

Penerapan *Cooling System* pada Perancangan Struktur Beton Massa (*Mass Concrete*) Jembatan Sungai Wain

ABSTRAK

Struktur bawah Jembatan Sungai Wain dilakukan secara cast insitu, dari bagian pier head sampai pile cap jembatan yang memerlukan beton volume besar atau yang disebut beton massa (*mass concrete*). Saat proses pengecoran beton massa diperlukan perlakuan khusus, mulai dari proses persiapan sampai dengan pengerasan pada beton karena harus menjaga suhu pada beton yang tidak boleh melebihi 71°C dan pada masing-masing lapisan tidak boleh melebihi 20°C. Beberapa aspek yang menyebabkan suhu meningkat antara lain panas hidrasi dari semen, waktu penguatan beton, dan suhu lingkungan yang jika tidak diawasi akan menyebabkan retak thermal dan berpengaruh pada umur rencana & mutu beton. Metode yang dilakukan untuk menjaga suhu beton massa pile cap dengan penerapan *cooling system* yang terdiri dari proses pengendalian suhu pada material-material penyusun beton & proses *post-cooling of concrete* dengan menggunakan *pipe cooling*. Hasil pada proses pengecoran beton massa (*mass concrete*) menggunakan metode *cooling system* adalah suhu yang dihasilkan rata-rata setiap jam sebesar 61°C dan metode ini cukup tepat untuk dilaksanakan dalam pengecoran beton massa.

Kata kunci: Jembatan, Pile Cap, Pengecoran, Suhu Beton, Beton Massa, *Cooling System*

Klasifikasi JEL:

PENDAHULUAN

Jalan Tol IKN Seksi 3A Segmen Karangjoang – KKT Kariangau merupakan bagian dari jaringan jalan tol penunjang Ibu Kota Negara Nusantara di Provinsi Kalimantan Timur. Panjang penanganan pada Jalan Tol IKN seksi 3A ini adalah 9.275 m yang terdiri dari pembangunan jalan utama (*mainroad*) sepanjang 4.170 m; jembatan sepanjang 1.095 m; *elevated slab on pile* sepanjang 4.010 m; dan *overpass* sebanyak 4 lokasi dengan panjang yang variatif. Salah satu jembatan pada Jalan Tol IKN Seksi 3A adalah Jembatan Sungai Wain yang terdiri dari struktur atas menggunakan precast concrete (PCI dan PCT); dan struktur bawah menggunakan cast insitu pada struktur pier head, pile cap, hingga bore pile. Proses pengecoran

struktur bawah jembatan terutama pada bagian pile cap menggunakan beton volume besar mencapai $\pm 275 \text{ m}^3$ atau lebih dikenal sebagai struktur beton massa (*mass concrete*), dimana beton massa yang dimaksud merupakan beton dengan volume besar dan memiliki tebal melebihi 130 cm.

Pada beton massa (*mass concrete*) diperlukan perlakuan khusus, mulai dari proses persiapan, pelaksanaan, dan pengerasan, karena suhu beton yang dihasilkan tidak boleh melebihi $71,0^\circ\text{C}$ dan umumnya terdapat perbedaan suhu (lebih dari $20,0^\circ\text{C}$) yang terjadi di antara lapisan pada beton dapat disebabkan oleh beberapa parameter, antara lain panas dehidrasi dari semen, waktu penuangan beton, dan suhu lingkungan. Peningkatan suhu melebihi batas maksimum akan menyebabkan umur rencana (*durability*) berkurang, retak thermal, bahkan mutu beton yang direncanakan tidak tercapai. Untuk itu perlu dijaga agar perbedaan suhu antar lapisan tidak melebihi ketentuan, maka bagian tepi atas perlu dicuring dengan *curing compound* dan ditambah sistem insulasi permukaan yang berfungsi untuk menguatkan beton pada fase perkerasan agar beton memiliki kuat tekan optimum atau yang direncanakan.

Salah satu metode yang diterapkan agar suhu tetap terjaga pada struktur beton massa (*mass concrete*) pile cap di Jembatan Sungai Wain adalah penerapan *cooling system* yang terdiri dari proses pengendalian suhu pada material-material penyusun beton, seperti pendinginan yang dilakukan pada agregat kasar; dan proses *post-cooling of concrete* dengan cara pengontrolan suhu beton dengan sirkulasi air dingin melalui pipa-pipa di dalam beton (*cooling pipe*).

Proses *cooling pipe* diamati setiap jam pada saat proses penuangan sampai dengan pengerasan agar suhu beton dapat diidentifikasi dan juga diprediksikan apabila ada kenaikan suhu saat ataupun sesudah pengecoran berlangsung. Dari hasil dan kesimpulan pengamatan pada proses pengecoran beton massa (*mass concrete*) menggunakan *pipe cooling*, suhu yang dihasilkan rata-rata setiap jam sebesar 61°C sehingga metode ini cukup tepat untuk dilaksanakan dalam pengecoran beton massa pile cap pada proyek Jalan Tol IKN Seksi 3A.

LATAR BELAKANG

Artikel ini disusun dengan tujuan untuk mengetahui proses pengecoran beton massa (*mass concrete*) pada struktur jembatan terutama pada bagian pile cap jembatan agar suhu pada beton massa tetap berada dibawah batas maksimum dengan menerapkan proses *cooling system* pada

sebelum proses pengecoran dilakukan (*pre-cooling of concrete*) dan saat dan/atau setelah proses pengecoran (*post cooling of concrete*). Pada bagian ini akan dijelaskan secara umum mengenai geometri jembatan Sungai Wain hingga pengertian dari beton massa (*mass concrete*), hingga penjelasan *cooling system*.

1. Jembatan Sungai Wain

Pada STA 18+650 – 19+575 terdapat 3 persimpangan ruas utama Jalan Tol IKN Seksi 3A dengan Sungai Wain. Panjang masing-masing persimpangan Sungai sebesar 71,5 m; 95,5 m; dan 60,6 m sehingga pada lokasi tersebut direncanakan ruas utama Jalan Tol IKN dengan jembatan yang bernama Jembatan Sungai Wain. Geometri Jembatan Sungai Wain memiliki 2 sisi dengan masing-masing panjang pada sisi utara sepanjang 918,2 m dan panjang sisi selatan 926,7 m. Geometri jembatan ruas utama jalan Tol IKN di lokasi Sungai Wain dijabarkan pada tabel dan gambar-gambar berikut.

Tabel 1 Geometri umum Jembatan Sungai Wain

Panjang total jembatan	Sisi utara = 918.2 m, Sisi selatan 926.7 m
Lebar jembatan	2 x 17.15 m
Struktur atas	PCI Girder 40.8 m
	PCI Girder 45.8 m
	PCT Girder 60.8 m
Pelat lantai jembatan	Cast in situ slab, t = 250 mm
Struktur bawah	Pier head, Pier head Prestress, Pier leg, Pile cap Cast in situ
Fondasi	Bored pile Ø1000

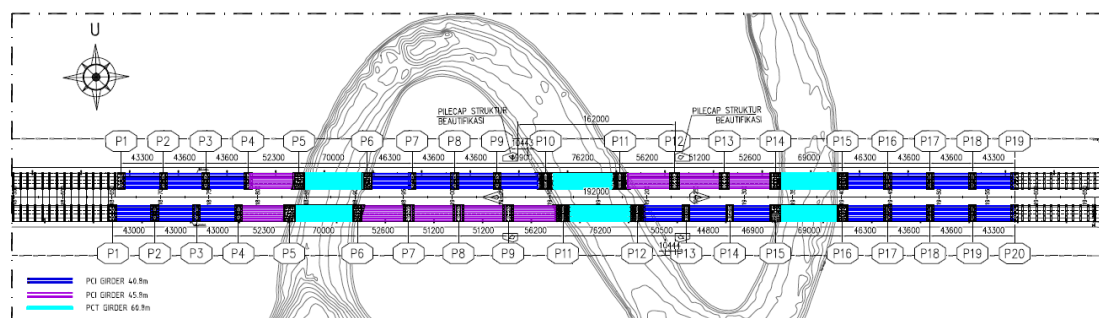


Gambar 1 Lokasi Jembatan Sungai Wain pada Jalan Tol IKN Seksi 3A

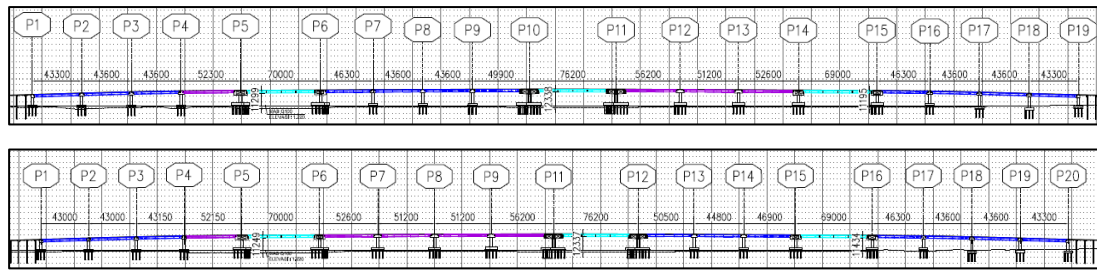
Jembatan Sungai Wain didesain dengan beberapa tipe struktur pier yang dirangkum pada tabel dan gambar sebagai berikut.

Tabel 2 Struktur Pier Jembatan Sungai Wain

Tipe	Pier	Lokasi	Konfig. Tiang	Dim. Pile Cap (p x l x t)	Dim. Pier Leg (p x l)	Lebar Pier Head	Lebar Backwall	Volume Pile Cap
				m	m	m	m	m ³
1	P1	U & S	5 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	3.3	1.8	274,4
	P19	U						
	P20	S						
2	P2, P3, P7, P8, P9, P16, P17, P18	U	6 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	4.6	2.6	274,4
	P17, P18, P19	S	6 x 3					
3	P2, P3	S	6 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	4	2	274,4
4	P4	U	6 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	4.6	2.6	274,4
5	P4	S	6 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	4.3	2.3	274,4
6	P5	U & S	7 x 4	11 x 17.15 x 2.25 (skew)	2.6 x 2.25	12	10	415,1
7	P6	U	7 x 4	11 x 17.15 x 2.25 (skew)	2.6 x 2.25	10	8	415,1
8	P6	S	7 x 4	11 x 17.15 x 2.25 (skew)	2.6 x 2.25	10	8	415,1
9	P7, P8, P9	S	6 x 4	11 x 17.15 x 2.25	2.25 x 2.25	7.2	5.2	415,1
	P12, P13	U						
10	P10	U	7 x 5	13.2 x 17.15 x 2.5 (skew)	1.2 x 3	17.2	15.2	498,1
	P12	S						
11	P11	S	7 x 5	13.2 x 17.15 x 2.5 (skew)	1.2 x 3	17.2	15.2	498,1
	P11	U						
12	P13, P14	S	6 x 3	8 x 17.15 x 2	2 x 2	5.8	3.8	415,1
13	P15, P16	S	7 X 4	11 x 17.15 x 2.25	2.6 x 2.25	10	8	415,1
	P15	U						
14	P14	U	7 X 4	11 x 17.15 x 2.25	2.6 x 2.25	10	8	415,1

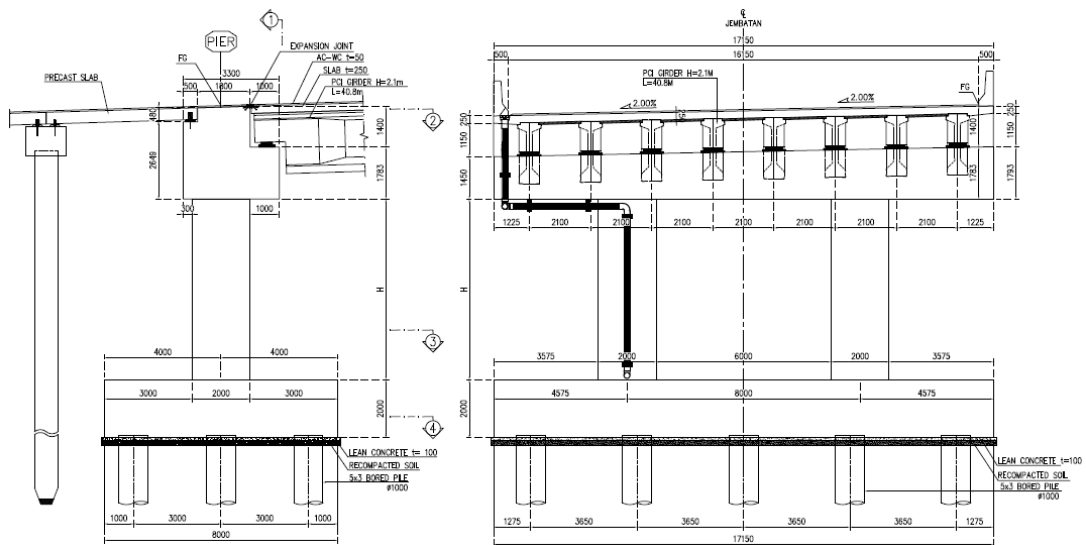


Gambar 2 Plan Jembatan Sungai Wain pada Jalan TOL IKN Seksi 3A



Gambar 3 Profil Memanjang Jembatan Sungai Wain Sisi Utara dan Sisi Selatan

Pada bagian struktur atas jembatan menggunakan PCI dan PCT girder, sedangkan untuk struktur bawah jembatan dilakukan pengecoran langsung atau proses cast insitu. Struktur bawah jembatan yang terdiri dari pier head, pier leg, dan pile cap memerlukan volume beton yang besar untuk tercapainya mutu beton dan kekuatan struktur pada bangunan jembatan, terutama pada bagian pile cap yang memiliki volume beton sebesar 275 m³ hingga 498 m³. Proses pelaksanaan pengecoran pada pile cap harus diperhatikan dengan khusus karena dengan volume yang besar akan mengakibatkan perbedaan suhu pada setiap lapisan beton yang akan mempengaruhi terhadap kualitas dan mutu beton.



Gambar 4 Detail Struktur Jembatan Sungai Wain

2. Beton

Menurut SNI 2847: (2013) definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Menurut Ratnawati (2021) beton adalah material komposit yang terdiri dari bahan pengikat (umumnya antara semen hidrolik dan air), agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil/batu pecah) dengan atau tanpa bahan tambahan (*additive/admixture*). Beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana hasil

dari proses campuran material-material di dalamnya, dan kekuatan maksimal beton tercapai pada usia beton 28 hari.

Salah satu sifat beton adalah memiliki daya kuat tekan yang baik dalam struktur bangunan, oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur, terutama pada struktur gedung, jalan, dan jembatan. Beton yang memiliki kualitas yang baik adalah setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar yang akan mempengaruhi mutu beton. Beton dibedakan menjadi 3 kelas berdasarkan mutu beton;

- a. Beton Kelas I untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural dimana tidak perlu perawatan khusus.
- b. Beton Kelas II untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum dengan mutu beton diantara $f'c$ 10 – 20 MPa.
- c. Beton Kelas III untuk pekerjaan struktur utama dengan mutu beton diatas $f'c$ 20 MPa yang perlu pengawasan khusus.

Berdasarkan jenisnya dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu

- a. Beton ringan yang memiliki berat jenis sekitar 1900 kg/m³ dengan kuat tekan umur 28 hari tidak lebih besar dari 20 MPa.
- b. Beton normal yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga memiliki berat jenis $\pm$ 2400 kg/m³ dengan kuat tekan umur 28 hari antara 20 – 40 MPa
- c. Beton berat memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³
- d. Beton massa digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan massif, seperti pada bendungan, pondasi, dan jembatan.

Struktur beton memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan antara lain sebagai berikut.

- a. Kelebihan
 - Memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan;
 - Tahan terhadap aus, panas, dan karat oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan lebih murah;
 - Pengerjaan mudah karena dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran yang diinginkan.

b. Kekurangan

- Memiliki kuat tarik yang lemah, sehingga mudah getas atau rapuh dan retak. Perlu diberikan baja tulangan agar memiliki kuat tarik yang tinggi;
- Biaya yang relatif mahal dibandingkan dengan beberapa bahan konstruksi lainnya;
- Beton cenderung retak dan mengembang selama bertahun-tahun, terutama jika terpapar suhu ekstrem atau perubahan suhu yang tiba-tiba.

Material-material penyusun beton antara lain air, semen, agregat (kasar maupun halus), dan/atau bahan tambah yang akan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Air adalah alat untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penggunaan beton. Jumlah air yang digunakan tentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Dalam SNI 2847: (2013) dijelaskan bahwa air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organik lainnya yang dapat merusak beton atau tulangannya.
- b. Menurut Ratnawati (2021) semen adalah material hidrolis yang dihasilkan dari bahan utama yang terdiri dari kalsium silika dan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa asam sulfat melalui proses penggilingan. Semen umumnya digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dengan agregat halus. Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil/batu pecah) maka akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Semen atau Semen Portland dibedakan menjadi 5 tipe sebagai berikut.
 - Tipe I yaitu Semen Portland untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus;
 - Tipe II yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang;
 - Tipe III yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi;
 - Tipe IV yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah;

- Tipe V yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.
- c. Agregat merupakan butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran mortar atau beton. Agregat merupakan bagian penting karena karakteristik agregat akan mempengaruhi sifat mortar atau beton. Agregat berasal dari batu pecah, kerikil, dan pasir yang bersumber dari alam maupun buatan yang dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran butir mulai dari 5 – 40 mm, seperti batu dan kerikil. Sedangkan agregat halus adalah agregat yang memiliki ukuran butir 0,15 – 5 mm, seperti pasir.

Perawatan beton adalah tahap akhir pekerjaan pada struktur beton, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab sejak dipadatkan sampai proses hidrasi bekerja secara merata selama 28 hari. Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen atau reaksi semen dan air yang berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, maka udara panas akan terjadi proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonya.

3. Beton Massa (Mass Concrete)

Beton massa atau *mass concrete* adalah jenis beton yang digunakan dalam konstruksi dengan volume yang besar dengan ketebalan minimal 4 kaki atau 1,3 meter, umumnya untuk struktur seperti pondasi, jembatan, pilar, bendungan, dan sebagainya (Rochaeti, Endawati, & Moeljono, 2014). Hal yang perlu dipertimbangkan adalah perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar yang dihasilkan oleh panas hidrasi semen, dimana masing-masing tipe semen memiliki panas hidrasi yang berbeda. Peningkatan suhu dalam beton massa sangat berkenaan dengan hal-hal sebagai berikut.

- a. Material penyusun beton
- b. Volume beton
- c. Faktor Air Semen (w/c ratio)

Perbedaan suhu pada beton massa dan di permukaan beton akan menimbulkan gaya tekan dan gaya tarik secara keseluruhan (ACI, 2006). Untuk mencegah terjadinya keretakan, perbedaan suhu diusahakan kurang dari 20 derajat celcius. Karena sifat beton yg tidak kuat menahan gaya tarik, maka semakin tinggi suhu beton disaat umur muda, maka semakin tinggi

gaya tarik yg terjadi, Jika gaya tarik yang terjadi melebihi gaya tarik yang diijinkan, maka akan terjadi retak yang disebut sebagai retak thermal. Retak thermal bisa juga disebabkan oleh penyusutan volume beton karena perubahan suhu udara di sekitar, namun itu semua berawal dari panas hidrasi dalam material beton itu sendiri. Oleh karena itu, perencanaan dan pengawasan yang cermat selama proses pengecoran dan pengerasan beton massa sangat penting untuk meminimalkan risiko terbentuknya retakan yang dapat mengurangi hasil dari kekuatan beton.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi keretakan yang terjadi pada beton massa, antara lain sebagai berikut.

a. Memperhatikan volume bahan utama penyusun beton massa

Bahan utama penyusun beton massa sama seperti pada beton normal, yaitu air, agregat kasar, agregat halus, semen, dan menggunakan atau tidak menggunakan bahan tambah (*additive/admixture*). Dengan memperhatikan komposisi bahan penyusun dapat mengurangi keretakan, seperti

- Menggunakan semen sedikit karena semen adalah sumber panas, atau menggunakan semen khusus yang mempunyai panas hidrasi rendah, seperti semen tipe II dan semen tipe IV;
- Menggunakan ukuran agregat kasar yang diijinkan yaitu 75 – 150 mm, maka jumlah semen yang dibutuhkan semakin sedikit;
- Memakai perbandingan agregat halus dan agregat kasar yang tepat supaya didapatkan semen minimum dengan kuat tekan yang sama;
- Menggunakan air seminimal mungkin, namun akan mempengaruhi saat proses pemadatan karena beton sangat kental;
- Menggunakan bahan tambah *additive/admixture*, seperti retarder atau akselerator

b. Mengatur suhu pada beton massa

Beton massa akan menghasilkan perbedaan suhu pada setiap lapisannya akibat panas hidrasi semen, hal yang dimaksud agar panas hidrasi terdistribusi secara merata pada tiap lapisannya maka dapat dilakukan dengan penerapan pengaturan suhu dengan cara memberikan aliran air dingin melalui pipa-pipa yang terpendam atau yang disebut dengan *cooling system*.

4. *Cooling System*

Berdasarkan ACI (1993), metode *cooling system* digunakan untuk mengontrol suhu beton massa selama proses pengerasan dengan beberapa metode sebagai berikut.

a. Metode Pra Pendinginan Beton (*Pra-cooling of Concrete*)

Metode ini ditekankan pada material-material penyusun beton (komponen beton), dimana suhu beton meningkat juga dikarenakan unsur-unsur penyusunnya. Semakin panas suhu material yang dipakai, maka akan semakin tinggi pula suhu beton segar yang dihasilkan, untuk itu diperlukan pendingin untuk material-material beton seperti agregat kasar.

- *Innudation Tanks*
- *Belt Innudation*
- *Belt Spraying*

b. Pendinginan (*Air Cooling*)

Metode sirkulasi udara tanpa penampungan dan sangat penting untuk menginsulasi dinding tampungan agar tetap dingin. Kekurangan dari metode ini adalah panas yang ditransfer antara agregat dan udara tidak sebaik transfer panas antara agregat dan air.

c. Penguapan (*Vacuum Cooling*)

Metode penguapan agregat dengan kondisi air permukaannya akan menguap oleh udara luar dan akan terus berlangsung hingga mencapai 4 derajat celcius.

d. Pendinginan dengan Air

Pendinginan air dapat dilakukan dengan penambahan es balok hingga mencapai suhu air yang diharapkan. namun metode ini terbatas untuk batching plan yang memiliki tampungan air yang mudah dijangkau untuk penambahan es balok.

e. Metode Paska Pendinginan Beton (*Post-cooling of Concrete*)

Metode ini digunakan untuk pengontrolan suhu beton yaitu dengan sirkulasi air dingin melalui pipa-pipa di dalam beton (*cooling pipe*). Keuntungan dari metode ini yaitu lebih fleksibel dan pada bagian manapun dari beton akan tetap dingin dan terkontrol suhunya jika terjadi deviasi suhu yang mendekati/melebihi dari yang disyaratkan sehingga suhu di dalam beton dapat langsung diantisipasi dengan mengalirkan air dingin dan juga metode ini dapat mempercepat proses pelepasan formwork, karena suhu beton dapat diatur dan disesuaikan dengan suhu luar. Kekurangan dari metode ini yaitu biaya yang sangat mahal dibandingkan pre-cooling dan metode lainnya.

METODE

Dalam artikel ini, penulis menjelaskan metode yang penerapan pada *cooling system* pada perancangan struktur beton massa (*mass concrete*), khususnya pada bagian pile cap Jembatan Sungai Wain. Data yang diperoleh berupa data sekunder yang diperoleh dari tim *quality control* yang melakukan pengamatan terhadap suhu beton massa pada pile cap Jembatan Sungai Wain.

Metode *cooling system* yang diterapkan adalah menjaga suhu agregat kasar dengan cara pengendalian suhu pada material-material penyusun beton, seperti pendinginan yang dilakukan pada agregat kasar, serta proses *post-cooling of concrete* dengan cara memasang pipa-pipa pada bagian dalam beton yang nantinya pipa tersebut akan dialiri air dingin selama proses pengerasan agar suhu pada beton massa tetap terjaga dibawah suhu maksimal 71°C.

Agregat kasar dilakukan perendaman dengan menggunakan air dingin pada beberapa batching plan yang sudah berkontrak untuk beton massa. Pengecekan suhu pada agregat kasar dan material penyusun lainnya terus dilakukan oleh tim *quality control* supaya beton massa yang nanti dihasilkan memiliki kualitas sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 5 Pengecekan suhu pada material agregat kasar untuk beton massa

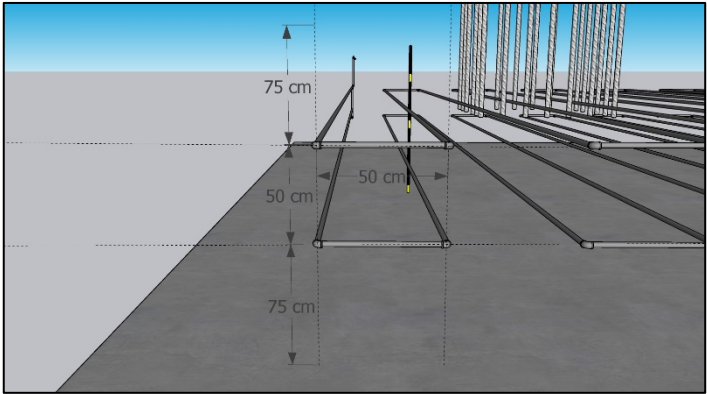
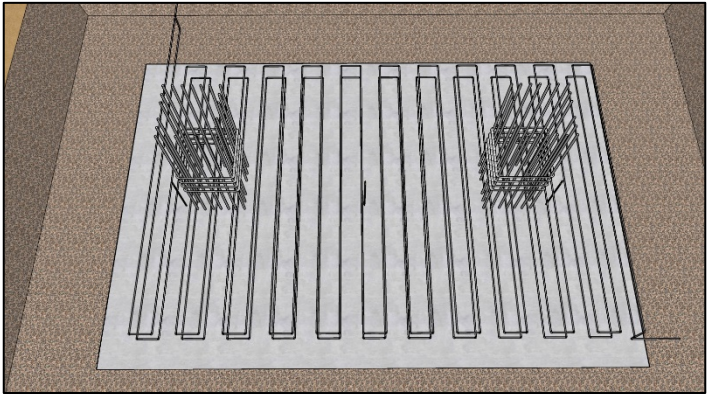
Pada *post-cooling of concrete*, pipa-pipa yang akan dialiri air dingin untuk menjaga suhu beton massa pada pile cap Jembatan Sungai Wain dipasang melintasi tulangan-tulangan pile cap. Pemasangan pipa dibagi menjadi 3 bagian, bagian atas, bagian tengah, dan bagian bawah supaya suhu pada masing-masing lapisan tetap terjaga. Jarak pipa, waktu dan debit aliran air, dan suhu air yang mengalir akan mempengaruhi hasil dari suhu pada beton. Berikut rincian

material yang dibutuhkan dalam penerapan *cooling system* menggunakan *pipe cooling* yang tersaji pada tabel dibawah ini.

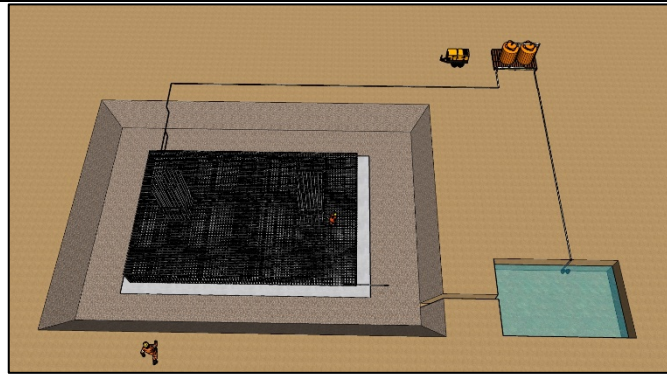
Tabel 3 Material untuk *Pipe Cooling Metode Cooling System*

No	Material	Satuan	Volume	Spesifikasi
1	Pipa + Elbow Besi Hitam	m	80,00	$\frac{3}{4}$ - 1 inch
2	Pipa PVC	m	3,00	1 inch
3	Es Balok	Pcs	2.000,00	
4	Tandon Air	Unit	1,00	5500 liter
5	Air	Liter	5.500,00	
6	Pompa <i>Booster</i>	Unit	1,00	
7	Genset	Unit	1,00	

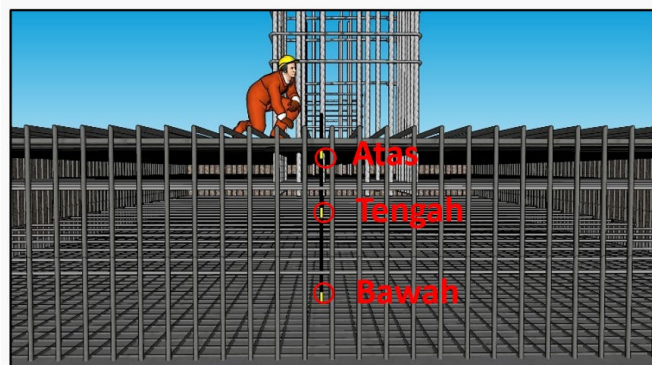
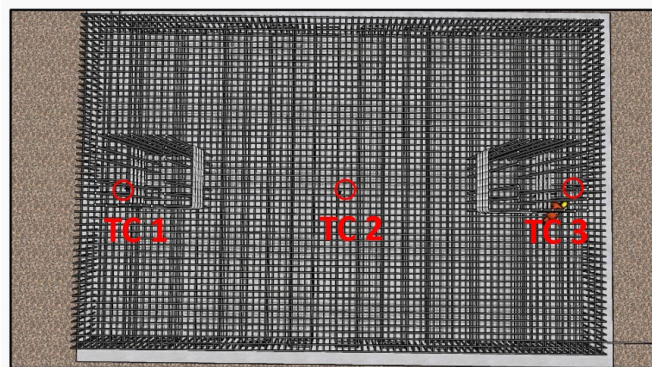
Berikut merupakan ilustrasi pekerjaan pemasangan metode *cooling system* menggunakan *pipe cooling* pada struktur pile cap Jembatan Sungai Wain.

1. Penentuan Posisi Instalasi Pipa di dalam Pilecap	
2. Tanpa katas instalasi pipa pendingin	

3. Penentuan Saluran Sirkulasi
Air dari Pilecap Menuju
Tandon/Tangki Air



4. Penentuan Posisi
Thermocouple



Dan di bawah ini adalah dokumentasi di lapangan saat proses instalasi *pipe cooling* untuk pile cap Jembatan Sungai Wain



Gambar 6 Pemasangan Pipa pada Pile Cap Jembatan

Proses pengecoran pile cap dilakukan pada malam hari agar tetap menjaga suhu dan waktu pengerasan pada beton. Dengan volume yang besar (beton massa), maka dibutuhkan perputaran yang cepat antar truck mixer yang umumnya hanya dapat menampung volume beton sekitar 5-6 m³, sedangkan volume beton yang dibutuhkan sekitar 275 m³ hingga 378 m³. Proses pengecoran beton massa pada pile cap dilakukan dalam satu waktu atau satu tahap sampai volume beton terpenuhi. Dengan jumlah perputaran truck mixer yang cukup banyak, pemilihan waktu pengecoran di malam hari supaya tidak mengganggu lalu lintas saat mobilisasi.



Gambar 7 Proses Pengecoran Pile Cap Jembatan Sungai Wain

HASIL

Hasil dari penerapan *cooling system* pada bagian pile cap Jembatan Sungai Wain diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dengan interval pemantauan per satu jam saat beton sudah dituang sesuai volume rencana. Ketika beton massa sudah tertuang dengan merata pada bagian pile cap jembatan, maka metode *post-cooling of concrete* menggunakan *pipe cooling* yang mulai dialiri air dingin selama kurang lebih 24 jam. Suhu pada pile cap akan dimonitoring melalui alat *thermocouple* yang ditempelkan pada bagian pile cap, yaitu bagian atas, tengah, dan bawah. Berikut ini hasil dari monitoring suhu menggunakan alat *thermocouple*.

Tabel 4 Tabel Monitoring Suhu Thermocouple Pile Cap

TC 1	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1 (Atas) A												33,5	33,1	35,1	37,0	41,2	38,2	41,3	34,4	31,1	25,7	31,8	30,5	29,2
T2 (Tengah) T												55,3	57,1	60,2	61,9	50,1	57,6	63,1	65,8	65,7	65,8	65,7	65,7	65,7
T3 (Bawah) B												58,6	59,5	61,0	57,5	63,1	61,2	62,1	63,4	63,2	63,1	65,2	62,4	61,6
A-U												43,9	54,1	56,0	61,3	62,2	60,4	56,8	56,2	59,3	56,3	64,5	56,8	50,6
T-A												21,8	24,0	25,1	24,9	8,9	19,4	21,8	31,4	34,6	40,1	33,9	35,2	36,5
T-B												3,3	2,4	0,8	4,4	13,0	3,6	1,0	2,4	2,5	2,7	0,5	3,3	4,1
												14,7	5,4	5,0	3,8	0,9	0,8	5,3	7,2	3,9	6,8	0,7	5,6	11,0
TC 2	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1 (Atas) A												33,5	33,1	35,1	37,0	41,2	38,2	41,3	34,4	31,1	25,7	31,8	30,5	29,2
T2 (Tengah) T												51,3	52,4	54,0	54,5	57,9	60,9	57,7	63,1	62,8	62,8	62,4	63,7	63,1
T3 (Bawah) B												49,5	52,4	57,0	57,5	63,9	62,6	63,7	63,3	63,1	63,0	64,5	64,2	64,0
A-U												47,9	48,3	65,0	65,2	59,2	67,5	59,9	64,2	63,7	53,3	61,5	67,6	68,5
T-A												17,8	19,3	18,9	17,5	16,7	22,7	16,4	28,7	31,7	37,1	30,6	33,2	33,9
T-B												1,8	0,0	3,0	3,0	6,0	1,7	6,0	0,2	0,3	0,2	2,1	0,5	0,9
												1,6	4,1	8,0	7,7	4,7	4,9	3,8	0,9	0,6	9,7	3,0	3,4	4,5
TC 3	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1 (Atas) A												33,5	33,1	35,1	37,0	41,2	38,2	41,3	34,4	31,1	25,7	31,8	30,5	29,2
T2 (Tengah) T												52,5	53,4	56,6	60,0	59,1	62,4	60,0	61,2	61,5	62,8	65,1	62,3	62,2
T3 (Bawah) B												62,6	63,8	64,6	61,1	61,4	67,5	61,9	63,9	64,0	63,0	64,7	64,4	64,9
A-U												63,9	68,1	63,7	56,1	68,1	64,1	67,4	60,7	61,0	53,3	64,7	61,6	61,5
T-A												19,0	20,3	21,5	23,0	17,9	24,2	18,7	26,8	30,4	37,1	33,3	31,8	33,0
T-B												10,1	10,4	8,0	1,1	2,3	5,1	1,9	2,7	2,5	0,2	0,4	2,1	2,7
												1,3	4,3	0,9	5,0	6,7	3,4	5,5	3,2	3,0	9,7	0,0	2,8	3,4
TC 1	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
T1 (Atas) A	66,3	66,1	66,2	62,6	66,0	65,2	64,5	62,2	60,3	62,2	62,1	62,0	67,5	67,4	67,3	67,2	67,1	67,1	65,1	64,6				
T2 (Tengah) T	62,6	62,7	62,6	66,4	62,6	62,7	64,5	64,8	60,9	64,6	64,5	64,4	64,3	64,4	64,2	64,0	63,9	63,7	62,8	62,1				
T3 (Bawah) B	66,4	51,8	63,9	62,1	60,5	66,3	68,0	68,2	68,5	68,0	67,8	67,7	62,1	62,2	62,0	61,8	61,4	61,1	60,3	60,2				
A-U	37,2	36,4	37,0	33,5	36,2	35,8	35,0	33,2	30,7	32,5	32,2	31,9	32,4	35,1	35,6	36,8	36,3	34,1	34,1	33,6				
T-A	3,7	3,4	3,6	3,8	3,4	2,5	0,0	2,6	0,6	2,4	2,4	2,4	3,2	3,0	3,1	3,2	3,2	3,4	2,3	2,5				
T-B	3,8	10,9	1,3	4,3	2,1	3,6	3,5	3,4	7,6	3,4	3,3	3,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,6	2,5	1,9				
TC 2	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
T1 (Atas) A	62,8	63,1	63,4	61,5	63,7	63,5	65,6	65,7	65,6	65,5	65,4	65,5	65,2	65,1	65,0	64,9	63,8	63,7	64,1	63,4				
T2 (Tengah) T	63,9	64,6	64,9	64,0	64,2	63,2	65,2	65,1	65,7	65,6	65,5	65,4	65,3	65,2	65,5	65,0	64,9	64,8	63,9	63,3				
T3 (Bawah) B	68,3	61,8	62,0	61,0	67,6	66,7	62,6	61,5	62,8	62,7	62,6	62,6	62,5	62,4	62,3	62,2	62,1	62,1	61,1	60,5				
A-U	33,7	33,4	34,2	32,4	33,9	34,1	36,1	36,7	36,0	35,8	35,5	35,4	30,1	32,8	33,3	34,5	33,0	30,7	33,1	32,4				
T-A	1,1	1,5	1,5	2,5	0,5	0,3	0,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	1,1	1,1	0,2	0,1				
T-B	4,4	2,8	2,9	3,0	3,4	3,5	2,6	3,6	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	3,2	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8				
TC 3	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T0 (Udara) U	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
T1 (Atas) A	29,1	29,7	29,2	29,1	29,8	29,4	29,5	29,0	29,6	29,7	29,9	30,1	35,1	32,3	31,7	30,4	30,8	33,0	31,0	31,0				
T2 (Tengah) T	64,4	64,2	64,2	63,1	64,5	63,3	65,7	65,6	65,6	65,4	65,3	65,2	64,7	64,7	64,7	64,8	64,7	64,8	63,5	63,2				
T3 (Bawah) B	65,9	61,6	65,4	63,7	61,5	60,2	62,7	62,6	62,6	62,5	62,4	62,3	61,9	61,9	61,9	61,8	61,6	61,7	60,1	60,0				
A-U	35,2	33,4	34,7	33,7	32,6	34,7	36,2	36,5	36,0	35,8	35,5	35,2	28,8	31,7	32,2	33,6	33,0	31,0	31,5	31,2				
T-A	0,1	1,1	0,3	0,3	2,1	0,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0				
T-B	1,5	2,6	1,2	0,6	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	3,0	3,1	3,1	3,4	3,2				

Dari hasil monitoring suhu pada *thermocouple* dapat disimpulkan bahwa rata-rata suhu pile cap bagian atas sebesar 63,9°C; bagian tengah sebesar 62,5°C; dan bagian bawah sebesar 63,0°C. Hasil rata-rata keseleruhan untuk suhu pile cap Jembatan Sungai Wain sebesar 61,0°C dan dibawah batas maksimal suhu beton massa sebesar 71°C.

DISKUSI

Dalam penerapan *cooling system* pada pengecoran beton massa struktur pile cap Jembatan Sungai Wain fokus tujuannya untuk menjaga suhu beton massa tetap berada di bawah 71°C , karena metode ini sangat berpengaruh pada mutu dari beton agar tidak ada retak thermal. Metode ini sangat efektif untuk mengurangi suhu panas akibat hidrasi semen pada beton, namun belum bisa dikatakan efisien karena metode ini membutuhkan biaya yang cukup mahal. Dari material-material yang dibutuhkan dengan dimensi pile cap yang sangat besar, akan berbanding lurus dengan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi penerapan metode *cooling system*. Biaya metode *cooling system* yang cukup mahal, akan menghasilkan mutu beton sesuai yang direncanakan. Dari segi waktu, tidak terlalu berdampak karena waktu yang dibutuhkan hanya saat pemasangan pipa-pipa untuk mengaliri air dan proses mengaliri air yang kurang lebih 24 jam.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat disampaikan dari hasil penerapan metode *cooling system* pada struktur pile cap Jembatan Sungai Wain antara lain sebagai berikut.

- a. Efektif menjaga suhu beton massa menggunakan metode *pra-cooling of concrete* dan *post-cooling of concrete* dengan mengaliri air dingin melalui *pipe cooling*;
- b. Suhu beton massa yang dihasilkan pada lapisan atas, tengah, dan bawah yang dibaca menggunakan *thermocouple* sebesar $63,9^{\circ}\text{C}$; $62,5^{\circ}\text{C}$; dan $63,0^{\circ}\text{C}$ dan selisih dari masing-masing lapisan tidak melebihi $20,0^{\circ}\text{C}$;
- c. Suhu rata-rata yang diperoleh hasil pengamatan 24 jam sebesar $61,0^{\circ}\text{C}$ dan dibawah suhu maksimal beton massa yaitu $71,0^{\circ}\text{C}$.

KETERBATASAN

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penerapan *cooling system* pada beton massa (*mass concrete*), antara lain penggunaan metode ini hanya bisa dilakukan pada beton massa karena beton massa sangat rentan terhadap kenaikan suhu akibat panas hidrasi dari semen. Dalam artikel ini tidak menjelaskan hasil dari kuat tekan dari beton massa karena fokus yang diambil berupa data suhu yang sudah mencapai mutu. Metode ini adalah metode lama yang sudah

terdapat pada peraturan *American Concrete Institute (ACI)* yang bukan berupa inovasi atau hal baru, namun penerapan metode ini sangat berdampak terhadap mutu beton.

Dari segi teknis, keterbatasan yang perlu diperhatikan adalah pengawasan terhadap suhu yang harus selalu di monitor guna tercapainya mutu beton, karena jika dalam beberapa waktu suhu melebihi batas normal, maka retak thermal pada beton akan muncul dan berpengaruh terhadap mutu beton kedepannya. Pengawasan dari Pelaksana dan *quality control* juga harus diperhatikan saat mulai hingga sampai bekisting dapat dilepaskan dari struktur. Perlu diperhatikan ketersediaan air untuk mengalir beton massa kurang lebih dalam waktu 24 jam sampai beton mengeras. Waktu pengecoran yang harus dilakukan dalam satu waktu secara terus menerus harus direncanakan dengan pasti, dari persediaan material alam, pemilihan batching plan yang tepat dari lokasi, dan juga akses pengecoran yang disiapkan dengan maksimal.

Dari beberapa keterbatasan yang sudah diuraikan perlu diketahui bahwa keterbatasan yang terdapat pada penerapan metode ini perlu pengembangan yang lebih luas atau lanjutan untuk mengatasi aspek-aspek tertentu yang mungkin tidak sepenuhnya ditangani dan perlu dipertimbangkan dengan cermat dan disesuaikan dengan kondisi spesifik proyek, karena ada beberapa keterbatasan dan risiko yang terkait dengan penerapannya.

REFERENSI

ACI. (1993). *ACI Committee 207.4R-93 : Cooling and Insulating System for Mass Concrete*.

ACI. (2006). *ACI Committee 207.1R-05 : Guide to Mass Concrete*.

Pardede, D., & Oemar, F. (November 2020). Pengendalian Suhu Beton Massa 3500M3 Menggunakan Balok Es dan Pengaruhnya Terhadap Beton (Studi Kasus : Pondasi Raft Gedung PPAG2). *Jurnal Teknik Sipil Arsitektur Vol. 19 No. 2 (2020)*, 158-168.

Ratnawati. (2021). Pengaruh Jenis Material Pipa Pendingin Terhadap Distribusi Temperatur di Dalam Beton yang Didinginkan dengan Sistem Post Cooling. *Jurnal Teknik JAGO Vol. 1 No. 1*, 14-23.

- Rochaeti, Endawati, J., & Moeljono, L. D. (2014). Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type II Terhadap Ketebelan Elemen Beton. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan Nomor 2 Volume 16*, 183-194.
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Suryawijaya, M. (2012). Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa dengan Ketebalan 4 Meter (Studi Kasus : Raft Foundation Rasuna Tower).