

# KAJIAN TEMPERATUR BETON SAAT PROSES Pengerasan MENGUNAKAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN (*STUDY OF CONCRETE TEMPERATURE DURING HARDENING TIME USING FLY ASH AS SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL*)

Ali Zakariya<sup>1)</sup>, Giri Yudhono<sup>2)</sup>, Sasri Rosyadi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Direktorat Pembangunan Jembatan

<sup>2),3)</sup>Satuan Kerja Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung Provinsi Sulawesi Utara

<sup>1)</sup>Jl. Pattimura No. 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12110

<sup>2),3)</sup>Jl. SBY No. 1 Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minahasa Utara, 95371

e-mail: <sup>1)</sup>ali.zakariya@pu.go.id, <sup>2)</sup>giri\_yudhono@pu.go.id, <sup>3)</sup>sasrirosyadi@pu.go.id

Diterima: 30 Agustus 2021; direvisi: 06 November 2021; disetujui: 29 November 2021.

## ABSTRAK

Jembatan umumnya memiliki ukuran struktur beton besar dan masif. Penggunaan beton yang masif akan menyebabkan temperatur pada beton menjadi berlebihan atau *overheated* pada saat pengerasan berlangsung. Dampak yang timbul akibat kelebihan panas ini mengakibatkan hidrasi semen tidak sempurna sehingga terjadi retak termal yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi memiliki bentuk struktur *pile cap* dan *pier* dengan lebar > 2 meter sehingga dapat dikategorikan sebagai *mass concrete*. Untuk mengurangi panas yang timbul pada hidrasi beton maka diperlukan bahan tambah, salah satu bahan tambah yang bisa dipakai dalam campuran beton menurut Spesifikasi untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan adalah bahan tambahan berupa mineral atau bahan limbah dapat berbentuk *fly ash*, *pozzolan* dan *silica fume*. Pada proyek Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi digunakan *fly ash*. Penelitian dilakukan dengan membaca kenaikan temperatur pada dua benda uji dengan campuran beton yang berbeda. Benda uji 1 menggunakan semen OPC murni sebanyak 380 kg dan Benda Uji 2 menggunakan semen OPC 310 kg dan *fly ash* kelas F 100 kg per m<sup>3</sup> beton. Dari hasil evaluasi didapatkan kesimpulan bahwa penggantian 24,4% semen menggunakan *fly ash* menurunkan nilai temperatur maksimal beton dari semula sebesar 84,4°C menjadi 71,3°C atau terjadi penurunan sebesar 13,1°C.

**Kata kunci:** *mass concrete*, hidrasi, *fly ash*, temperatur, ramah lingkungan.

## ABSTRACT

Bridges usually have massive concrete structures. The massive concrete will cause temperature on the concrete to be *overheated* when concrete hardening. The impact from this excess heat results in imperfect hydration and thermal crack which can affect the compressive strength of concrete. Simpang Susun Airmadidi Toll Access Bridge has a *pile cap* and *pier* structure with a width > 2 meters so that it can be categorized as *mass concrete*. To reduce heat arising from concrete hydration, additional materials are needed. The supplementary cementitious material that can be used in concrete mixed according to General Specifications of Road and Bridge Construction Works are materials in the form by minerals or waste materials such as *fly ash*, *pozzolan* and *silica fume*. Simpang Susun Airmadidi Toll Access Bridge project is used *fly ash*. The study was conducted by reading the temperature rise in two specimens with different concrete mixed. Test object 1 using 380 kg pure OPC cement and Test object 2 using 310 kg OPC cement and 100 kg *fly ash* F class per m<sup>3</sup> of concrete. From the evaluation results it can be concluded that replacement of 24,4% cement using *fly ash* reducing maximum temperature of concrete from 84.4°C to 71.3°C or decreasing about 13.1°C. Thus *fly ash* can be an alternative environmentally friendly construction material.

**Keywords:** *mass concrete*, hydration, *fly ash*, temperature, environmentally friendly

## PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan di Indonesia mengalami peningkatan signifikan dari tahun ke tahun, salah satunya adalah pembangunan jembatan. Berdasarkan Rencana Strategis Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2020-2024, target keluaran pembangunan jembatan (termasuk *flyover* dan *underpass*) Tahun 2020-2024 sepanjang 69.382 meter. Nilai ini lebih panjang dari target keluaran pembangunan jembatan pada RENSTRA sebelumnya Tahun 2015-2019 sepanjang 49.827 meter.

Salah satu jembatan yang menjadi objek pembangunan Direktorat Jenderal Bina Marga adalah Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi. Jembatan ini merupakan salah satu jembatan yang berada di Jalan Tol Manado – Bitung dengan total Panjang 455 meter yang terdiri atas 11 bentang. Struktur utama Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi

menggunakan beton bertulang dan penopang utama bentang jembatan menggunakan struktur *pretensioned concrete I-girder* (PCI girder).

### Beton Bervolume Besar

Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2020 mendefinisikan beton bervolume besar (*mass concrete*) adalah beton dengan ukuran relatif besar 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/puncak melebihi batas temperatur yang diizinkan.

Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi memiliki ukuran struktur beton besar dan masif dengan dimensi lebih dari 2 meter seperti struktur *pile cap*, *abutment* dan *pier* sehingga dalam proses pengecoran dibutuhkan penggunaan beton yang relatif lebih banyak dalam satu bentuk struktur.



(a)

(b)

**Gambar 1.** (a) struktur *pile cap* (b) struktur *pier*, keduanya termasuk beton bervolume besar.

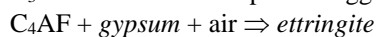
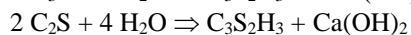
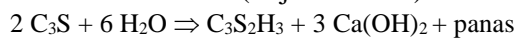
Pengecoran beton bervolume besar dalam satu waktu bersamaan dapat menyebabkan temperatur menjadi tinggi atau *overheated* saat waktu pengerasan (*hardening time*) beton berlangsung. Perilaku kenaikan temperatur beton yang cepat dan tinggi saat waktu pengerasan awal dapat menyebabkan retak yang berpengaruh pada daya tahan beton (Bourchy et al. 2019).

Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBM 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.

## Proses Hidrasi Semen

Menurut Setiawati (2018) Beton merupakan campuran antara semen, agregat halus, *split* dan air yang dicampur menjadi massa padat dengan ataupun tanpa bahan tambah. Untuk mendapatkan campuran beton yang baik harus memperhatikan beberapa hal, antara lain: pemilihan bahan pembentuk beton, proses pemadatan beton segar dan proses perawatan beton.

Pada saat semen bersentuhan dengan air, maka proses hidrasi terjadi. Menurut Pujianto (2015) Hasil hidrasi yang pertama kali mengendap di bagian luar, dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Silika dan alumina dalam semen akan bereaksi dengan air dan menjadi media perekat, memadat, dan membentuk massa yang keras. Setelah hidrasi berlangsung (pasta semen sudah mengeras), endapan hasil hidrasi pada permukaan butiran semen mengakibatkan difusi air ke bagian dalam butir semen yang belum terhidrasi semakin sulit, sehingga laju hidrasi semakin lambat. Susunan unsur kimia dari semen dan reaksi kimia saat terjadinya proses hidrasi pada beton yang terdiri dari unsur dikalsium silikat ( $C_2S$ ), trikalsium silikat ( $C_3S$ ), trikalsium aluminat ( $C_3A$ ) dan tetracalcium aluminoforit ( $C_4AF$ ). Unsur  $C_3S$  dan  $C_2S$  merupakan 70–80% pembentuk semen dan dominan dalam memberikan sifat semen. Saat semen terkena air,  $C_3S$  segera terhidrasi dan menghasilkan panas, berpengaruh terhadap proses pengerasan semen terutama pada 14 hari pertama. Sedangkan  $C_2S$  bereaksi lebih lambat dengan air, pengaruhnya setelah 7 hari dan memberikan kekuatan akhir, Unsur kimia semen biasa dan proses hidrasi berturut-turut dapat dijelaskan dalam reaksi hidrasi pada beton di bawah dan Tabel 1 (Pujianto 2015).



**Tabel 1.** Unsur kimia semen biasa

Unsur Kimia	Persentase
Kapur ( $CaO$ )	60-65
Silika ( $SiO_2$ )	17-25
Alumina ( $Al_2O_3$ )	3-8
Besi ( $Fe_2O_3$ )	0,5-6
Magnesia ( $MgO$ )	0,5-4
Sulfur ( $SO_3$ )	1-2
Soda / potash ( $Na_2O + K_2O$ )	0,5-1

## Fly Ash untuk Campuran Beton

Untuk mengurangi panas yang timbul akibat kandungan  $C_2S$  dan  $C_3S$  yang tinggi pada semen maka diperlukan material tambahan (*supplementary cementitious materials*) pengganti semen yang dapat berupa bahan kimia, bahan mineral atau hasil limbah berupa serbuk pozzolanik sebagai bahan pengisi pori dalam campuran beton. Salah satu bahan tambah yang bisa dipakai dalam campuran beton menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (DJBMM 2020) adalah bahan tambahan mineral *pozzolan*, mikro silika atau *silica fume* atau bahan limbah yang berbentuk abu terbang (*fly ash*).

Menurut Ariyani dan Laila (2013) *fly ash* adalah abu terbang ringan yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran batu bara. *Fly ash* umumnya diperoleh dari sisa pembakaran PLTU atau sisa pembakaran dari boiler kayu yang menggunakan batubara sebagai sumber energi. Sisa pembakaran berupa partikel halus dan berkisar 75% - 90% limbah batubara akan keluar melalui cerobong asap, serta hanya tersisa sebagian kecil di tungku api. Limbah batubara sebelum keluar ditangkap dengan *electrostatic precipitator* sehingga limbah batubara menjadi butiran padat. Hasil penelitian Rochaeti dkk. (2014) *fly ash* dapat mengurangi panas hidrasi dengan perbandingan 15-50% panas yang dihasilkan *portland cement* dengan jumlah sementitus yang sama. Sementara itu menurut Abdurakhman Rasyid (2016) penggunaan *fly ash* dapat membatasi panas hidrasi dengan cara mengurangi kandungan unsur  $CaO$  pada beton. Penggunaan *fly ash* efektif dalam mengendalikan risiko retak termal dengan hasil akhir kuat tekan beton dapat melebihi mutu yang disyaratkan semula. Bahkan di penelitian lain, penggunaan *fly ash* membuat beton tetap terjadi peningkatan kuat tekan dalam jangka panjang (Alahrahe at al. 2016).

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan Bahan Berbahaya dan Beracun (2019) dijelaskan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara yang ada di seluruh Indonesia menghasilkan limbah *fly ash* sekitar 10 juta ton per tahun. Sementara itu, Dalam buku yang dikeluarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Sunarti dkk. 2017) cadangan batubara nasional masih cukup besar dan diperkirakan masih dapat digunakan hingga

70 tahun, sehingga batubara diprediksi masih menjadi energi utama nasional hingga beberapa tahun ke depan. Pemerintah dalam hal ini, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mendorong pemanfaatan limbah *fly ash* yang sebelumnya hanya ditimbun, agar dapat dimanfaatkan sebagai produk bahan bangunan, bahan bakar, dan bahan campuran lainnya. Sejalan dengan hal itu, maka penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah semen pada campuran beton perlu untuk dilakukan karena selain menjaga mutu beton tetapi juga sekaligus mengurangi limbah PLTU berbahan bakar batubara.

Pemanfaatan *fly ash* menurut Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil nomor: Pd 14-2018-B Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat masih dibatasi hingga 40% dari total sementitus yang dipakai dalam campuran beton, namun berdasarkan penelitian Hemalatha and Ramaswamy (2017) secara ilmiah dimungkinkan penggunaan *fly ash* hingga mencapai 60% dari total sementitus. Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan kimia dan fisik sesuai SNI 2460:2014. *Fly ash* kelas F memiliki kandungan kapur kurang dari 10%. Persyaratan kimia *fly ash* kelas F untuk campuran beton sebagai berikut:

**Tabel 2.** Persyaratan kimia *fly ash* kelas F

Uraian	%
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , min.	70
SO <sub>3</sub> , maks.	5
Kadar air, maks.	3
Hilang pijar, maks.	6
CaO, kurang dari	10

**Tabel 3.** Persyaratan fisik *fly ash* kelas F

Uraian	%
Kehalusan:	34
Jumlah yang tertinggal di atas ayakan 45 µm (No. 325) diayak secara basah, maks, %	
Indeks aktivitas kekuatan:	
- dengan semen <i>portland</i> , pada umur 7 hari, min, persen kontrol	75
- dengan semen <i>portland</i> , pada umur 28 hari, min, persen kontrol	75
- kebutuhan air, maks, persen kontrol	105
Kekekalan bentuk ( <i>soundness</i> ): C Ekspansi atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maks, %	0,8

**Tabel 3.** Persyaratan fisik *fly ash* kelas F (lanjutan)

Uraian	%
Persyaratan keseragaman:	
Densitas dan kehalusan dari sampel individu tidak boleh bervariasi dari rata-rata 10 sampel atau dari seluruh sampel jika jumlahnya kurang dari 10, lebih dari:	
- Densitas, variasi maksimal dari rata-rata, %	5
- Persentase bahan yang tertinggal pada ayakan 45 µm, (No. 325), variasi maksimal, persentase dari rata-rata	5

### Temperatur Beton saat *Hardening Time*

Metode yang umum digunakan untuk memprediksi nilai temperatur beton pada saat awal (*initial temperature*) maupun temperatur puncak adalah metode yang dikembangkan oleh *Portland Cement Association* (PCA). Pada temperatur awal beton segar, metode ini menghitung rata-rata temperatur dari setiap jumlah dan jenis bahan yang digunakan pada beton dengan rumus berikut:

$$T_0 = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c + T_f W_f) + T_w W_w + T_a W_{wa} - L W_i}{0.22(W_a + W_c + W_f) + W_w + W_{wa} + W_i} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- T<sub>0</sub> : temperatur awal beton (°C)
- T<sub>a</sub> : temperatur aggregate (°C)
- T<sub>c</sub> : temperatur semen (°C)
- T<sub>f</sub> : temperatur *fly ash* (°C)
- T<sub>w</sub> : temperatur air (°C)
- W<sub>a</sub> : berat agregat (kg)
- W<sub>c</sub> : berat semen (kg)
- W<sub>f</sub> : berat *fly ash* (kg)
- W<sub>w</sub> : berat air (kg)
- W<sub>wa</sub> : berat air terserap (kg)
- W<sub>i</sub> : berat es (kg)
- L : rasio es ekuivalen 80°C

Untuk menghitung temperatur puncak beton dengan semen murni menggunakan rumus berikut:

$$T_{max} = T_0 + 14 \frac{W_c}{100} \dots \dots \dots (2)$$

Sedangkan bila untuk beton dengan campuran semen dan *fly ash* menggunakan rumus berikut:

$$T_{max} = T_0 + 12 \frac{W_c}{100} + 6 \frac{W_{scm}}{100} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- T<sub>max</sub> : temperatur puncak beton (°C)
- T<sub>0</sub> : temperatur awal beton (°C)
- W<sub>c</sub> : berat semen (kg)
- W<sub>scm</sub> : berat *fly ash* (kg)



Selain metode PCA terdapat metode lain untuk memprediksi temperatur puncak yaitu metode US. *Bureau of Reclamation* (USBR), namun menurut Handayani dkk. (2019) metode USBR lebih cocok diterapkan pada pekerjaan beton massa yang bertahap seperti struktur bendungan dan hasil perhitungan temperatur puncak cenderung lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode PCA. Penelitian lainnya juga membuktikan bahwa hasil perhitungan metode PCA untuk temperatur awal dan temperatur puncak menunjukkan kemiripan dengan temperatur aktual dengan selisih  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  (Pardede dan Oemar 2020).

## HIPOTESIS

Penggunaan *fly ash* pada campuran beton dapat menurunkan temperatur beton saat proses hidrasi berlangsung. Penurunan temperatur dapat terjadi karena jumlah semen yang

memiliki kadar kapur tinggi akan cenderung menghasilkan panas berkurang bila diganti dengan *fly ash* yang mengandung kapur lebih sedikit.

## METODOLOGI

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi, Jalan Tol Manado – Bitung, Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara yang dilaksanakan pada saat pekerjaan Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung (Simpang Susun Airmadidi) sedang berlangsung di bulan April tahun 2017. Jembatan Akses Tol Simpang Susun Airmadidi memiliki bentuk struktur *pile cap* dan *pier* dengan lebar lebih dari 2 meter sehingga dapat dikategorikan sebagai *mass concrete*.



Sumber: diolah dari data citra satelit Google Earth, tahun 2021.

**Gambar 2.** Lokasi Simpang Susun Airmadidi. Koordinat E = 719.976,08 N = 156.213,35.

### Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah mengambil data primer berupa temperatur selama rentang waktu tertentu terhadap beton menggunakan OPC murni dan beton dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan tambah pada sementitus. Hasil pergerakan temperatur beton dicatat kemudian dikomparasikan terhadap kedua data tersebut. Pencatatan

temperatur menggunakan *thermocouple* yang ditanam pada inti beton massa dan akan dihentikan sampai dengan proses panas hidrasi terjadi perlambatan atau saat tren grafik temperatur mengalami penurunan yang konstan. Pada penelitian ini digunakan tipe semen dan *fly ash* untuk beton uji sebagai berikut:

1. Jenis semen = *Ordinary Portland Cement* (OPC) / Semen Tipe I
2. Merek semen = Bosowa, Indonesia
3. Jenis *fly ash* = Kelas F
4. Kuat tekan = 30 MPa
5. Rencana

Pada campuran beton semen OPC murni sesuai *job mix formula*, dibutuhkan semen OPC sebanyak 380 kg/m<sup>3</sup> untuk mendapatkan kuat tekan rencana karakteristik  $f_c' = 30$  MPa. Dengan menggunakan metode PCA didapat temperatur awal sebesar 32°C dan perhitungan temperatur puncak sebagai berikut:

$$T_{max} = 32^{\circ}C + 14 \times \frac{380}{100}$$

$$T_{max} = 85,2^{\circ}C \text{ (untuk semen OPC murni)}$$

Sedangkan untuk campuran beton menggunakan semen OPC dan *fly ash* ditentukan sementitius sebanyak 410 kg per m<sup>3</sup> beton dengan komposisi semen OPC sebanyak 310 kg dan *fly ash* sebanyak 100 kg. Dengan menggunakan metode yang sama didapat temperatur awal sebesar 30°C dan perhitungan temperatur puncak sebagai berikut:

$$T_{max} = 30^{\circ}C + 12 \times \frac{310}{100} + 6 \times \frac{100}{100}$$

$$T_{max} = 73,2^{\circ}C \text{ (untuk semen OPC + fly ash 24,4%)}$$

Adapun dimensi pada masing-masing beton uji sebagai berikut:

1. Beton Uji 1 = Ukuran benda uji 2 x 2 x 2 meter.
2. Beton Uji 2 = Ukuran benda uji diameter 3 meter.

### Tahapan Penelitian

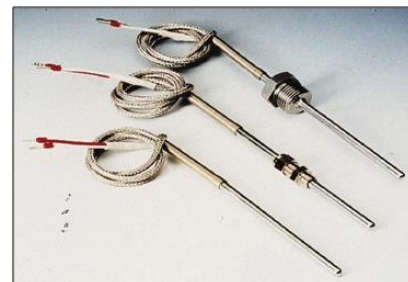
Tahapan dalam penelitian dilakukan dengan urutan:

1. Penyiapan *job mix formula* untuk beton menggunakan semen OPC murni dan semen OPC + *fly ash*.
2. Penyiapan bekisting/acuan untuk penempatan beton uji tanpa *fly ash* ukuran kubikal 2 x 2 x 2 meter dan beton uji dengan *fly ash* ukuran silinder diameter 3 meter.
3. Pemasangan alat *thermocouple* dengan menempatkan sensor panas pada posisi inti beton sebagai kondisi paling tinggi saat terjadi panas hidrasi.
4. Pembuatan campuran, beton uji 1 menggunakan semen OPC murni 380 kg per

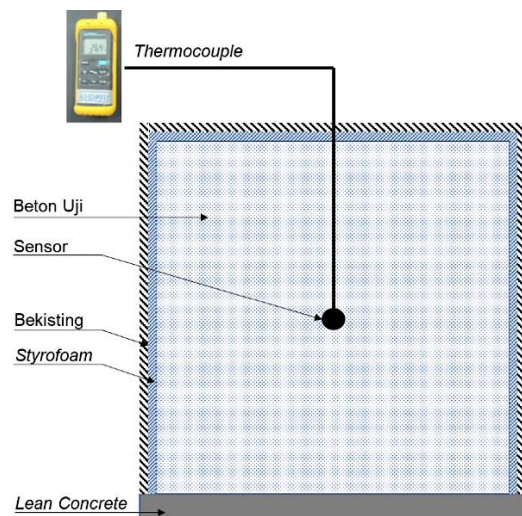
- m<sup>3</sup> dan beton uji 2 menggunakan semen OPC 310 kg dan *fly ash* 100 kg per m<sup>3</sup>.
5. Penuangan beton segar tanpa *fly ash* dan dengan *fly ash* pada masing-masing bekisting.
6. Pembacaan temperatur masing-masing beton uji tanpa *fly ash* dan dengan *fly ash*.
7. Pengambilan dan pemindahan data pembacaan ke *personal computer*.
8. Pengolahan data pembacaan alat *thermocouple* dengan melakukan analisis terhadap temperatur puncak dan prosentase kenaikan/penurunan temperatur.



Gambar 3. Alat *thermocouple*



Gambar 4. Sensor *thermocouple*



Gambar 5. Pemasangan *thermocouple*



## HASIL DAN ANALISIS

### Pelaksanaan Pembacaan *Thermocouple*

Tahapan pembacaan temperatur pada alat *thermocouple* dilakukan dengan urutan:

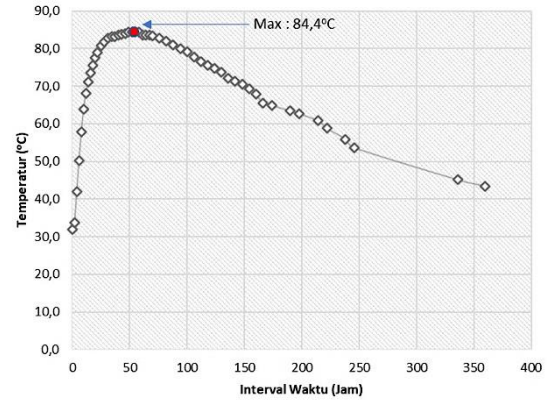
1. Memastikan alat sensor bekerja dengan normal dan telah dilakukan kalibrasi.
2. Memasang alat sensor *thermocouple* di inti beton.
3. Melaksanakan pengecoran.
4. Melakukan pencatatan pembacaan alat *thermocouple* secara periodik sampai dengan proses panas hidrasi terjadi perlambatan atau saat tren grafik temperatur mengalami penurunan yang konstan.
5. Melakukan pengambilan data hasil pembacaan alat.
6. Melakukan olah data dan menganalisis hasil bacaan temperatur.



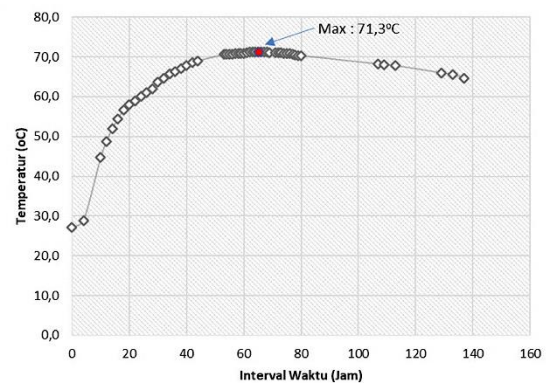
**Gambar 6.** Pemasangan *thermocouple* pada beton dan pembacaan temperatur

### Pembacaan Temperatur

Pelaksanaan pengecoran dilakukan pada malam hari dan setelahnya dilakukan pembacaan berkala pada beton uji. Temperatur awal pada beton uji 1 sebesar 32°C sedangkan pada beton uji 2 temperatur awal sebesar 27,2°C. Temperatur puncak pada beton uji 1 sebesar 84,4°C pada jam ke-55 sedangkan pada beton uji 2 temperatur puncak sebesar 71,3°C pada jam ke-64. Pembacaan dihentikan pada beton uji 1 saat temperatur sudah turun sebesar 43,4°C atau pada jam ke-360 sedangkan pada beton uji 2 dihentikan saat temperatur sudah turun sebesar 64,7°C atau pada jam ke-137. Hasil pembacaan temperatur beton uji 1 ditampilkan dalam Gambar 7 dan pembacaan temperatur beton uji 2 ditampilkan dalam Gambar 8.



**Gambar 7.** Grafik pembacaan temperatur beton uji 1 dengan OPC murni.



**Gambar 8.** Grafik pembacaan temperatur beton uji 2 dengan OPC+fly ash 24,4%.

### Pengujian kuat tekan beton

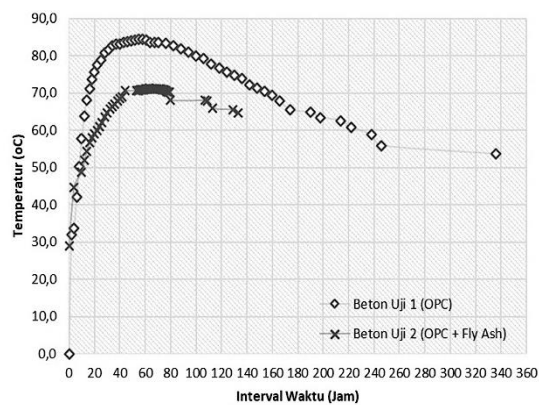
Disamping pembacaan temperatur, dilakukan juga uji kuat tekan silinder pada pekerjaan struktur yang telah menggunakan beton dengan *fly ash*, hasilnya kuat tekan rata-rata sebesar 42,1 MPa, lebih besar dari kuat tekan rencana sebesar 30 MPa.

## PEMBAHASAN

### Hasil Pembacaan

Berdasarkan hasil pembacaan temperatur dengan alat *thermocouple* didapatkan hasil benda uji 1 yang menggunakan OPC murni pada 40 jam pertama temperatur mengalami kenaikan yang signifikan dari semula 32°C menjadi 83,5°C dengan kenaikan temperatur sebesar 51,5°C. Pada jam ke-41 hingga jam ke-55, temperatur masih mengalami kenaikan meski melambat dengan temperatur maksimal mencapai 84,4°C dan kenaikan temperatur sebesar 0,9°C. Setelah itu temperatur mulai berangsur turun setelah jam ke-41 hingga jam ke-360 (selesai dilakukan pembacaan).

Sedangkan pada benda uji 2 yang menggunakan OPC dan *fly ash* pada 40 jam pertama temperatur mengalami kenaikan yang signifikan dari semula 27,2 °C menjadi 67,8°C dengan kenaikan temperatur sebesar 40,6°C. Pada jam ke-41 hingga jam ke-64, temperatur masih mengalami kenaikan meski melambat dengan temperatur maksimal mencapai 71,3°C dan kenaikan temperatur sebesar 3,5°C. Setelah itu temperatur mulai berangsur turun setelah jam ke-41 hingga jam ke-137 (selesai dilakukan pembacaan).



**Gambar 9.** Grafik pembacaan temperatur beton uji 1 (OPC murni) dan beton uji 2 (OPC+*fly ash* 24,4%).

Perbedaan nilai temperatur awal antara perhitungan metode PCA dengan pembacaan temperatur aktual terjadi perbedaan sebesar

kurang dari 3°C, sedangkan terhadap nilai temperatur puncak terjadi perbedaan sebesar kurang dari 2°C.

#### Analisis Data

Penggunaan OPC murni pada beton uji 1 mengandung kadar kapur tinggi sehingga memungkinkan terjadinya hidrasi beton secara cepat tetapi efek sampingnya menghasilkan panas tinggi pada jam ke-55 dengan temperatur maksimal mencapai 84,4°C. Sedangkan penggunaan OPC dan *fly ash* pada beton uji 2 mengurangi kadar kapur pada campuran beton dan diganti dengan kadar silika sehingga hidrasi beton terjadi lebih lambat dan menghasilkan panas yang lebih rendah yang puncaknya terjadi pada jam ke-64 dengan temperatur maksimal mencapai 71,3°C. Penggantian OPC dengan *fly ash* sebanyak 100 kg ternyata mampu menurunkan panas hidrasi sebesar 15,52%. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa pengurangan kadar semen OPC sebanyak 70 kg dan diganti dengan *fly ash* sebanyak 100 kg pada sementitus campuran beton menghasilkan pengurangan temperatur puncak yang efektif. Disamping itu, nilai temperatur puncak tersebut telah sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2020 (Indonesia 2020) yang mengizinkan temperatur beton inti maksimum sebesar 71°C.

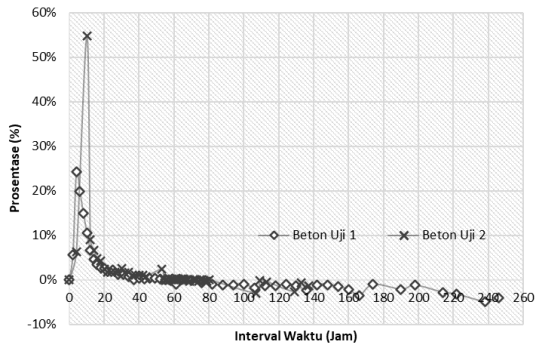
**Tabel 4.** Perbandingan nilai rencana dan aktual temperatur puncak

No.	Nama	Temperatur Awal Rencana	Temperatur Awal Aktual	Temperatur Puncak Rencana	Temperatur Puncak Aktual	Selisih Temperatur Puncak
1	Benda Uji 1	32°C	32,0°C	85,2°C	84,4°C	0,8°C
2	Benda Uji 2	30°C	27,2°C	73,2°C	71,3°C	1,9°C

**Tabel 5.** Hasil pembacaan temperatur pada kedua benda uji

No.	Nama	Sementitus	Temperatur Puncak Aktual	Selisih Temperatur	Prosentase Penurunan Temperatur
1	Benda Uji 1	OPC 380 kg	84,4°C		
2	Benda Uji 2	OPC 310 kg + FA 100 kg = 410 kg	71,3°C	13,1°C	15,52%.





**Gambar 10.** Grafik persentase kenaikan/penurunan temperatur beton uji 1 dan 2.

Prosentase kenaikan temperatur secara signifikan terjadi pada kedua beton uji dalam interval waktu kurang dari 20 jam pertama. Pada beton uji 1 mengalami prosentase kenaikan temperatur maksimal sebesar 24,26% terjadi pada pada jam ke-4 dan temperatur puncak sebesar 84,4°C terjadi pada jam ke-55, sedangkan beton uji 2 mengalami prosentase kenaikan temperatur maksimal 54,67% terjadi pada jam ke-10 dan temperatur puncak sebesar 71,3°C terjadi pada jam ke-64. Hal ini menunjukkan pengaruh penambahan *fly ash* tidak hanya menurunkan temperatur puncak tetapi juga memperlambat prosentase kenaikan temperatur beton.

Di samping itu penggunaan *fly ash* sebanyak 100 kg pada sementitus ternyata juga menghasilkan mutu kuat tekan beton rata-rata sebesar 42,1 MPa lebih dari yang disyaratkan sebesar 30 MPa.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil evaluasi yang dilakukan terhadap data pembacaan termometer yaitu penggantian 24,4% semen menjadi *fly ash* dapat menurunkan nilai temperatur maksimal beton saat waktu pengerasan dari semula sebesar 84,4°C menjadi 71,3°C atau terjadi penurunan sebesar 13,1°C (15,52%). *Fly ash* juga dapat memperlambat prosentase kenaikan temperatur signifikan dari semula terjadi pada jam ke-4 berubah menjadi pada jam ke-10 dan memperlambat tercapainya temperatur puncak dari semula terjadi pada jam ke-55 berubah menjadi pada jam ke-64.

Penggunaan *fly ash* pada sementitus sebanyak 100 kg juga menghasilkan mutu kuat tekan beton sesuai persyaratan sebesar 30 MPa.

*Fly ash* dapat menjadi alternatif bahan bangunan yang ramah lingkungan karena selain mengurangi limbah *fly ash* hasil Pembangkit Listrik Tenaga Uap berbahan bakar batubara yang selama ini penanganannya hanya dilakukan dengan cara penimbunan tetapi juga secara bersamaan mengurangi penggunaan bahan pozzolan yang bersumber dari penggalian batu kapur di alam.

### Saran

Perlu dilakukan kajian lanjutan terhadap variasi besaran penambahan *fly ash* terhadap sementitus beton dengan ukuran benda uji yang sama besar, dan dilakukan kajian terhadap berbagai jenis semen dan kelas *fly ash* lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Direktorat Pembangunan Jembatan dan Satuan Kerja Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung Provinsi Sulawesi Utara karena telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melakukan analisis dan penelitian terhadap penggunaan *fly ash* sebagai campuran beton pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung, sehingga saat ini penulis bisa menyampaikan kesimpulan atas penelitian tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alahrache, S., Winnefeld, F., Champenois, J. B., Hesselbarth, F., and Lothenbach, B. 2016. Chemical activation of hybrid binders based on siliceous fly ash and Portland cement. *Cement and Concrete Composite* 66: 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.11.003>.
- Ariyani, N dan Laila, P. 2013. Pengaruh Pemakaian Fly Ash dan Superplasticizer pada Kuat Tekan Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM* 18(2): 1-11.
- Bourchy, A., Barnes, L., Bessette, L., Chalencon, F., Joron, A., and Torrenti, J.M. 2019. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures. *Cement and Concrete Composites*. 103: 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.005>.
- Handayani, J., Lutfi, M., Chayati, N., Muhammad, F., dan Taqwa, L. 2019. Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa pada Raft Foundation Ketebalan 3 Meter (Studi Kasus : Proyek MCC Tower - Jakarta). *Jurnal*

- Komposit Civil Engineering and Environmental* 3: 19–22.
- Hemalatha, T. and Ramaswamy, A. 2017. A Review On Fly Ash Characteristics – Towards Promoting High Volume Utilization In Developing Sustainable Concrete. *Journal of Cleaner Production* 147: 546–559. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.01.114>
- Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK). 2019. *Nilai Ekonomi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU-PLN di Berbagai Sektor*. Jakarta: Kementerian LHK.
- Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2018. *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Pd 14-2018-B Penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2020. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Pardede, M. D. dan Oemar, F. 2020. Pengendalian Suhu Beton Massa 3500M3 Menggunakan Balok Es dan Pengaruhnya Terhadap Beton (Studi Kasus: Pondasi Raft Gedung PPAG2). *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur*, 19: 158–168.
- Pujianto, As'at. 2015. Sifat Kimiawi Beton. *Teknologi Beton*. 21-40. Yogyakarta: UMY Press <http://repository.umy.ac.id/> (diakses 28 Desember 2019).
- Rasyid, Abdurakhman. 2016. *Low Heat Concrete, Sebuah Inovasi untuk Pengecoran Beton Massa di Indonesia*. Jakarta: Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia.
- Rochaeti, Endawati J., Widuri, D. D. Lilian & Moeljono. 2014. Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type II terhadap Ketebalan Elemen Beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 16: 183-194.
- Setiawati, Mira. 2018. Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. *Porisiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi* 1-8. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sunarti, Supriadi, A., Kurniasih T. N., Kencono, A. W., Prasetyo, B. E., Kurniawan, F., Kurniadi, C. B., Alwendra, Y., Aprilia, R., Rabbani., Setiadi, I. dan Anggreani, A. 2017. *Kajian Pemodelan Prakiraan Penyediaan dan Pemanfaatan Energi dengan Skenario Optimasi Pengolahan Batubara*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.