

ANALISIS *HEAT TRANSFER* PADA BETON MASSA MENGGUNAKAN OPC TIPE I DALAM HUBUNGAN DENGAN CARA *CURING*

Billy Setiawan¹ dan F.X. Supartono²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: setiawanbilly96@yahoo.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: fxsupartono@gmail.com

ABSTRAK

Skripsi ini membahas tentang heat transfer dan tegangan yang terjadi pada *pilecap* bermassa besar di Jembatan Pulau Balang, Kalimantan Timur. Pada pekerjaan konstruksi beton massa, sering kali dihadapkan dengan masalah-masalah tertentu yang biasanya diakibatkan oleh kelalaian dalam pembuatan beton massa tersebut. Salah satunya adalah timbulnya *crack* pada permukaan beton massa. *Crack* ini biasa diakibatkan oleh proses *curing* yang kurang tepat, ataupun pemakaian semen yang berlebih. Dimensinya yang besar juga dapat mengakibatkan bagian dalam beton sulit untuk melepaskan panas. Adanya perbedaan temperatur yang besar antara permukaan dan inti beton dapat menimbulkan tegangan yang mana dikhawatirkan akan melampaui kuat tarik beton, sehingga menimbulkan retak pada permukaan beton. Dalam penelitian ini, metode *curing* dan *initial temperature* akan menjadi variabel bebas, yang mana akan mempengaruhi temperatur yang terjadi. Menurut literatur, temperatur maksimum yang diijinkan adalah 70°C, sedangkan perbedaan temperatur harus lebih kecil dari 20°C. Dalam penelitian ini, dibuat opsi *curing* dengan cara isolasi dan temperatur awal yang rendah (perbedaan temperatur yang terjadi 11,7°C). Sedangkan untuk opsi tanpa isolasi sudah tidak memenuhi persyaratan (perbedaan temperatur yang terjadi 33°C) dan terjadi *thermal crack* pada permukaan beton. Pemasangan lapisan isolator dengan metode buka tutup dapat menjadi cara alternatif, namun berisiko terjadi *thermal shock* dan harus dilakukan *trial and error* untuk menghindari hal tersebut.

Kata kunci: beton massa, isolator, temperatur maksimum, perbedaan temperatur, tegangan.

1. PENDAHULUAN

Di zaman sekarang ini, kebutuhan konstruksi di Indonesia terus-menerus berkembang, terutama pada gedung-gedung bertingkat tinggi. Tentunya dalam konstruksi gedung tingkat tinggi ini memerlukan pondasi dan *pilecap* yang sangat besar agar mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh struktur atas tersebut. Pada umumnya, pondasi dan *pilecap* merupakan salah satu contoh dari beton bermassa besar. Pada pekerjaan konstruksi beton massa, sering kali dihadapkan dengan masalah-masalah tertentu yang biasanya diakibatkan oleh kelalaian dalam pembuatan beton massa tersebut. Salah satunya adalah timbulnya *crack* pada permukaan beton massa.

Crack ini biasa diakibatkan oleh proses *curing* yang kurang tepat, ataupun pemakaian semen yang berlebih. Pada umumnya, panas pada beton akan mengakibatkan beton mengembang, sedangkan jika beton sudah mengeras, maka beton tersebut akan menyusut. Pada beton massa, biasanya bagian luar lebih cepat mengeras daripada bagian dalam. Hal seperti cenderung menimbulkan tegangan internal beton yang mana jika melampaui kuat tarik beton, akan menimbulkan *crack* pada permukaan beton tersebut.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang di atas, peneliti bermaksud untuk mencari perubahan/penyebaran temperatur serta tegangan yang timbul selama proses pengerasan.

Identifikasi masalah

Jurnal ini membahas tentang penyebaran temperatur dengan semen portland tipe I dan perbedaan tegangan yang timbul.

Batasan masalah

Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini, antara lain:

- Beton yang akan dimodelkan adalah beton massa (*pilecap*).

- b. Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I.
- c. Metode *curing* yang digunakan yaitu:
 - Metode penyiraman dengan air.
 - Metode isolasi dengan lapisan *styrofoam*, pasir dan plastik.
 - Metode isolasi sistem buka tutup.
- d. Menggunakan air es (suhu awal 18°C) dan air biasa (suhu awal 30°C) sebagai campuran adukan beton.
- e. Perhitungan analisa menggunakan bantuan *software* midas Civil 2018.
- f. Hasil yang diperoleh berupa penyebaran temperatur dan tegangan selama proses pengerasan beton.

Rumusan masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- a. Apa pengaruh panas hidrasi semen OPC tipe I pada beton massa?
- b. Bagaimana penyebaran temperatur dalam beton selama proses pengerasan berlangsung?
- c. Berapakah tegangan yang timbul selama proses pengerasan berlangsung?

Tujuan penelitian

- a. Mengetahui pengaruh panas hidrasi semen OPC tipe I pada beton massa.
- b. Mengetahui penyebaran/perubahan temperatur dalam beton selama proses pengerasan berlangsung.
- c. Mengamati tegangan yang timbul selama proses pengerasan berlangsung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton massa

Beton massa merupakan beton yang memiliki dimensi yang sedemikian besar, sehingga dibutuhkan tindakan-tindakan khusus dalam proses pengecorannya. Tindakan ini berupa pengendalian suhu thermal akibat dari hidrasi semen serta perubahan volume beton untuk mengurangi keretakan atau *cracking*. Beton dengan ketebalan minimal 1,3 meter dapat dikategorikan sebagai *mass concrete* atau beton massa.

Beton massa ini biasa diaplikasikan dalam bentuk *pilecap* (terutama *raft foundation*), pillar besar, *thick slabs*, dan beton dengan dimensi tebal lainnya. Seperti halnya beton biasa, hal-hal yang perlu diperhatikan pada beton massa ini adalah perubahan temperatur, kuat tekan, dan *durability*. Namun, yang patut diperhatikan dalam beton massa ini adalah perubahan temperatur, karena dimensinya yang besar dapat mengakibatkan bagian dalam beton sulit untuk melepaskan panas. Adanya perbedaan temperatur pada bagian beton ini dapat menimbulkan tegangan internal beton yang mana dikhawatirkan akan melampaui kuat tarik beton, sehingga menimbulkan retak pada permukaan beton.

Semen

Semen merupakan salah satu aspek penting dalam pembuatan beton dan merupakan campuran dari berbagai senyawa kimia yang bersifat hidrolis. Hidrolis artinya apabila suatu bahan dicampur dengan air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras serta tidak larut. Secara umum, semen dapat didefinisikan sebagai bahan perekat yang dapat merekatkan bagian-bagian benda, dua atau lebih benda sehingga menjadi bentuk yang kuat, kompak dan keras. Salah satu jenis semen yang umum dipakai adalah semen *portland* dengan berbagai tipe dan karakteristik seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1

Tabel 1. Jenis semen *Portland* dengan sifatnya

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Panas hidrasi (J/kg)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	Umum	50	24	11	8	330
II	<i>Moderate</i>	42	33	5	13	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	250

Curing

Curing merupakan suatu langkah yang perlu dilakukan dalam proses pembuatan beton dimana beton diberi kesempatan untuk memaksimalkan atau mengembangkan kekuatannya sesempurna mungkin. Proses *curing* biasanya dilakukan setelah beton mencapai fase *hardening* atau proses pengerasan. Proses *curing* sangat berperan penting dalam pembentukan kekuatan beton. Pasalnya, selama beton masih dalam proses pengerasan, beton tersebut akan terus menghasilkan panas yang disebabkan oleh proses hidrasi antara campuran semen dengan air. Jika tidak dilakukan proses *curing*, dikhawatirkan akan terjadi *thermal cracking*, yang artinya retak yang disebabkan oleh perbedaan temperatur pada sisi luar dan dalam beton. Adanya perbedaan temperatur ini dapat mengakibatkan terjadinya tegangan pada beton, sehingga menimbulkan retak.

Salah satu metode *curing* yang paling umum adalah dengan disiram air secara berkala. Selama beton masih dalam proses pengerasan, beton akan terus kehilangan air akibat penguapan karena panas. Kehilangan air dalam beton secara terus-menerus dapat mengganggu proses hidrasi, sehingga memicu timbulnya keretakan pada beton. *Curing* dengan penyiraman air terhadap beton secara berkala bertujuan untuk menggantikan air yang hilang selama proses hidrasi berlangsung. Penyiraman dilakukan ke semua sisi beton yang direndam, sehingga pengeringan tidak akan mungkin terjadi dan beton tidak akan kehilangan air yang dibutuhkannya untuk proses pengerasan.

Metode lain dalam proses *curing* yaitu dengan metode isolasi. Pada *curing* ini, beton ditutup/diselimuti dengan material yang bersifat isolator, yang artinya material tersebut sulit untuk menghantarkan panas. Material yang bersifat isolator ini umumnya dapat berupa *styrofoam*, pasir, plastik, dan sebagainya. Metode ini bertujuan untuk mencegah panas dalam beton agar tidak keluar (penguapan), sehingga air yang dibutuhkan beton tidak hilang dengan mudah dan proses hidrasi tetap terus berjalan. Metode ini lebih mudah untuk dilakukan, namun terdapat resiko, yaitu tidak dapat menggantikan air yang hilang selama proses pengecoran maupun pengerasan karena pasti akan ada kandungan air yang hilang dalam jumlah yang kecil.

Selain itu, jika material isolator ini dilepas sebelum proses pengerasan selesai, maka dapat menyebabkan terjadinya *thermal shock*, yaitu tegangan yang terjadi akibat perubahan suhu yang mendadak antara permukaan beton dengan lingkungan luar. Hal ini terjadi karena tingginya temperatur permukaan beton akibat lapisan isolator.

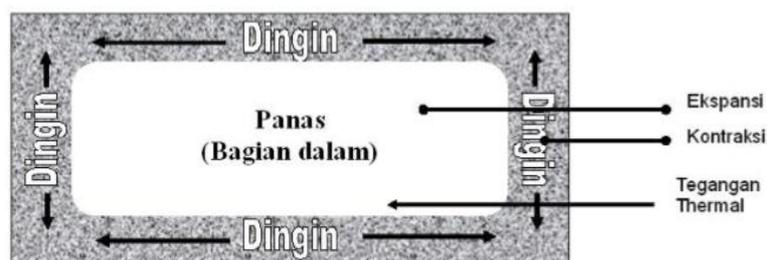
Thermal stress dan thermal crack

Thermal stress (tegangan termal) dan *thermal cracking* (retak termal) merupakan 2 keadaan yang sering muncul dalam proses pembuatan beton massa. Dalam pembuatan *mass concrete*, temperatur selalu menjadi permasalahan utama karena beton memiliki sifat *poor thermal conductivity*, yang artinya beton, terutama beton massa membutuhkan waktu yang relatif lama atau sulit untuk melepaskan panas yang terkandung dalam beton tersebut.

Dari keadaan tersebut, timbullah tegangan termal, yaitu tegangan yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu. Perpindahan panas antara permukaan beton dengan lingkungan sekitar menyebabkan bagian permukaan beton lebih cepat melepas panas dibandingkan dengan bagian dalam beton.

Jika tegangan termal dibiarkan terus-menerus, akibatnya akan terjadi *thermal cracking*, yaitu retak pada permukaan beton yang disebabkan oleh tegangan yang terjadi pada beton. Menurut literatur, perbedaan suhu antara permukaan beton dengan inti beton tidak boleh melebihi 20°C dan suhu maksimum yang boleh diterima beton adalah 70°C. Retak termal dapat dihindari dengan cara mengendalikan suhu pada beton, diantaranya adalah dengan *curing*, ataupun memakai semen dengan panas hidrasi rendah (*portland cement* tipe IV).

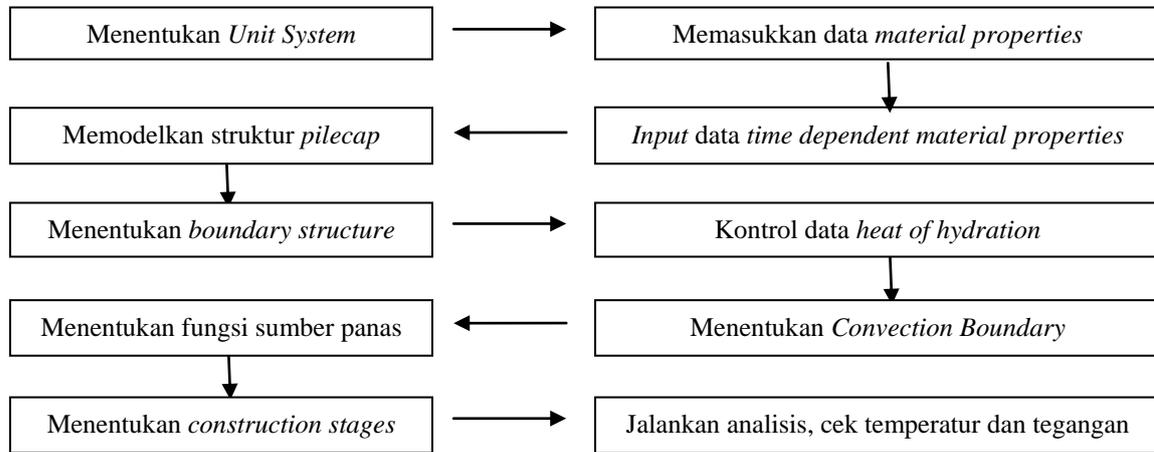
Tegangan termal yang terjadi diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi tegangan termal pada beton.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dipakai program Midas Civil 2018 untuk menghitung penyebaran temperatur dan tegangan yang timbul dengan berbagai variabel bebas, yaitu opsi *curing* dan temperatur awal. Adapun tahapan dalam menganalisis *heat transfer* pada beton massa akan dijelaskan pada Gambar 2 berikut ini.

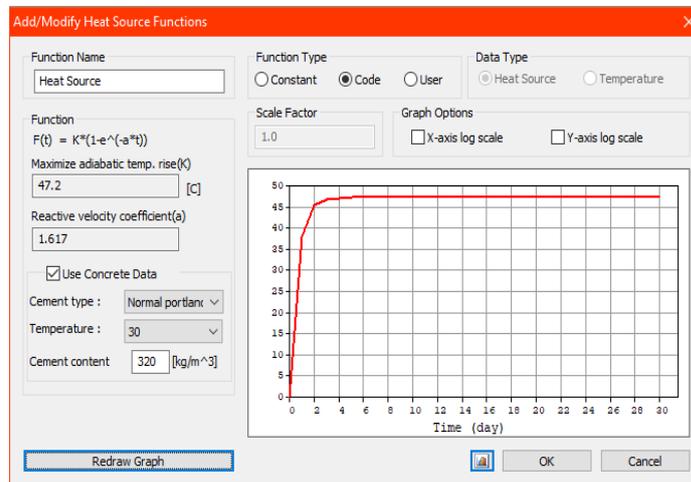


Gambar 2. Skema tahapan pekerjaan menggunakan Midas Civil 2018.

Variabel bebas

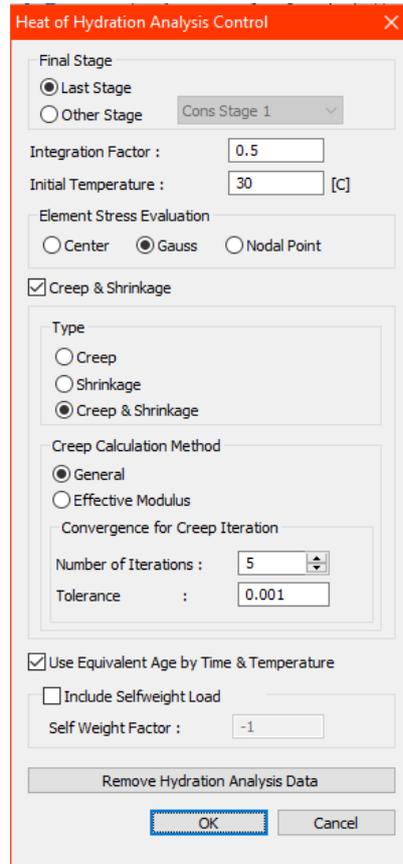
Variabel bebas yang akan dipakai pada penelitian ini adalah opsi *curing* dan *initial temperature*. Tipe semen juga akan menjadi hal utama dalam penelitian ini, yaitu dengan menggunakan semen *Portland* tipe I.

Untuk penggunaan semen OPC tipe I dapat diatur pada fungsi sumber panas seperti pada gambar 3 berikut ini.



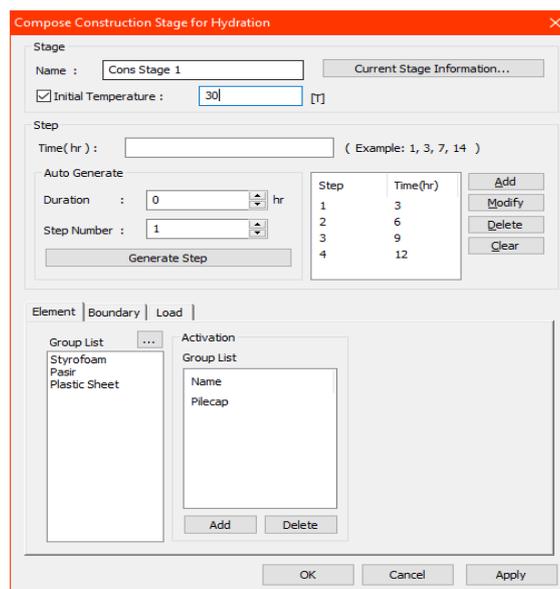
Gambar 3. Penentuan *Heat Source Functions*.

Untuk *initial temperature*, dapat diatur pada kontrol data panas hidrasi seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. *Heat of Hydration Analysis Control*

Untuk opsi *curing* dapat ditentukan pada bagian *construction stages*, dimana setiap waktu dapat ditentukan tahapan konstruksi secara menyeluruh, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.

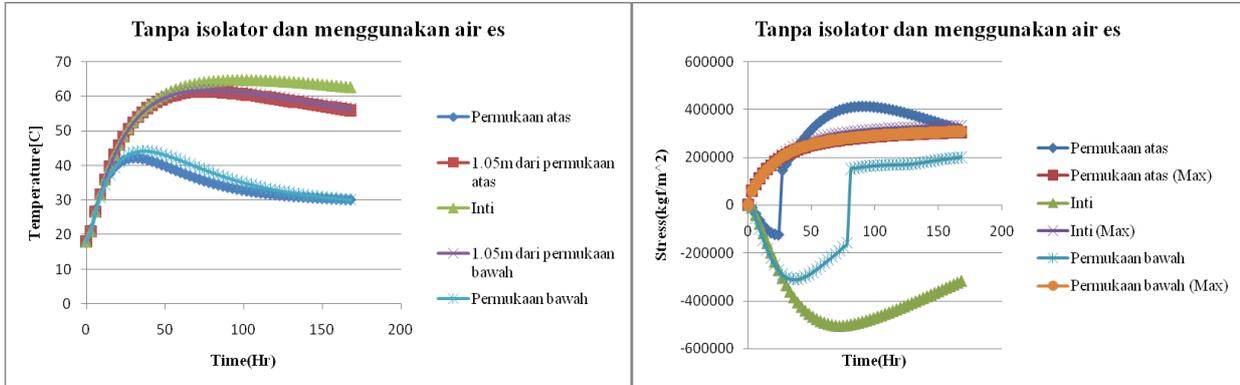


Gambar 5. *Construction Stages*.

4. HASIL ANALISIS

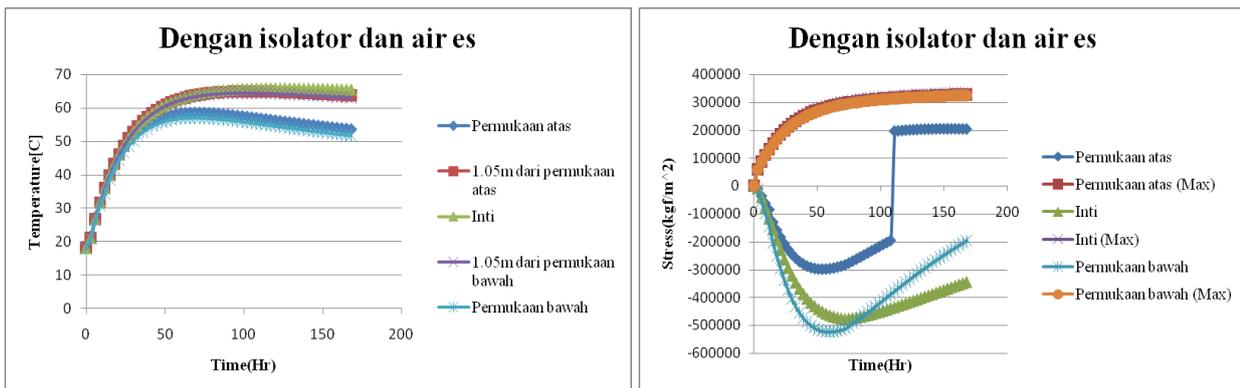
Hasil yang didapat berupa temperatur dan tegangan dari beberapa kondisi.

Untuk kondisi tanpa *curing* dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$ (air es) didapat perbedaan temperatur sebesar 33°C sesuai dengan Gambar 6.



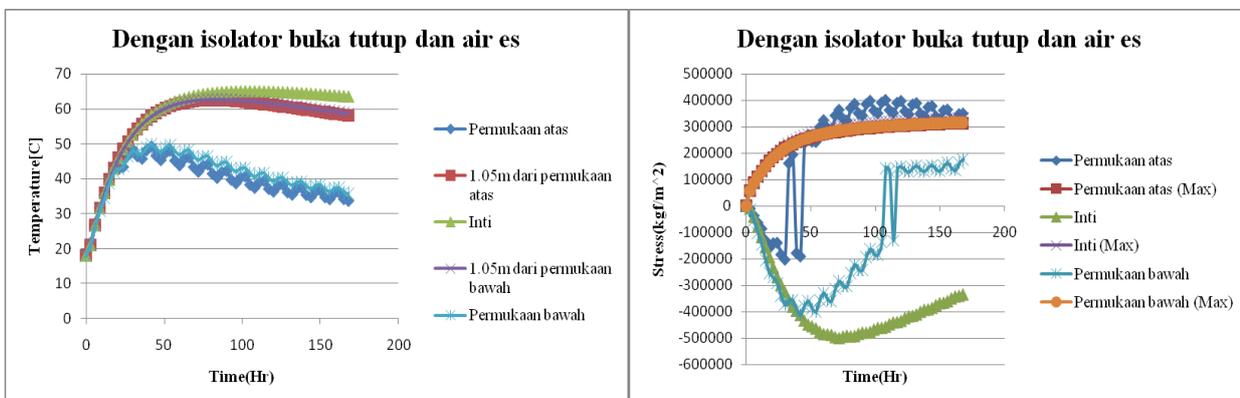
Gambar 6. Grafik temperatur dan tegangan tanpa isolator dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$

Untuk kondisi dengan *curing* dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$ (air es) didapat perbedaan temperatur sebesar $11,7^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 7.



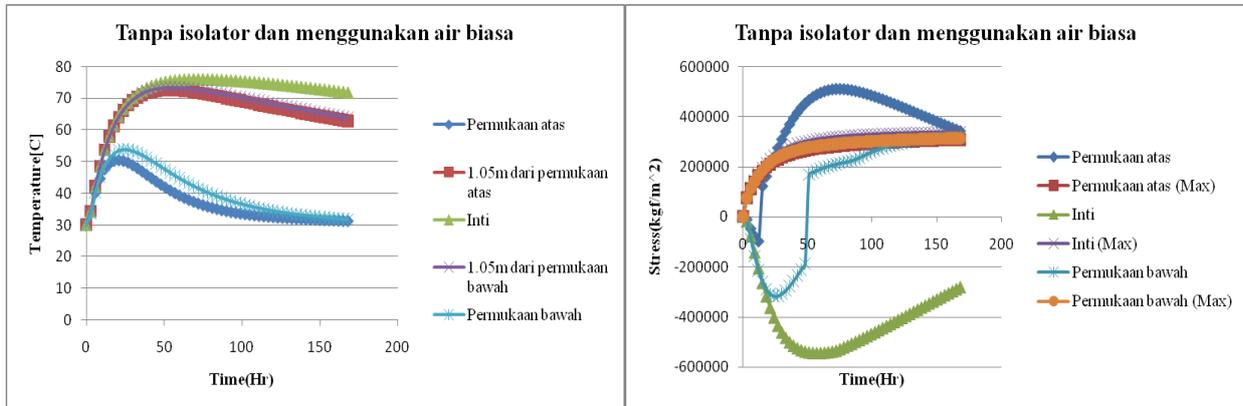
Gambar 7. Grafik temperatur dan tegangan dengan isolator dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$

Untuk kondisi dengan *curing* metode buka tutup dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$ (air es) didapat perbedaan temperatur sebesar $30,0^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 8.



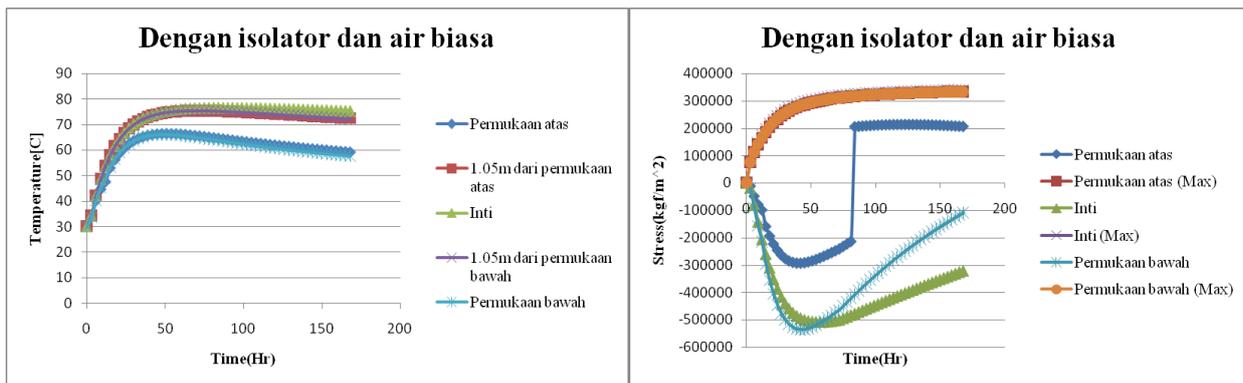
Gambar 8. Grafik temperatur dan tegangan dengan isolator metode buka tutup dan suhu awal $\pm 18^{\circ}\text{C}$

Untuk kondisi tanpa *curing* dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$ (air biasa) didapat perbedaan temperatur sebesar $42,2^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 9.



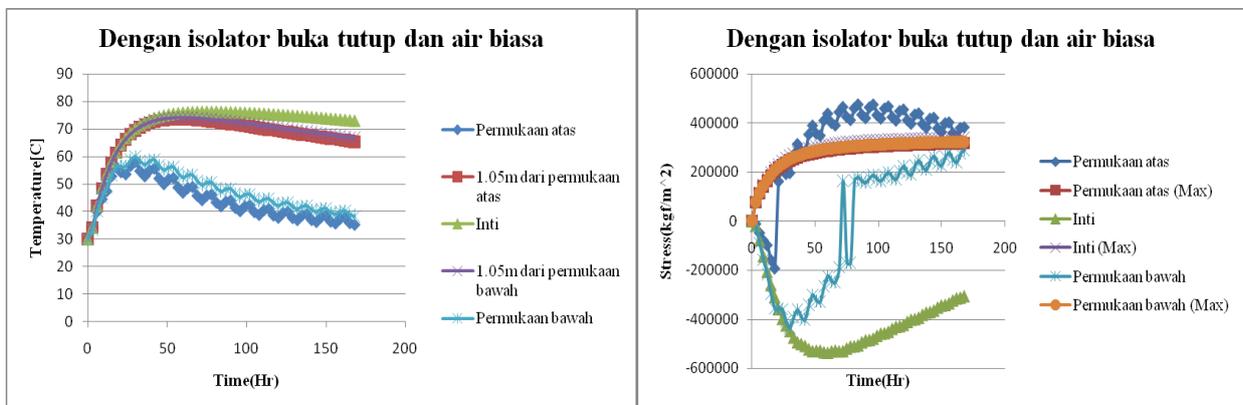
Gambar 9. Grafik temperatur dan tegangan tanpa isolator dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$

Untuk kondisi dengan *curing* dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$ (air biasa) didapat perbedaan temperatur sebesar $16,2^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 10.



Gambar 10. Grafik temperatur dan tegangan dengan isolator dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$

Untuk kondisi dengan *curing* metode buka tutup dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$ (air biasa) didapat perbedaan temperatur sebesar $37,9^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 11.



Gambar 11. Grafik temperatur dan tegangan dengan isolator metode buka tutup dan suhu awal $\pm 30^{\circ}\text{C}$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *heat transfer* pada konstruksi *pilecap* Jembatan Pulau Balang, Kalimantan Timur, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pemakaian air es/air biasa sebagai bahan campuran adukan beton akan mempengaruhi temperatur yang dihasilkan. Sebagai contoh, pada *pilecap* tanpa isolator, temperatur maksimum yang dihasilkan jika memakai air es sebagai bahan campuran adukan beton sebesar 64,8°C, sedangkan temperatur maksimum yang dihasilkan jika memakai air biasa sebagai bahan campuran adukan beton sebesar 76,1°C.
- b. Temperatur yang dihasilkan pada *pilecap* tanpa lapisan isolator memiliki perbedaan temperatur yang besar, yaitu 33°C dengan air es dan 42,2°C dengan air biasa. Hal ini disebabkan karena panas yang terus-menerus keluar dari permukaan beton.
- c. Temperatur yang dihasilkan pada *pilecap* dengan lapisan isolator memiliki perbedaan temperatur yang kecil, yaitu 11,7°C dengan air es dan 16,2°C dengan air biasa. Hal ini disebabkan karena adanya peran dari lapisan isolator yang dapat menahan/mencegah panas keluar dari permukaan beton, sehingga temperatur antara permukaan dengan inti tidak terlalu berbeda jauh.
- d. Temperatur yang dihasilkan pada *pilecap* dengan lapisan isolator buka tutup memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar, yaitu 29,5°C dengan air es dan 37,5°C dengan air biasa. Hal ini dapat diatasi dengan membuka dan menutup lapisan isolator sedemikian rupa, karena jika tidak teratur, maka dapat berpotensi mengalami *thermal shock*.
- e. Tegangan yang terjadi pada *pilecap* tanpa lapisan isolator dan *pilecap* dengan lapisan isolator buka tutup sudah melampaui batas tegangan yang diijinkan, hal ini disebabkan karena temperatur pada bagian permukaan dan bagian inti *pilecap* memiliki perbedaan yang cukup jauh ($> 20^{\circ}\text{C}$). Sedangkan tegangan yang terjadi pada *pilecap* dengan lapisan isolator masih berada di bawah batas tegangan yang diijinkan, karena temperatur pada bagian permukaan dan bagian inti *pilecap* memiliki perbedaan yang kecil ($< 20^{\circ}\text{C}$).
- f. Cara terbaik yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan isolator dan temperatur awal yang rendah karena panas yang dihasilkan lebih rendah, sehingga metode ini merupakan metode *curing* yang tepat guna.

DAFTAR PUSTAKA

- Charman, R. dan Tuson A. (2012). "Thermal Material Properties for Modelling of the 2 Metre Box".
- Endawati, J. dkk. (2014). "Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Tipe 2 Terhadap Ketebalan Elemen Beton".
- Haebaehan, F. D. P. dan Nuryamsi. (2014). "Pengaruh Perawatan (Curing) Pada Beton Dengan Limbah Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton".
- Han, Tong-Seok. dkk. (2013). "Evaluation of Thermal Conductivity for Thermally Insulated Concretes".
- Kim, Soo Geun. (2010). "Effect of Heat Generation From Cement Hydration on Mass Concrete Placement".
- Neville, A. M. (2012). *Properties of Concrete 5th Edition*. Pearson Education Limited.
- Nugraha, Paul dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, dan Beton Kinerja Tinggi*. Andi Publisher.
- Nuryadin, A. K. (2012). "Analisa Panas Hidrasi Pada Pondasi Bored Pile di Laut Menggunakan Software Midas Pada Proyek Jembatan Suramadu."
- Pratama, S.W.I. dkk. (2015). "Pembuatan dan Pengujian Kualitas Semen Portland Yang Diperkaya Silikat Abu Ampas Tebu".
- Priambodo, I.S. (2016). "Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kualitas Fisika dan Kimia Pada Produksi Portland Composite Cement (PCC)".
- Suryawijaya, M. (2012). "Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa Dengan Ketebalan 4 Meter".
- Vijayalakshmi, M. "Concrete Technology".
- Widojoko, L. (2010). "Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar". *Jurnal Teknik Sipil UBL1*.