
Bawah (B)		54	56	57	59	60	60				61	61	60	62
Udara (U)		27	27	27	26	29	30				29	27	27	27
A-U		25	27	28	30	28	28				29	30	31	32
T-A		6	5	6	6	7	7				8	10	10	10
T-B		4	3	4	3	4	5				5	6	8	7
Paraf														
TC 3														
Atas (A)		49	51	53	55	56	58				57	58	59	59
Tengah (T)		58	59	62	64	65	65				67	68	68	69
Bawah (B)		55	55	57	57	59	60				61	62	63	63
Udara (U)		27	27	27	26	29	30				29	27	27	27
A-U		22	24	26	29	27	28				28	31	32	32
T-A		9	8	9	9	9	7				10	10	9	10
T-B		3	4	5	7	6	5				6	6	5	6
Paraf														

LOKASI : FILE CAP AREA : P2		HARI KE : 3											
MUTU BETON : Fc 40 MPa													
Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)		59	59	60	59	58	58	57	57	57	56	55	55
Tengah (T)		70	69	70	70	69	70	68	67	67	66	66	65
Bawah (B)		62	63	64	63	63	62	61	61	60	60	59	58
Udara (U)		27	26	26	26	28	29	31	31	30	28	26	26
A-U		32	33	34	33	30	29	26	26	27	28	29	29
T-A		11	10	10	11	11	12	11	10	10	11	11	10
T-B		8	6	6	7	6	8	7	6	7	6	7	7
Paraf													
TC 2													
Atas (A)		59	60	59	59	58	58	57	57	57	56	55	56
Tengah (T)		69	70	70	70	69	70	68	67	67	66	65	65
Bawah (B)		63	63	64	63	63	63	61	60	61	60	60	59
Udara (U)		27	26	26	26	28	29	31	31	30	28	26	26
A-U		32	34	33	33	30	29	26	26	27	28	29	30
T-A		10	10	11	11	11	12	12	11	10	11	11	9
T-B		6	7	6	7	6	7	8	8	6	7	6	6
Paraf													
TC 3													
Atas (A)		60	60	60	59	59	59	58	57	57	56	56	56
Tengah (T)		69	70	71	70	70	70	68	67	68	67	66	66
Bawah (B)		63	64	63	64	63	62	61	62	61	60	60	60
Udara (U)		27	26	26	26	28	29	31	31	30	28	26	26
A-U		33	34	34	33	31	30	27	26	27	29	30	30
T-A		9	10	11	11	11	11	11	11	10	11	11	10
T-B		6	6	8	6	7	8	8	6	6	8	7	6
Paraf													

LOKASI : FILE CAP AREA : P2		HARI KE : 4											
MUTU BETON : Fc 40 MPa													
Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)		54	55	54	55	54	54	53	53	53	54	53	52
Tengah (T)		65	64	64	64	63	63	63	62	62	62	61	61
Bawah (B)		58	59	58	57	58	57	56	56	55	55	54	55
Udara (U)		26	26	25	25	27	28	31	31	29	28	27	27
A-U		28	29	29	30	27	26	22	22	24	26	26	25
T-A		11	9	10	9	9	9	10	9	9	8	8	9
T-B		7	5	6	7	5	6	7	6	7	7	7	6
Paraf													
TC 2													
Atas (A)		56	55	55	54	54	53	53	53	53	54	53	52
Tengah (T)		64	65	65	65	64	64	63	62	62	63	62	62
Bawah (B)		58	59	58	58	57	56	56	56	56	56	55	55
Udara (U)		26	26	25	25	27	28	31	31	29	28	27	27
A-U		30	29	30	29	27	25	22	22	24	26	26	25
T-A		8	10	10	11	10	11	10	9	9	9	9	10
T-B		6	6	7	7	7	8	7	6	6	7	7	7
Paraf													
TC 3													
Atas (A)		56	56	55	56	54	54	53	53	53	54	53	53
Tengah (T)		67	65	65	65	65	64	63	64	63	64	63	62
Bawah (B)		59	58	58	58	57	57	56	56	56	56	54	55
Udara (U)		26	26	25	25	27	28	31	31	29	28	27	27
A-U		30	30	30	31	27	26	22	22	24	26	26	26
T-A		11	9	10	9	11	10	10	11	10	10	10	9
T-B		8	7	7	7	8	7	6	8	7	8	9	7
Paraf													

Gambar 2. Hasil Pembacaan Suhu Thermocouple

LOKASI : PILE CAP AREA : P2
 MUTU BETON : Fc 40 Mpa HARI KE : 5

Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)		52	52	51	52	51	51		50	48	48	47	47
Tengah (T)		60	61	60	60	60	60		59	59	58	58	57
Bawah (B)		54	54	53	54	53	52		52	51	51	50	49
Udara (U)		27	26	26	26	27	27		28	27	27	26	26
A-U		25	26	25	25	24	24		22	21	21	21	21
T-A		8	9	9	8	9	9		9	11	10	11	10
T-B		6	7	7	6	7	8		7	8	7	8	8
Paraf													
TC 2													
Atas (A)		52	52	51	52	52	52		50	49	48	48	48
Tengah (T)		63	61	60	62	61	60		60	59	59	58	57
Bawah (B)		54	54	54	54	55	54		53	52	51	51	50
Udara (U)		27	26	26	26	27	27		28	27	27	26	26
A-U		25	26	25	26	25	25		22	22	21	22	22
T-A		11	9	9	10	9	8		10	10	11	10	9
T-B		9	7	6	8	6	6		7	7	8	7	7
Paraf													
TC 3													
Atas (A)		53	53	52	53	52	52		51	50	51	51	50
Tengah (T)		63	62	62	62	63	62		62	61	60	61	61
Bawah (B)		55	54	54	55	55	54		53	53	53	52	52
Udara (U)		27	26	26	26	27	27		28	27	27	26	26
A-U		26	27	26	27	25	25		23	23	24	25	24
T-A		10	9	10	9	11	10		11	11	9	10	11
T-B		8	8	8	7	8	8		9	8	7	9	9
Paraf													

LOKASI : PILE CAP AREA : P2
 MUTU BETON : Fc 40 Mpa HARI KE : 6

Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)		47	46	46	46	46	46	45	46	45	44	44	45
Tengah (T)		56	56	55	56	55	55	54	54	55	54	53	53
Bawah (B)		49	48	49	48	48	49	48	48	48	47	47	47
Udara (U)		26	25	25	26	28	29	29	29	28	27	27	26
A-U		21	21	21	20	18	17	16	17	17	17	17	19
T-A		9	10	9	10	9	9	8	10	10	10	9	8
T-B		7	8	6	8	7	6	6	6	8	7	6	6
Paraf													
TC 2													
Atas (A)		47	46	46	46	46	46	46	45	45	44	45	44
Tengah (T)		57	56	57	56	55	56	55	55	55	54	54	54
Bawah (B)		51	50	49	48	49	48	48	48	47	47	47	47
Udara (U)		26	25	25	26	28	29	29	29	28	27	27	26
A-U		21	21	21	20	18	17	17	16	17	17	18	18
T-A		10	10	11	10	9	10	9	10	10	10	9	10
T-B		6	6	8	8	6	7	7	7	8	7	7	7
Paraf													
TC 3													
Atas (A)		50	49	47	47	47	47	46	46	46	46	45	45
Tengah (T)		60	58	58	58	57	56	55	55	56	55	55	54
Bawah (B)		52	50	50	49	49	48	49	48	47	48	47	47
Udara (U)		26	25	25	26	28	29	29	29	28	27	27	26
A-U		24	24	22	21	19	18	17	17	18	19	18	19
T-A		10	9	11	11	10	9	9	9	10	9	10	9
T-B		8	8	8	9	8	8	6	7	9	7	8	7
Paraf													

LOKASI : PILE CAP AREA : P2
 MUTU BETON : Fc 40 Mpa HARI KE : 7

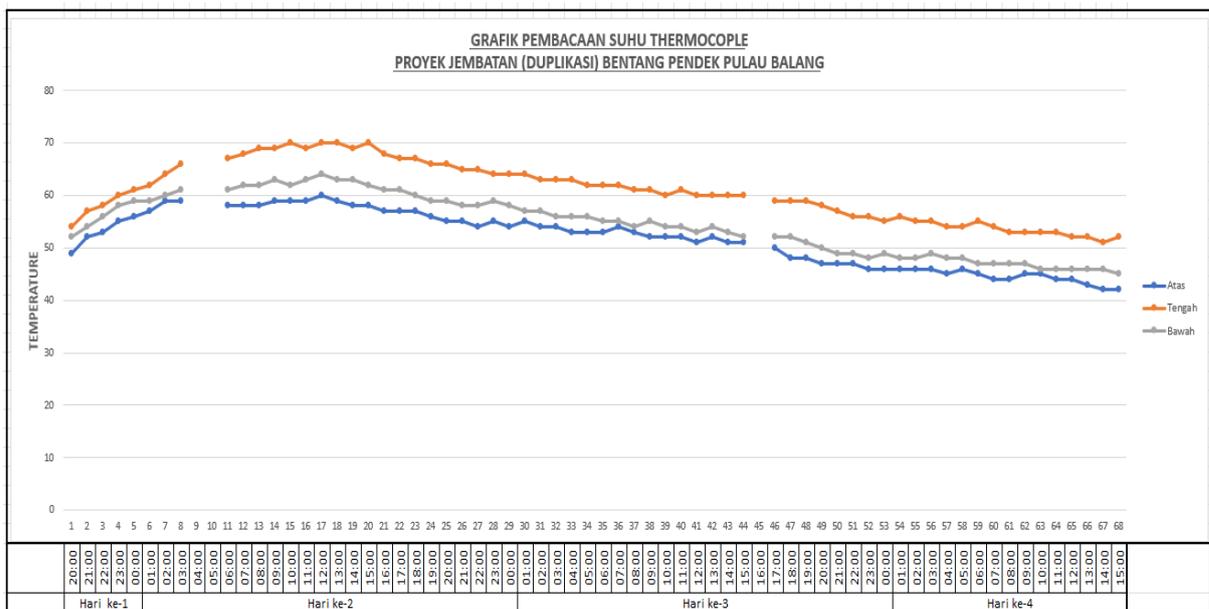
Titik	Waktu	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
TC 1													
Atas (A)		45	44	44	43	42	42						
Tengah (T)		53	53	52	52	51	52						
Bawah (B)		46	46	46	46	46	45						
Udara (U)		26	26	25	26	28	30						
A-U		19	18	19	17	14	12						
T-A		8	9	8	9	9	10						
T-B		7	7	6	6	5	7						
Paraf													
TC 2													
Atas (A)		44	43	43	43	43	43						
Tengah (T)		53	54	53	52	52	51						
Bawah (B)		47	46	46	46	45	46						
Udara (U)		26	26	25	26	28	30						
A-U		18	17	18	17	15	13						
T-A		9	11	10	9	9	8						
T-B		6	8	7	6	7	5						
Paraf													
TC 3													
Atas (A)		45	45	43	43	44	42						
Tengah (T)		53	53	53	52	52	52						
Bawah (B)		46	47	46	45	46	45						
Udara (U)		26	26	25	26	28	30						
A-U		19	19	18	17	16	12						
T-A		8	8	10	9	8	10						
T-B		7	6	7	7	6	7						
Paraf													

Gambar 2. Hasil Pembacaan Suhu Thermocouple

Gambar 2 merinci pembacaan suhu dari berbagai *thermocouple* yang dipasang pada beton massa, memberikan gambaran tentang distribusi suhu di dalam beton selama proses pengerasan. Setelah 2 jam dari pelaksanaan curing, akan dimulai pelaksanaan monitoring suhu pada beton. Pembacaan suhu akan dimonitor selama 24 jam dan dilaksanakan setiap 1

jam selama 7 hari. Dari hasil monitoring pada titik-titik yang telah ditentukan dan durasi waktu pantaunya maka akan di dapat nilai suhu beton untuk masing-masing titik.

Pada proyek ini pengamatan temperatur *mass concrete* untuk pile cap ada 3 titik pengaman yang telah ditentukan. Sudah di tetapkan 3 elevasi kabel termocouple pengukuran pada setiap titik pengamatan yaitu atas (± 45 cm dari top level pondasi), tengah dan bawah (± 45 cm dari bottom level pondasi), perhitungan suhu di lakukan secara vertical karena penyebaran panas hidrasi dianggap sama kesemua arah (beton dianggap homogen).



Gambar 3. Grafik Perubahan Suhu dari pembacaan Thermocouple

Grafik pada Gambar 3 menggambarkan perubahan suhu beton massa dari waktu ke waktu, berdasarkan data dari thermocouple. Grafik ini menunjukkan bagaimana suhu meningkat hingga mencapai puncak sebelum akhirnya menurun saat proses pendinginan. Pada monitoring suhu selama 1 minggu, perhitungan beton massa di dapat temperatur puncak (Tp) sebesar 71° C. Dari gambar tersebut di dapat data sebagai berikut :

Rata-rata monitoring suhu pile cap

- Jumlah data = 65
- Rata-rata lapis atas = 51,72° C
- Rata-rata lapis tengah = 60,73° C
- Rata-rata lapis bawah = 54,49°

3.2 Analisis Suhu Beton

Menurut Bamforth P.B (1982), agar beton massa tidak terjadi retak *thermal* maka perbedaan selisih temperatur antara permukaan beton dengan temperatur didalam beton yang diperkenankan adalah sebesar 20° C -39° C. Dari monitoring suhu pengecoran pile cape diperoleh data dan dicek dengan menghitung selisih temperatur atas tidak boleh melebihi 20° C dengan ketentuan:

1. $\Delta 1$ yaitu selisih antara beda suhu atas dengan suhu tengah
2. $\Delta 2$ yaitu selisih antara beda suhu tengah dengan suhu bawah
3. $\Delta 3$ yaitu selisih antara beda suhu atas dengan suhu bawa

Hasil rata-rata perhitungan deviasi antara suhu atas, bawah dan tengah pada ke 3 thermocouple pile cap didapatkan deviasi maximum sebesar 1.32° C. Analisis suhu beton menunjukkan bahwa suhu maksimum yang tercapai dalam beton massa sesuai dengan batas yang diperkenankan, yaitu tidak melebihi perbedaan suhu antar lapisan beton sebesar 20°C. Ini sesuai dengan rekomendasi Bamforth P.B (1982) yang menyatakan bahwa perbedaan antara suhu di dalam beton dengan suhu permukaan beton yang diperbolehkan adalah sebesar 20°C hingga 39°C.

Suhu tinggi selama proses pengerasan dapat menyebabkan retak thermal pada beton massa. Oleh karena itu, pengendalian suhu sangat penting untuk mencegah kerusakan struktural. Metode pendinginan yang digunakan, seperti penggunaan thermocouple untuk monitoring dan insulasi permukaan dengan styrofoam dan plastic cor, terbukti efektif dalam menjaga suhu beton dalam batas yang diizinkan. Metode pendinginan dengan insulasi permukaan beton menggunakan styrofoam dan plastic cor sangat efektif dalam mengontrol suhu di dalam beton. Langkah-langkah ini membantu menjaga perbedaan suhu antar lapisan beton tidak melebihi 20°C, sesuai dengan ketentuan proyek.

Beberapa studi mendukung temuan penelitian ini. Misalnya, penelitian oleh Pardede dan Oemar (2020) menunjukkan bahwa penggunaan balok es sebagai metode pendinginan pada beton massa efektif dalam mengendalikan suhu dan mencegah retak thermal. Selain itu, studi oleh Zakariya et al. (2021) tentang penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambahan semen juga mendukung pentingnya pengendalian suhu selama pengerasan beton untuk meningkatkan kualitas beton massa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu beton massa sangat penting untuk mencegah retak thermal dan memastikan kualitas struktural yang

baik. Metode pendinginan dan monitoring suhu yang digunakan pada proyek Jembatan (Duplikasi) Pulau Balang Bentang Pendek terbukti efektif dalam menjaga suhu beton dalam batas yang diizinkan, sesuai dengan standar yang berlaku.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian suhu beton massa sangat penting untuk mencegah retak termal dan memastikan kualitas struktural yang baik. Metode pendinginan dan monitoring suhu yang digunakan pada proyek Jembatan (Duplikasi) Pulau Balang Bentang Pendek terbukti efektif dalam menjaga suhu beton dalam batas yang diizinkan sesuai dengan standar yang berlaku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pelaksanaan proyek beton massa lainnya dan saran untuk penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada pengembangan metode pendinginan yang lebih efisien dan efektif dengan memanfaatkan perkembangan teknologi dalam berbagai kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Zakariya¹), Giri Yudhono²), Sasri Rosyadi³) 2021 Kajian Temperatur Beton Saat Proses Pengerasan Menggunakan Fly Ash Sebagai Bahan Tambah Semen (Study Of Concrete Temperature During Hardening Time Using Fly Ash As Supplementary Cementitious Material).
- Surat Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 16.1/Se/Db/2020 Spesifikasi Umum 2018 Untuk Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2).
- M. Dede Pardede, Fatmawati Oemar 2020, Pengendalian Suhu Beton Massa 3500 m³ Menggunakan Balok Es Dan Pengaruhnya Terhadap Beton (Studi Kasus: Pondasi Raft Gedung Ppag²).
- Siti Abadiyah¹, Basirun², Jamaludin Harits Nur Hafidz³ 2021 Studi Perbedaan Temperatur Beton Massa Pada Pekerjaan Raft Foundation Dengan Ketebalan 2,5 Meter.
- Indra Setiawan Walla 2019. Analisis Suhu Di Dalam Raft Foundation Menggunakan Metode Surface Insulation Pada Proyek Grand Sungkono Lagoon, Skripsi Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Noratama Surabaya.
- Juny Handayani¹, Muhamad Lutfi ², Nurul Chayati ³, Fadhila Muhammad Libasut Taqwa⁴ 2019. Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa Pada Raft Foundation Ketebalan 3 Meter (Studi Kasus: Proyek MCC Tower - Jakarta).

Darmawan, Gerardus Mayella Benny (2021). Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Beton Dalam Skala Besar (Mass Concrete).

America Concrete Institute (Aci) Committee 207. 1996. Mass Concrete.

America Concrete Institute (Aci) Committee 207. 2002. Effect Of Restraint. Volume Change. And Reinforcement On Cracking Of Mass Concrete.

Melky Suryawijaya. 2012. Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa Dengan Ketebalan 4 Meter. Skripsi Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia.