

MONITORING DAN ANALISIS SUHU BETON MASSA FC'41,5 MPa PADA GEDUNG LINAC MENGGUNAKAN THERMOCOUPLE (PROYEK RSKB COLUMBIA ASIA SEMARANG)

Gloria Herlin Immaculata¹, Anggi Rahmad Zulfikar²
Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Jawa Timur
E-mail: *herlingloria53@gmail.com¹

ABSTRAK

Beton massa merupakan elemen struktural kritis pada pembangunan gedung Linac disebuah rumah sakit, yang berfungsi ganda sebagai penahan beban struktural dan perisai radiasi. Penelitian ini bertujuan melakukan monitoring dan analisis suhu beton massa dengan mutu $fc'41,5$ MPa selama proses konstruksi menggunakan sensor *thermocouple*.

Beton massa didefinisikan oleh ACI 207.1R sebagai beton dengan volume dan dimensi besar sehingga kenaikan temperatur akibat panas hidrasi semen serta perbedaan suhu antara bagian dalam dan permukaan menjadi aspek utama yang perlu dikendalikan. Panas hidrasi yang terperangkap di dalam elemen beton menyebabkan peningkatan suhu internal yang dapat mencapai 80°C pada elemen dengan ketebalan lebih dari 1 meter. Selisih temperatur yang besar antara inti dan permukaan beton tidak melebihi 20°C yang dapat menimbulkan tegangan termal yang berpotensi menyebabkan retak dini (*thermal cracking*), yang tidak hanya menurunkan kualitas beton tetapi juga dapat menjadi jalur kebocoran radiasi pada gedung Linac. Penelitian ini menggunakan metode pemantauan suhu secara real-time dengan memasang *thermocouple* pada berbagai titik dan kedalaman beton massa. Data suhu dianalisis untuk mengidentifikasi lonjakan temperatur dan memastikan selisih suhu antara inti dan permukaan tetap berada di bawah batas aman 20°C sesuai rekomendasi ACI 207.1R. Monitoring suhu beton massa pada proyek RSKB Columbia Asia Semarang menunjukkan bahwa pengendalian temperatur selama proses hidrasi sangat krusial untuk mencegah retak termal yang dapat menyesuaikan fungsi ruangan sebagai perisai radiasi. Penerapan metode monitoring dengan *thermocouple* memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah termal, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan secara tepat waktu. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi industri konstruksi Indonesia dalam memahami pentingnya monitoring suhu pada beton massa, khususnya untuk fasilitas kesehatan dengan persyaratan keamanan radiasi yang ketat.

Kata kunci

Beton Massa, Gedung Linac, Monitoring Suhu, Thermocouple

ABSTRACT

*Mass concrete is a critical structural element in the construction of a hospital's Linac building, serving both as a load-bearing structure and a radiation shield. This study aims to monitor and analyze the temperature of mass concrete with a strength of $fc'41.5$ MPa during construction using thermocouple sensors. Mass concrete is defined by ACI 207.1R as concrete with large volumes and dimensions, so temperature increases due to the heat of cement hydration and the temperature difference between the interior and the surface are key aspects that need to be controlled. The heat of hydration trapped within the concrete element causes an increase in internal temperature, which can reach 80°C in elements more than 1 meter thick. A large temperature difference between the core and the surface of the concrete, not exceeding 20°C , can create thermal stresses that can potentially lead to premature cracking (*thermal cracking*), which not only degrades the concrete quality but also creates a pathway for radiation leakage in the Linac building. This study used a real-time temperature monitoring method by installing thermocouples at various points and depths within the mass concrete. Temperature data was analyzed to identify temperature spikes and ensure the temperature difference between the core and the*

surface remained below the safe limit of 20°C as recommended by ACI 207.1R. Monitoring the temperature of mass concrete at the Columbia Asia Semarang Hospital (RSKB) project demonstrated that temperature control during the hydration process is crucial to prevent thermal cracking, which could compromise the room's function as a radiation shield. The application of thermocouple monitoring enabled early detection of potential thermal problems, allowing timely corrective action. This research provides a practical contribution to the Indonesian construction industry in understanding the importance of temperature monitoring in mass concrete, particularly for healthcare facilities with stringent radiation safety requirements.

Keywords

Mass Concrete, Linac Building, Temperature Monitoring, Thermocouple

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta mampu menahan beban yang besar. Pada pekerjaan dengan volume pengecoran yang besar, beton dapat dikategorikan sebagai beton massa yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan beton dengan volume kecil. Salah satu permasalahan utama pada beton massa adalah timbulnya panas hidrasi akibat reaksi antara semen dan air. Panas yang dihasilkan dapat terakumulasi di dalam beton sehingga menyebabkan peningkatan temperatur pada bagian inti beton.

Peningkatan temperatur pada beton massa perlu diperhatikan karena perbedaan temperatur antara bagian dalam dan permukaan beton dapat menimbulkan tegangan termal. Apabila tegangan tersebut melebihi kemampuan beton dalam menahan tarik, maka dapat terjadi retak termal yang berpotensi memengaruhi kinerja dan durabilitas struktur. Oleh karena itu, pemantauan temperatur selama proses awal pengerasan beton diperlukan untuk mengetahui perkembangan temperatur serta mengidentifikasi kondisi yang berpotensi menimbulkan permasalahan termal.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau perkembangan temperatur beton adalah *thermocouple*. *Thermocouple* memungkinkan pengukuran temperatur pada beberapa titik di dalam beton secara berkala sehingga perubahan temperatur dari waktu ke waktu dapat diketahui. Pengukuran pada beberapa posisi juga dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan temperatur antara bagian inti dan permukaan beton. Hal tersebut menjadi penting pada pekerjaan beton massa dengan mutu tinggi, termasuk beton dengan mutu F_c 41,5 MPa yang digunakan pada pembangunan gedung Linear Accelerator (Linac).

Penelitian mengenai temperatur beton massa telah banyak dilakukan untuk mengetahui pengaruh panas hidrasi terhadap perkembangan temperatur dan potensi terjadinya retak termal. Namun, karakteristik perkembangan temperatur dapat berbeda bergantung pada mutu beton, volume pengecoran, kondisi lingkungan, metode curing, serta posisi pengukuran. Oleh karena itu, diperlukan pengamatan langsung pada kondisi lapangan untuk memperoleh gambaran mengenai perilaku temperatur beton massa pada kondisi pengecoran yang sebenarnya. Selain itu, perbandingan dengan benda uji beton berukuran lebih kecil dapat memberikan informasi mengenai perbedaan karakteristik pelepasan panas antara beton massa dan benda uji laboratorium.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memonitor dan menganalisis perkembangan temperatur beton massa F_c 41,5 MPa pada Gedung Linac menggunakan *thermocouple* tipe K. Analisis dilakukan terhadap perubahan temperatur pada setiap titik pengukuran, temperatur maksimum dan minimum, waktu

pencapaian temperatur maksimum, serta perbedaan temperatur antara titik pengukuran. Hasil monitoring kemudian digunakan untuk mengevaluasi karakteristik temperatur beton massa dan membandingkannya dengan temperatur pada benda uji silinder berukuran 15 × 30 cm.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental lapangan untuk memonitoring dan menganalisis perkembangan temperatur beton massa Fc 41,5 MPa pada pembangunan Gedung Linear Accelerator (Linac). Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan *thermocouple* tipe K yang dipasang pada beberapa titik pengukuran pada elemen beton untuk memperoleh data temperatur pada bagian yang berbeda. Monitoring dilakukan secara berkala setelah proses pengecoran sudah selesai hingga monitoring suhu pada beton massa yang telah ditentukan. Selain monitoring pada beton massa, dilakukan pula pengamatan terhadap benda uji silinder beton berukuran 15 x 30 cm sebagai pembanding karakteristik perkembangan temperatur.

Data hasil pengukuran temperatur kemudian dicatat dan diolah berdasarkan waktu pengamatan yaitu Gedung Linac 3-4 hari berturut-turut dari bulan September hingga Oktober dan benda uji selama 28 hari untuk mengetahui pola perubahan temperatur beton. Pengukuran pada beberapa posisi juga dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan temperatur antara lapisan (udara, atas, tengah, bawah). Menurut standard ACI 207.1R-96 tentang *mass concrete* terdapat batasan nilai temperature antar lapisan yaitu tidak lebih dari 20°C, dimana suhu maksimum beton $\leq 80^\circ\text{C}$. Hasil pengukuran beton masa selanjutnya dibandingkan dengan data benda uji silinder untuk mengetahui perbedaan karakteristik perkembangan dan pelepasan panas kedua kondisi tersebut. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi perilaku temperatur beton selama proses awal pengerasan serta mengidentifikasi kondisi temperatur yang berpotensi menimbulkan tegangan termal pada beton.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Monitoring Suhu Beton Massa

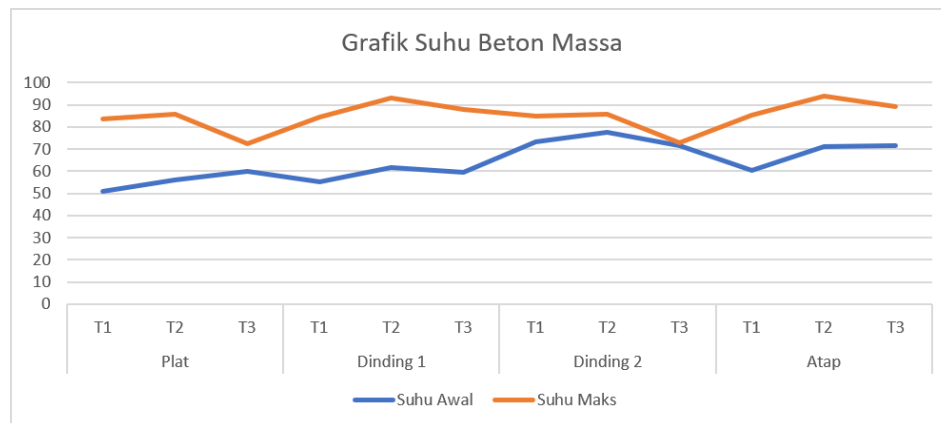
Hasil monitoring temperatur beton massa Fc 41,5 MPa pada Gedung LINAC diperoleh melalui pengukuran menggunakan *thermocouple* tipe K yang dipasang pada beberapa titik pengukuran di setiap tahapan pengecoran. Pada pengamatan penelitian ini dilakukan dalam satu arah vertikal bertujuan untuk mendapatkan gambaran bagaimana keadaan beton yang berbeda antar lapisan yaitu lapisan permukaan atas, lapisan tengah dan lapisan permukaan bawah beton. Beton massa pada Gedung Linac diamati pada 3 titik yaitu : (a) Lapisan permukaan atas berjarak 300 cm dibawah lapisan permukaan atas beton. (b) Lapisan tengah berada di tengah kedalaman beton yang berjarak 300 cm. (c) Lapisan permukaan bawah berjarak 300 cm dibawah lapisan beton. Monitoring dilakukan secara bertahap mengikuti pelaksanaan pengecoran beton per-layer untuk mengetahui perkembangan temperatur pada masing-masing lapisan beton. Data temperatur yang diperoleh kemudian dicatat berdasarkan waktu pengukuran dan digunakan untuk mengetahui karakteristik perubahan temperatur beton selama proses awal pengerasan.

Hasil pengukuran temperatur pada setiap layer dirangkum berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu temperatur awal, temperatur maksimum, waktu pencapaian

temperatur maksimum, temperatur akhir, dan perbedaan temperatur (ΔT) antar titik pengukuran. Rekapitulasi hasil monitoring temperatur beton massa pada setiap tahapan pengecoran disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Monitoring Suhu Beton Massa

Layer	Sensor	Suhu Awal (°C)	Suhu Maks (°C)	Waktu Tmax (jam)	ΔT (T2-T1)	Durasi Pendinginan
Plat	T1	51	83,5	20	2,4°C	2 hari
	T2	56	85,9	63		25 jam
	T3	60	72,6	67		20 jam
Dinding 1	T1	55,3	84,3	64	8,6°C	4 hari
	T2	61,5	92,9	60		4 hari
	T3	59,6	87,9	64		4 hari
Dinding 2	T1	73,5	84,8	24	1,1°C	1 hari
	T2	77,6	85,9	48		3 hari
	T3	71,6	72,9	4		44 jam
Atap	T1	60,4	85,4	33	8,6°C	24 jam
	T2	71,2	94	45		9 jam
	T3	71,7	89	33		1 hari



Gambar 1. Grafik Monitoring Suhu Beton Massa

Pada gambar 1, berdasarkan hasil monitoring temperatur awal dan maksimum menunjukkan pola kenaikan dan penurunan pada setiap titik pengukuran. Pada elemen plat, temperatur maksimum meningkat dari sekitar 84°C (T1) menjadi 86°C (T2), kemudian menurun menjadi 72°C (T3). Pada dinding 1, temperatur maksimum meningkat dari 85°C (T1) menjadi 93°C (T2) dan menurun menjadi 88°C (T3). Dinding 2 menunjukkan pola serupa, dengan temperatur maksimum 85°C (T1), 86°C (T2), dan 72°C (T3). Sementara itu, pada atap temperatur maksimum meningkat dari 85°C (T1) menjadi 93°C (T2), kemudian menurun menjadi 89°C (T3). Secara umum, titik T2 menunjukkan temperatur maksimum tertinggi pada beberapa elemen, sedangkan penurunan pada T3 menunjukkan adanya perbedaan distribusi temperatur antar titik pengukuran. Perbedaan temperatur yang terjadi pada setiap titik pengukuran dapat berkaitan dengan posisi *thermocouple* dan karakteristik pelepasan panas pada masing-masing elemen beton. Peningkatan temperatur pada beton terjadi akibat panas hidrasi semen yang dihasilkan selama proses hidrasi. Pada beton dengan volume yang relatif besar, panas tersebut dapat terakumulasi karena pelepasan panas ke lingkungan berlangsung lebih lambat. Selain panas hidrasi, temperatur beton juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, temperatur awal beton, sifat termal material, serta kondisi permukaan beton. Pada beton massa, perbedaan temperatur antara bagian tengah beton dan permukaan perlu

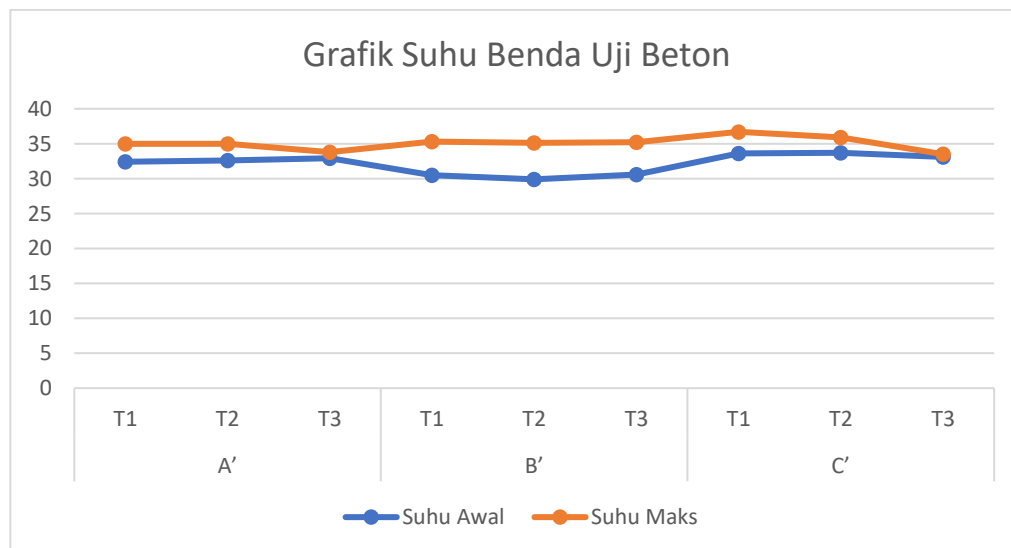
diperhatikan karena grafik temperatur yang besar dapat meningkatkan tegangan termal dan berpotensi menyebabkan retak pada beton. Upaya yang dilakukan untuk mencegah retak beton yang terjadi dengan *curing* yang secara intens untuk menjaga kelembapan yang cukup pada proses hidrasi hingga dinyatakan apabila selisih antar lapisan yaitu tidak lebih dari 20°C, dilanjut pemasangan plastik *cor*, *styrofoam*, ketika selisih suhu melebihi batas meletakan bongkahan es.

3.2 Hasil Monitoring Benda Uji

Hasil monitoring temperatur pada benda uji diperoleh melalui monitoring suhu menggunakan *thermocouple* tipe K yang dipasang pada beberapa bagian monitoring pada benda uji silinder berukuran 15 × 30 cm dilakukan selama 28 hari. Monitoring ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan temperatur selama proses pengerasan beton. Data hasil monitoring kemudian dirangkum berdasarkan temperatur awal, temperatur maksimum, waktu pencapaian temperatur maksimum, dan perbedaan temperatur (ΔT) antar titik pengukuran. Rekapitulasi hasil monitoring temperatur benda uji disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Monitoring Suhu Benda Uji

Layer	Sensor	Suhu Awal (°C)	Suhu Maks (°C)	Waktu Tmax (jam)	ΔT	Durasi Pendinginan
					(T2-T1)	
A'	T1	32,4	35	70	0°C	24 hari
	T2	32,6	35	70		24 hari
	T3	32,9	33,8	526		6 hari
B'	T1	30,5	35,3	506	0,2°C	5 hari
	T2	29,9	35,1	506		5 hari
	T3	30,6	35,2	499		6 hari
C'	T1	33,6	36,7	451 jam	0,8°C	8 hari
	T2	33,7	35,9	667 jam		5 hari
	T3	33,1	33,5	20 jam		26 hari



Gambar 2. Monitoring Benda Uji

Pada gambar 2, berdasarkan hasil pengukuran, temperatur maksimum tertinggi terdapat pada titik T1 kelompok C', yaitu sebesar sekitar 36,7°C. Hal ini menunjukkan bahwa titik tersebut mengalami peningkatan temperatur paling besar dibandingkan titik pengukuran lainnya pada grafik. Perbedaan temperatur antar titik dapat dipengaruhi oleh posisi *thermocouple* terhadap bagian dalam dan permukaan beton, kondisi lingkungan,

serta karakteristik pelepasan panas pada elemen beton. Upaya yang dilakukan untuk mencegah retak beton yang terjadi dengan *curing* yang secara intens untuk menjaga kelembapan yang cukup pada proses hidrasi hingga dinyatakan apabila selisih antar lapisan yaitu tidak lebih dari 20°C, dilanjut pemasangan plastik *wrap*, *styrofoam*, dan pemberian bongkahan es batu. Perubahan temperatur pada benda uji silinder dipengaruhi oleh panas hidrasi semen yang menyebabkan peningkatan temperatur pada tahap awal pengerasan. Setelah mencapai temperatur maksimum, panas secara bertahap dilepaskan ke lingkungan sehingga temperatur menurun. Ukuran benda uji yang relatif kecil memungkinkan pelepasan panas berlangsung lebih cepat dibandingkan beton massa.

3.3 Analisis Suhu Beton

Menurut ACI 207.1R-96 agar beton massa tidak terjadi retak *thermal* maka perbedaan selisih temperature permukaan beton dengan temperatur didalam beton yang diperkenankan adalah sebesar 20°C. dari monitoring suhu pada Gedung Linac diperoleh data dan dicek dengan menghitung selisih temperature atas tidak boleh melebihi 20°C dengan ketentuan:

1. α_1 yaitu selisih antara beda suhu atas dengan suhu tengah
2. α_2 yaitu selisih antara beda suhu tengah dengan suhu bawah
3. α_3 yaitu selisih antara beda suhu atas dengan suhu udara

Hasil rata-rata perhitungan deviasi antara suhu atas, bawah, dan tengah pada *thermocouple* Gedung Linac (12) dan benda uji (9), sebagian besar titik pengukuran menunjukkan perbedaan temperature yang masih berada dalam batas deviasi yang ditentukan. Namun, terdapat satu titik bagian monitoring *thermocouple* yang menghasilkan nilai deviasi sebesar 50,8°C, sehingga melebihi batas yang ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan temperatur yang lebih besar pada titik monitoring. Penyimpangan temperatur pada titik tersebut dapat dipengaruhi oleh distribusi panas yang tidak merata di dalam beton, kondisi lingkungan, proses *curing* yang kurang tepat, maupun perbedaan proses pelepasan panas pada lokasi monitoring.

Pada penelitian Yusuf Suranto dan Olvi Pamadya, 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 pada Gedung Linac dan benda uji dengan permukaan beton menggunakan *styrofoam*, plastik cor dan penggunaan balok es dengan meningkatkan suhu beton yang terjadi suhu dapat menurun secara bertahap oleh proses pencairan es yang bersentuhan dengan permukaan beton secara bertahap menyerap ke dalam pori-pori permukaan dan kembali pada nilai deviasi yang ditentukan.

3.4 Perbedaan Perilaku Temperatur

Perbedaan perilaku temperatur antara beton massa pada Gedung Linac dan benda uji silinder yaitu perkembangan temperatur beton dipengaruhi beberapa faktor, antara lain panas hidrasi, ukuran atau volume elemen yaitu benda uji silinder lebih kecil dibandingkan dengan beton massa pada Gedung Linac, kondisi *curing*, kondisi dan situasi pada lingkungan. Secara umum, peningkatan temperature pada tahap awal terjadi akibat reaksi hidrasi antara material dan air. Panas yang dihasilkan selama proses tersebut menyebabkan temperature beton meningkat hingga mencapai temperature maksimum sebelum selanjutnya mengalami penurunan seiring berjalannya waktu pengerasan dan terjadinya pelepasan panas ke lingkungan waktu yang rentan adalah 7 hari pertama.

Kondisi *curing* dapat mempengaruhi perkembangan temperature, terutama melalui perubahan kondisi kelembapan dan perpindahan panas pada permukaan beton. Selain itu, kondisi lingkungan seperti suhu udara, cuaca yang tidak menentu, terkadang

bisa panas dan bisa tiba-tiba mendung lalu turun hujan, kelembapan pada permukaan atas beton yang kurang relatif. Oleh karena itu, perbedaan kondisi antara beton massa di lapangan dan benda uji silinder selama proses *curing* dapat menyebabkan pola kenaikan dan penurunan temperatur yang tidak sama.

3.5 Evaluasi Hasil Monitoring

Evaluasi hasil monitoring yang dilakukan dengan membandingkan suhu pada Gedung Linac dan benda uji terhadap kriteria pengendalian suhu beton massa. Hasil monitoring menunjukkan bahwa temperatur beton mengalami peningkatan dan penurunan akibat panas hidrasi secara bertahap. Pada Gedung Linac temperatur maksimum mencapai nilai diatas 70°C kurang dari 80°C, sedangkan temperatur maksimum pada benda uji 36,7°C menunjukkan nilai yang lebih kecil dari pada beton massa. Berdasarkan kriteria ACI 301-20, kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengendalian temperatur pada pengecoran beton massa perlu mendapat perhatian lebih mengantisipasi terjadinya retak *thermal*.

Dengan demikian, hasil monitoring tidak hanya berfungsi untuk mengetahui perkembangan temperatur beton, tetapi juga menjadi dasar evaluasi terhadap efektivitas pengendalian temperatur selama pengecoran. Pada pelaksanaan pengecoran beton massa Gedung Linac maupun benda uji, monitoring temperature menggunakan thermocouple dapat digunakan sebagai instrument pengawasan untuk mengidentifikasi kondisi temperature yang berpotensi menimbulkan retak *thermal* dan sebagai dasar dalam menentukan tindakan pengendalian temperature selama proses pengerasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian maka kesimpulan didapatkan antara lain:

1. Monitoring menunjukkan temperatur beton meningkat akibat panas hidrasi, mencapai maksimum, dan kemudian menurun; beton massa Gedung Linac memiliki temperatur lebih tinggi daripada benda uji silinder karena kapasitas penyimpanan panasnya yang lebih besar.
2. Penelitian pada beton massa Gedung Linac menunjukkan suhu maksimum pada plat lantai yaitu 79,37°C, dinding 1 yaitu 88,07°C, dinding 2 yaitu 79,80°C dan atap yaitu 89,43°C dan silinder A' yaitu 33,97°C, silinder B' yaitu 35,17°C, serta silinder C' yaitu 35,47°C. Temperatur maksimum pada beton massa gedung ruang *linac* lebih tinggi dibandingkan benda uji silinder karena kemampuan beton massa dalam menyimpan panas lebih besar.
3. Analisis deviasi silinder A' temperatur antara bagian dalam dan permukaan beton, diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0°C hingga 3,3°C, Silinder B' temperatur antara bagian dalam dan permukaan beton, diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0°C hingga 5,1°C, Silinder C' temperatur antara bagian dalam dan permukaan beton, diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0°C hingga 4,5°C. Pada gedung *Linac* hasil analisis selisih pada plat lantai temperatur antara bagian dalam dan permukaan beton, diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0,1°C hingga 56,3°C, dinding 1 diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0,1°C hingga 57,1°C, dinding 2 diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0,3°C hingga 56,5°C, atap diperoleh nilai deviasi berkisar antara 0,5°C hingga 56,9°C. Pengendalian temperatur yang diterapkan selama proses pengecoran mampu menjaga kenaikan temperatur tetap terkendali sehingga selama periode monitoring tidak ditemukan indikasi retak termal pada struktur gedung ruang *Linac*

4. Temperatur beton di Gedung Linac lebih tinggi dan bertahan lebih lama dibanding silinder karena volume yang lebih besar menyimpan panas hidrasi lebih baik, meskipun kedua benda uji mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton hingga 28 hari.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adelia Agustin, Nadya Shafira Salsabila, (2025). Desain Bunker LINAC sebagai Upaya Pencegahan Radiasi.
- A. Ikhsan Karim, (2015), Pengaruh Penggunaan Semen Pozzolan Tipe-B Terhadap Kuat Tekan Beton.
- Alimudin Salo, Erlin Diana, Wahyu Sukma Nur Azizah, Ika Putra Viratama, (2023). Suhu Dan Kalor.
- A. M. Neville (2011) *Properties of Concrete, 5th Edition, Pearson Education.*
- American Cancer Society, (2024). *Radiation Therapy.*
- American Concrete Society, (2019). *Concrete Design Guide.*
- American Concrete Intitute 207.1R-96, (2021)
- American Concrete Intitute 207.4R-05 (2005)
- American Concrete Intitute 301, (2020), *Specifications For Concrete Construction*
- American Concrete Intitute 308R-01, (2001), *ACI Guide To Curing Concrete : Methods & Best Practices.*
- Ardian Yulianto, (2019), Metode Pengukuran Suhu Beton Dengan *Thermocouple*
- Darmawan, G. M. B, (2021). Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Beton dalam Skala Besar (Mass Concrete): Studi Kasus Proyek Warehouse PT. Ishiyama International, Cikupa, Tangerang, Banten. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Dina Novianti, Rayhan Maulana Prakusya, (2025). Analisis Beton Mass Concrete Pada Pile Head Dengan Cooling Pipe Sistem (Studi Kasus:Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi IA STA 8+314-STA 10+394)
- Direktori Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi
<https://direktori.pp.id.semarangkota.go.id/tempat/rs-columbia-asia-semarang/>
- Fahadila F. Remi, (2017), Kajian Faktor Penyebab Cost Overrun Pada Proyek Konstruksi Gedung.
- FHWA-04-122, (2005), *Federal Highway Administration Research and Technology, Coordinating, Developing, and Delivering Highway Transportation Innovations.*
- Fitri Swastika Wardhani (2016), Studi Temperatur Dan Pembuatan Beton Massa Dengan Ketebalan 4 Meter.
- I Putu Ariawan, I Ketut Sukarata, I Ketut Nuraga. (2023). Antisipasi Pencegahan Retakan Beton Pada Ruang Linac Rumah Sakit Umum Daerah Badung.
- Ir. Muchamad Arif Budiyanto, S.T., M.Eng., IPM. (2024). *Civil Engineering and Techonology Journal.*
- Muhammad Humaidi, Muhammad Hafizh, (2011). Pengaruh Nilai Slump Terhadap Kuat Tekan.
- Niken Indriyani, Mirza Ghulam Rifqi, M. Galuh Khomari, (2021). Pengaruh Variasi Air 7°C, 17°C, dan 27°C Pada Campuran Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Struktural.
- R. Magesh, R. Parthiban, P.V.Pravin. Kumar, R. Rajesh Kumar, S.S. Manu, (2019), *Evalution Of Concrete Strength By Monitoring Concrete Temperature Using Sensor.*
- SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal Beton Berat dan Beton Massa

- SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
SNI 2049:2015, Semen Portland
- Stenly Roike Ibo, Irianto², Didik S.S. Mabui, (2025) Analisis Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Agregat Lokal Kabupaten Sarmi Dengan Variasi Air Perendaman.
- Sudarsono P Tampubolon, S. T., M.Sc, (2022), Struktur Beton 1
- Sylvina Permatasari, (2019). Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 Menggunakan Agregat Kasar PT. AMR Dan Agregat Halus Desa Sanggup Kota Baru.
- Juny Handayani, Muhamad Lutfi, Nurul Chayati, Fadhila Muhammad Libasut Taqwa, (2019). Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa Pada Raft Foundation Ketebalan 3 Meter.
- Xie, Y., Du, W., Xu, Y., Peng, B., & Qian, C. (2023). *Temperature Field Evolution Of Mass Concrete: From Hydration Dynamics, Finite Element Models To Real Concrete Structure*.
- Zhang, Y., Wang, S., He, S., & Hao, X. (2023). *Analysis of factors influencing the temperature field variation in mass concrete during hydration heat release*
- Zhao (2021), *Effect of Thermal Parameters on Hydration Heat Temperature and Thermal Stress of Mass Concrete*.