
ANALISIS BETON MASS CONCRETE PADA PILE HEAD DENGAN COOLING PIPE SYSTEM (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)

Dina Novianti^{1*}, Rayhan Maulana Prakusya², & Juny Andry Sulistyo³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

*Corresponding author e-mail: dinanovi33@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Mass concrete is a construction that requires special attention due to the thickness and quantity of the concrete mix. The larger and thicker the concrete elements, the higher the cement consumption, necessitating control of the heat of hydration. Concrete curing differs from that of conventional concrete; in mass concrete, the temperature increase must be controlled. This study examines the effect of curing using a cooling pipe system on temperature control in mass concrete. The study employed an experimental method, comparing various test specimens (mock-ups) cured using a cooling pile system with ice water for 7 days, regular water for 7 days, and then ice water for 3 days, followed by regular water for 4 days. The results of the study indicate that the most effective and efficient curing method for mass concrete was the one using ice water for 3 days, followed by regular water for 4 days. The average highest temperature was 63°C at the 24th hour.

Beton mass concrete merupakan konstruksi yang memerlukan perhatian khusus karena ketebalan dan jumlah dari pencampuran beton yang dilakukan. Semakin besar dan tebal ukuran elemen beton, maka penggunaan semen semakin tinggi sehingga diperlukan pengontrolan terhadap panas hidrasi. Perawatan beton yang dilakukan berbeda dengan beton biasa, pada beton mass concrete kenaikan suhu beton harus bisa dikendalikan. Penelitian ini mengkaji terkait pengaruh perawatan beton menggunakan cooling pipe system untuk pengendalian suhu pada beton mass concrete. Penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan perbandingan variasi benda uji (mock up) pada perawatan beton mass concrete menggunakan cooling pile system dengan pengaliran air es batu selama 7 hari, pengaliran air biasa selama 7 hari, dan pengaliran air es batu selama 3 hari kemudian dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari. Pada hasil penelitian didapatkan dari perbandingan perawatan beton mass concrete dengan cooling pipe system yang paling efektif dan efisien untuk pencampuran beton mass concrete menggunakan pengaliran air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari. Rata-rata suhu tertinggi yaitu pada jam ke-24 dengan suhu 63°C.

Keyword :

*Mass Concrete, Cooling
Pipe System Temperature
Curing*

1. PENDAHULUAN

Konstruksi beton massa (*mass concrete*) 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 diperlukan pengontrolan terhadap panas hidrasi. Perawatan beton yang dilakukan berbeda dengan beton biasa, pada beton massa kenaikan suhu beton harus bisa dikendalikan, salah satu metode yang bisa diterapkan adalah dengan menggunakan sistem pendingin mekanis. Sistem pendingin mekanis atau *cooling pipe system* adalah metode perawatan dimana pipa-pipa pendingin ditanam didalam beton dengan tujuan supaya dapat mengalirkan sirkulasi air untuk mengontrol kenaikan suhu pada beton massa. Untuk monitoring suhu pada metode sistem pendingin mekanis ini menggunakan sensor yang terhubung pada alat *thermocouple*.

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan di atas, identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah beton *mass concrete* ini memiliki sifat khusus, yaitu selama proses pengerasan, beton tersebut mengalami kenaikan temperatur (suhu) sampai batas tertentu sebagai akibat dari pelepasan panas hidrasi semen *portland*. Kenaikan suhu beton tersebut bisa mencapai 85°C pada bagian dalamnya. Ukuran beton yang cukup besar/tebal dan karena beton mempunyai sifat "*Poor Thermal Conductivity*", maka suhu ini tidak cepat turun, sehingga akan terjadi perbedaan suhu yang cukup besar antara bagian dalam dan bagian permukaan beton, apabila hal ini tidak dapat diantisipasi atau dikendalikan akan mengakibatkan retakan-retakan pada permukaan beton yang dapat berlanjut kebagian dalam beton sehingga dapat mempengaruhi kekuatan dari konstruksi beton tersebut.

Tujuan penelitian ini berdasarkan perumusan permasalahan yang diteliti adalah untuk mengidentifikasi perawatan beton pada beton bervolume besar (*mass concrete*) menggunakan *cooling pipe system* dan mendapatkan hasil perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* paling efektif dan efisien untuk pengendalian suhu pada beton bervolume besar (*mass concrete*).

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan yaitu pengujian eksperimental. Pada beberapa definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian eksperimental adalah metode penelitian yang digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara satu variabel atau lebih secara

sistematis. Pada penelitian yang dilakukan sekarang, maka peneliti berperan aktif dalam memanipulasi satu variabel (variabel bebas) untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel lain (variabel terikat). Dengan mengendalikan variabel lain yang dapat memengaruhi hasil, peneliti dapat menarik kesimpulan yang lebih kuat tentang hubungan sebab-akibat.

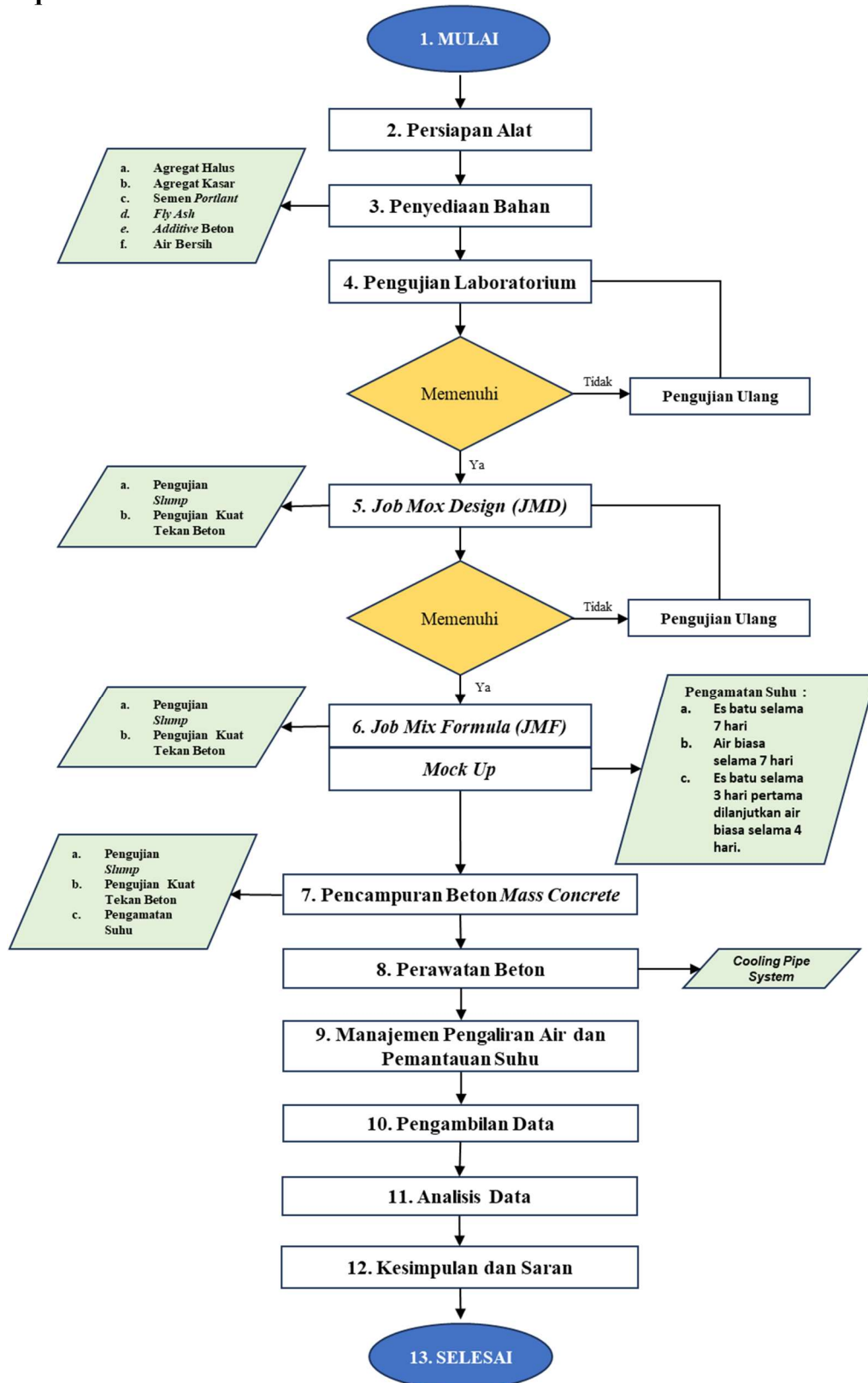
a. Rancangan Komposisi Campuran Beton

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton

No	Material	Satuan	Volume
1.	Semen Portland Jenis 1	kg/m ³	288
2.	<i>Fly ash</i> tipe F	kg/m ³	192
3.	Agregat halus	kg/m ³	866
4.	Agregat kasar	kg/m ³	900
5.	Air	kg/m ³	154
6.	<i>Additive</i> Beton tipe D	ltr/m ³	0.97
7.	<i>Additive</i> Beton tipe F	ltr/m ³	3.71

Sumber : Data Komposisi Campuran Beton BUCG-HK JO

b. Tahapan Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

c. Metode Analisis

Bagan alir yang telah digambarkan diatas dapat dijelaskan bahwa langkah pada proses penelitian ini antara lain yaitu:

1. Mulai

Mempersiapkan segala sesuatu dari data sampai literatur untuk penelitian ini.

2. Persiapan Alat

- a. Peralatan untuk pengamatan suhu material menggunakan alat termometer digital.
- b. Peralatan untuk pengamatan suhu beton menggunakan alat *thermocouple* dan alat pencatat suhu *hottemp*.
- c. Peralatan untuk pengukuran *slump* menggunakan meteran dan alat *slump test*.
- d. Peralatan untuk pengujian kuat tekan beton menggunakan *compression testing machine*.
- e. Peralatan untuk pencampuran beton menggunakan *truck mixer*, bekesting multiplek, *hollow 50 x 50*, *vibrator engine*, karung, dan *steel formwork*.

3. Penyediaan Bahan

Penyediaan agregat halus, agregat kasar, semen portlant jenis 1, *fly ash*, *additive* beton, air bersih.

4. Pengujian Laboratorium

Pengujian dilakukan sesuai dengan standar dan mengacu pada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

5. Job Mix Design (JMD)

Pada *job mix design* ini ialah proses pembuatan benda uji beton untuk memastikan campuran beton yang dihasilkan memenuhi nilai kuat tekan sesuai spesifikasi yang disyaratkan. *Job mix design* ini merupakan desain campuran bahan dalam skala kecil hanya untuk pembuatan benda uji yang diuji secara manual yang biasanya pencampuran menggunakan concrete mixer di laboratorium, berfungsi sebagai acuan awal untuk pembuatan *Job Mix Formula*.

6. Job Mix Formula (JMF) dan Mock Up

Pada penelitian ini *job mix formula* bersamaan dengan pembuatan benda uji *mock up*. *Job mix formula* adalah formula yang dibuat berdasarkan *job mix design* dan digunakan dalam produksi skala besar yang pencampurannya menggunakan *batching plant* untuk memastikan konsistensi kualitas. Sedangkan *mock up* adalah pengendalian komposisi

material beton untuk menghasilkan temperatur beton maksimum yang disyaratkan harus dibuktikan dengan pengukuran temperatur dengan ukuran dimensi panjang 2 m, lebar 1,6 m dan tinggi 1,2 m. Pada tahap ini, dilakukan penelitian dengan *cooling pipe system* menggunakan 3 variasi penelitian yaitu dengan pengaliran air es batu selama 7 hari, pengaliran air biasa selama 7 hari dan pengaliran air es batu selama 3 hari pertama dilanjutkan air biasa selama 4 hari. Dari ketiga variasi ini diambil yang paling efisien dan efektif untuk ke tahap selanjutnya.

7. Pencampuran Beton Bervolume Besar (*Mass Concrete*) pada *Pile Head*

Pencampuran beton bervolume besar membutuhkan perencanaan dan pelaksanaan yang cermat, termasuk pengendalian suhu untuk menghindari retak. Pada tahap ini menggunakan dimensi panjang 16,3 m, lebar 1,6 m dan tinggi 1,2 m. Untuk komposisi beton sesuai dengan *job mix design* dan *job mix formula* yang telah dilaksanakan. Prosesnya melibatkan pengujian dengan sistem sensor temperatur, serta pelaporan harian proses pencampuran pada struktur *pile head*.

8. Perawatan Beton

Pada pekerjaan beton *mass concrete* pada *pile head* dalam penelitian ini, dipilih sistem pipa pendingin mekanis yang disebut juga dengan *cooling pipe system* yang paling efektif dan efisien. Metode *cooling pipe system* secara prinsip cara bekerjanya sama dengan radiator, dimana air berputar terus menerus untuk menurunkan suhu pada suatu benda tertentu. Sirkulasi air ini membantu menghilangkan panas yang dihasilkan, mencegah retakan termal, dan memastikan beton mencapai kekuatan yang diinginkan. Penggunaan metode *mass concrete* ini harus menghasilkan temperatur maksimum yaitu sebesar 71 °C dari batas temperatur yang diizinkan, akibat dari reaksi hidrasi semen. Maka dari itu, harus membutuhkan pengendalian suhu akibat dari hidrasi tersebut untuk mengurangi keretakan atau *cracking* akibat suhu.

9. Manajemen Pengaliran Air dan Pemantauan Suhu Beton pada Struktur *Pile Head*

Pemeriksaan suhu dilakukan selama 2 jam sekali dengan batas suhu maksimal 71° C dan margin antara sensor maksimal 30%. Jika ketuntasan tersebut dapat dipenuhi maka *mass concrete* dianggap berhasil, sementara itu margin tersebut diadakan agar beton mengeras secara bersama-sama.

10. Pengambilan Data

Saat penelitian beton bervolume besar ini data yang didapatkan yaitu hasil pengujian *properties* material, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up* dan hasil pengujian pencampuran beton bervolume besar (*mass concrete*).

11. Analisis Data

Melakukan analisa data penelitian beton bervolume besar (hasil pengujian *properties* material, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up*, dan hasil pengujian pencampuran beton bervolume besar (*mass concrete*).

12. Kesimpulan dan Saran

Penjabaran kesimpulan dan saran pada hasil pembahasan apakah memenuhi terhadap Spesifikasi Umum Untuk Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Tahun 2020 serta menampilkan data hasil pengujian *properties* material, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up* dan hasil pengujian beton bervolume besar (*mass concrete*).

13. Selesai

Penelitian selesai dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan tiga variasi air pada perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* yaitu menggunakan air es selama 3 hari dan dilanjutkan menggunakan air biasa selama 4 hari, menggunakan air es selama 7 hari, dan menggunakan air biasa selama 7 hari. Monitoring suhu *cooling pipe system* ini dilaksanakan pada saat pelaksanaan *job mix formula* dan *mock up* beton *mass concrete* f_c' 35 MPa. Berikut merupakan tabel dari pembacaan suhu *thermocouple* pada *cooling pipe system* saat pelaksanaan *job mix formula* dan *mock up* serta pada saat pelaksanaan pada **Tabel 2**.

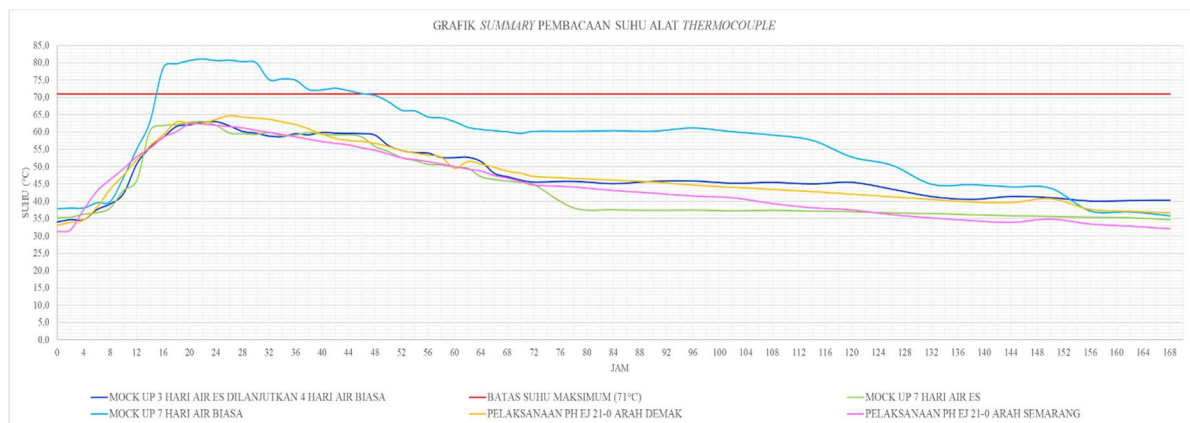
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pembacaan Suhu *Thermocouple* Metode *Cooling Pipe System* Pada Saat *Job Mix Formula* dan *Mock Up* Menggunakan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Air Biasa Selama 4 Hari, Air Es Selama 7 Hari, Air Biasa Selama 7 Hari, PH 21-0 Arah Demak dan PH 21-0 Arah Semarang

Hari	Jam Ke-	Rata-Rata Bacaan <i>Thermocouple</i> (°C)				
		<i>Mock Up</i>			Pelaksanaan	
		3 Hari Air Es Dilanjutkan 4 Hari Air	7 Hari Air Es	7 Hari Air Biasa	Fc' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Demak	Fc' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Semarang

		Biasa				
1	0	34,0	35,3	37,9	33,1	31,4
	2	34,7	35,4	38,1	33,9	31,9
	4	34,7	36,3	38,1	34,7	37,7
	6	37,6	36,7	39,6	38,3	43,0
	8	39,2	38,1	40,0	43,5	46,3
	10	42,2	43,2	46,9	47,6	49,4
	12	50,7	46,0	55,1	52,0	52,9
	14	55,5	60,3	63,0	56,1	55,3
	16	58,5	61,8	78,5	59,2	58,5
	18	61,6	62,1	79,7	62,9	60,1
	20	62,1	62,8	80,6	62,5	62,4
	22	62,8	63,0	81,0	62,6	62,3
	24	63,0	61,9	80,6	63,7	62,0
2	26	61,8	59,7	80,7	64,8	61,6
	28	60,2	59,5	80,3	64,4	61,2
	30	59,7	59,3	80,0	64,0	60,5
	32	58,8	59,8	75,1	63,7	59,9
	34	58,7	58,9	75,3	62,9	59,3
	36	59,5	59,2	74,9	62,2	58,6
	38	59,2	59,8	72,2	60,9	57,9
	40	59,9	59,4	72,2	59,4	57,2
	42	59,6	59,0	72,6	58,2	56,8
	44	59,6	59,2	71,9	57,6	56,3
	46	59,5	58,5	71,1	57,3	55,4
	48	59,1	55,8	70,5	56,8	54,7

Hari	Jam Ke-	Rata-Rata Bacaan <i>Thermocouple</i> (°C)				
		<i>Mock Up</i>			Pelaksanaan	
		3 Hari Air Es Dilanjutkan 4 Hari Air Biasa	7 Hari Air Es	7 Hari Air Biasa	Fc' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Demak	Fc' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Semarang
3	50	56,1	54,3	68,7	55,9	53,7
	52	54,7	52,6	66,3	54,7	52,6
	54	54,0	51,8	66,1	54,0	52,1
	56	53,9	50,7	64,3	53,3	51,5
	58	52,6	50,5	64,1	52,8	50,8
	60	52,6	49,8	63,0	49,5	50,1
	62	52,7	49,5	61,4	51,5	49,3

	64	51,4	47,1	60,7	50,8	48,8
	66	48,0	46,3	60,4	49,8	47,5
	68	47,1	45,8	60,1	48,7	46,7
	70	46,1	45,4	59,6	48,1	45,8
	72	45,5	44,8	60,2	47,2	44,7
4	78	45,7	38,1	60,2	46,6	44,2
	84	45,1	37,6	60,4	46,1	43,2
	90	45,7	37,4	60,2	45,6	42,4
	96	45,8	37,5	61,2	44,7	41,6
5	102	45,2	37,3	60,1	44,1	41,1
	108	45,4	37,4	59,1	43,5	39,4
	114	45,0	37,2	57,6	42,8	38,2
	120	45,4	37,0	52,8	42,1	37,6
6	126	43,5	36,6	50,4	41,3	36,2
	132	41,3	36,5	44,9	40,6	35,3
	138	40,5	36,1	44,8	39,8	34,5
	144	41,4	35,9	44,2	39,6	34,0
7	150	41,0	35,6	43,8	40,8	34,9
	156	40,0	35,4	37,2	37,6	33,5
	162	40,2	35,3	37,0	37,2	32,9
	168	40,3	34,7	35,9	36,6	32,1
Suhu Tertinggi		63,0	63,0	81,0	64,8	62,4



Gambar 2. Rekapitulasi Hasil Pembacaan Suhu *Thermocouple* Metode *Cooling Pipe System* Pada Saat *Job Mix Formula* dan *Mock Up* Menggunakan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Air Biasa Selama 4 Hari, Air Es Selama 7 Hari, dan Air Biasa Selama 7 Hari

Pada **Tabel 2.** dan **Gambar 2.** dapat dilihat pada pelaksanaan *mock up*, penggunaan air es selama 3 hari dan dilanjutkan dengan penggunaan air biasa selama 4 hari, rata-rata suhu tertinggi yaitu pada jam ke-24 dengan suhu 63°C. Pada penggunaan air es selama 7 hari, rata-rata suhu tertinggi yaitu pada jam ke-22 dengan suhu 63°C. Pada penggunaan air biasa selama 7 hari, rata-rata suhu tertinggi yaitu pada jam ke-22, dengan suhu 81°C. Dari ketiga percobaan

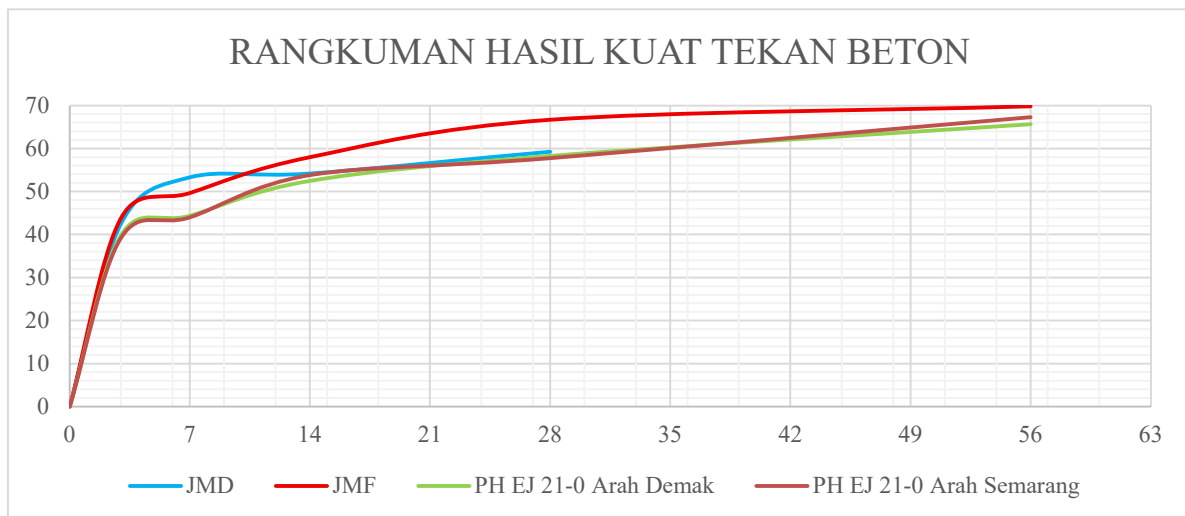
diatas, penggunaan air es selama 3 hari dan dilanjutkan menggunakan air biasa selama 4 hari serta pada penggunaan air es selama 7 hari suhu pada beton relatif dapat dikendalikan yaitu dibawah 71°C yang mana beton *mass concrete* aman. Sedangkan, pada penggunaan air biasa selama 7 hari suhu beton melampaui batas suhu yang diizinkan yaitu diatas 71°C sehingga penggunaan air biasa selama 7 hari pada metode *cooling pipe system* tidak bisa menggunakan air biasa selama 7 hari.

Dalam tahap pelaksanaan penulis menggunakan 2 *pile head* pada monitoring suhu *cooling pipe system* yaitu pada PH EJ 21-0 Arah Demak dan PH EJ 21-0 Arah Semarang. Hasil monitoring suhu pada kedua *pile head* tersebut yaitu suhu tertinggi pada PH EJ 21-0 Arah Demak pada jam ke-26, dengan suhu $64,8^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada PH EJ 21-0 Arah Semarang pada jam ke-20, dengan suhu $62,4^{\circ}\text{C}$.

Setelah dilaksanakan perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* maka dapat dilanjutkan untuk pelaksanaan pengujian kuat tekan beton. Kuat tekan beton dilaksanakan pada saat *job mix design*, *job mix formula* dan *mock up*, serta pada saat pelaksanaan yaitu pada PH EJ 21-0 Arah Demak dan Arah Semarang. Hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton *Mass Concrete* $F_c' 35 \text{ MPa}$ *Job Mix Design*, *Job Mix Formula*, dan Saat Pelaksanaan

Kelas Beton	Umur Beton	Kuat Tekan Beton Rata-Rata				Presentase Terhadap Mutu			
		JMD	JMF	Pelaksanaan		JMD	JMF	Pelaksanaan	
				PH EJ 21-0 Arah Demak	PH EJ 21-0 Arah Semarang			PH EJ 21-0 Arah Demak	PH EJ 21-0 Arah Semarang
				MPa	MPa			%	%
Fc'35 MPa	3	42,70	43,90	39,90	39,30	122,00	125,43	114,00	112,29
	7	53,30	49,70	44,40	44,00	152,29	142,00	126,86	125,71
	14	54,20	58,00	52,50	53,80	154,86	165,71	150,00	153,71
	28	59,30	66,70	58,30	57,80	169,43	190,57	166,57	165,14
	56	-	69,80	65,70	67,30	-	199,43	187,71	192,29



Gambar 3. Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton *Mass Concrete* F_c' 35 MPa *Job Mix Design*, *Job Mix Formula*, dan Saat Pelaksanaan

Pada **Tabel 3.** dan **Gambar 3.** kekuatan beton meningkat drastis pada beton umur 3 hari dan terus mengalami kenaikan sampai umur 28 hari. Setelah melewati umur 28 hari, beton mengalami kenaikan kekuatan yang tidak signifikan dan grafik nya cenderung sedikit melandai.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada pengujian beton *mass concrete* pada *pile head* ini telah didapatkan hasil penelitian dan analisis data. Berdasarkan tujuan penelitian maka kesimpulan yang didapatkan antara lain:

1. Identifikasi penelitian perawatan beton bervolume besar (*mass concrete*) pada *pile head* menggunakan *cooling pipe system* dengan 3 sistem pengaliran air yaitu 3 hari air es batu dilanjutkan 4 hari air biasa, 7 hari dengan air es batu, dan 7 hari dengan air biasa menghasilkan metode yang paling efektif dan efisien menggunakan metode perawatan dengan pengaliran air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari pada *cooling pipe*.
2. Hasil perawatan beton menggunakan metode *cooling pipe system* dengan penggunaan air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari mendapatkan suhu optimum pada jam ke-24 di inti beton (T1) adalah 69,2°C, pada jam ke-18 di tepi beton (T6) adalah 60,3°C dan suhu rata-rata optimum pada jam ke-24 adalah 63,0°C.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk membuat hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu memperbanyak benda uji yang diperlukan untuk dapat menganalisis pengendalian suhu lebih detail.
2. Perlu mengkaji lebih lanjut terkait penggunaan dan pengendalian suhu serta mutu *mass concrete*.
3. Memperhatikan dan menjaga kondisi material agar tidak mempengaruhi suhu yang dihasilkan.
4. Memperhatikan dan menjaga suhu beton agar tidak melebihi suhu optimum yang disyaratkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga kepada Dr. Ir. Juny Andry Suilstyo, S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penelitian, serta memberikan saran yang berharga dalam setiap tahap penelitian ini. Terima kasih kepada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1A yang telah menyediakan fasilitas dan peralatan yang sangat berguna dalam pelaksanaan eksperimen dan analisis data.

Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta bagi kemajuan pembangunan infrastruktur di Indonesia.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Wicaksono, & Naufal Musyirif Dzaki. (2024). “Metode Sistem Pendingin Mekanis (*Cooling System*) Untuk *Mass Concrete* Pada *Abutment Slab On Pile (Sop)* 8 dan *Overpass* Di Jalan Bebas Hambatan IKN Seksi 5B”
- Andry, J., Pratikso, P., & Mudiyo, R. (2023). Perilaku Aspal Wearing Course terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) dengan Bahan Tambah Polyethylene dan Fine Agregat Slag. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 187-192).
- Badan Standardisasi Nasional. (1993). *SNI 03-2834-1993: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BUCH-HK JO. (2024). “*Work Method Statment Mass Concrete of Pile Head Slab on Pile*

Toll Road Development of Semarang-Demak 1A

- Darmawan, Gerardus Mayella Benny. (2021). “Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Beton Dalam Skala Besar (*Mass Concrete*)”
- Fitriyana, L., & Satrio, E. M. (2022). Pengaruh penambahan fly ash sebagai bahan stabilisasi tanah lempung terhadap daya dukung pondasi dangkal. *Pondasi*, 27(2), 288–296.
- Hardagung, H. T., Sambowo, K. A., & Gunawan, P. (2014). Kajian Nilai Slump, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Tambahan Filler Abu Batu Paras. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 131–137.
- Husnah. (2015, Desember 31). Analisis Beton Mutu Tinggi F’c 80 MPa Dengan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Sainstek*, 3(2), 24–37. Universitas Abdurrah.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). “Spesifikasi Umum Untuk Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol”
- Kissi Rosari Pelangie. (2021). *Peninjauan Ulang Pekerjaan Spun Pile Hingga Pekerjaan Pile Head Dalam Metode Slab On Pile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2* (Tugas akhir, Universitas Diponegoro).
- Kurniadi, A., Rosyidin, I. F., Indarto, H., & Atmono, I. D. (2015). Desain struktur slab on pile. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 57–68.
- Kusumosusanto, J. W., dkk. (2023). *Buku saku petunjuk umum konstruksi PISEW 2023*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Pengembangan Kawasan Permukiman.
- 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)”
- Miswar, Trisna (2017). “Pengaruh Laju Aliran Fluida Pendingin dan Material Pipa Pendingin Terhadap Distribusi Temperatur Di Dalam Beton yang Didinginkan Dengan Sistem *Post Cooling*”.
- Prasetyadi, W. P. (2018). *Pengaruh Penambahan Pozzolan Pada Ordinary Portland Cement Terhadap Kualitas Pozzolan Portland Cement* (Skripsi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).
- Rochaeti, Jul Endawati, Lilian Diasti Dessi Widuri, & Moeljono. (2021). “Pengaruh Panas

Hidrasi Beton Dengan Semen Type II Terhadap Ketebalan Elemen Beton”

- Sancheti, G., Raitka, H., Bhatnagar, V., & Prasad, J. (2021, March 1). Statistical Analysis Of Influencing Design Parameters For Two Way Slabs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1136(1), 012046.
- Siti Abadiyah, Basirun, & Jamaludin Harits Nur Hafidz. (2021) “Studi Perbedaan Temperatur Beton Massa Pada Pekerjaan *Raft Foundation* Dengan Ketebalan 2,5 Meter”
- Yusuf Suranto, & Olvi Pamadya. (2024). “Analisis Metode Pendinginan Pengecoran *Pile Cap* Pada Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek”
- Zhang, T., Wang, H., Luo, Y., Yuan, Y., & Wang, W. (2023). Hydration heat control of mass concrete by pipe cooling method. *Materials*, 16(7), 2925.
- Zulkarnain, F. (2021). *Teknologi Beton*. Medan: UMSU Press.