



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERUBAHAN TEMPERATUR PADA BETON MASSA  
DENGAN KETEBALAN 3 METER  
(Studi Kasus : *Raft Foundation Rasuna Tower*)**

**SKRIPSI**

**SELLA ADINDA SESAR  
0806329621**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

1096/FT.01/SKRIP/07/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERUBAHAN TEMPERATUR PADA BETON MASSA  
DENGAN KETEBALAN 3 METER  
(Studi Kasus : *Raft Foundation Rasuna Tower*)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**SELLA ADINDA SESAR  
0806329621**


**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Sella Adinda Sesar

NPM : 0806329621

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sella Adinda Sesar  
NPM : 0806329621  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Perubahan Temperatur pada Beton Massa dengan Ketebalan 3 Meter (Studi Kasus : *Raft Foundation* Rasuna Tower)

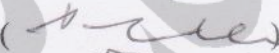
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

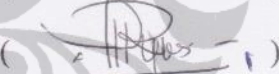
Pembimbing : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

()

Pembimbing : Ir. Sjahril A. Rahim, M. Eng

()

Penguji : Ir. Essy Arijoeni, Ph. D (K)

()

Penguji : Ir. Madsuri, M.T

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T., karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua, Kakak Sesar, Mas Blair dan orang-orang terdekat saya yang telah memberikan doa, perhatian dan kasih sayang kepada saya selama penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Elly Tjahjono, DEA dan Ir. Sjahril A. Rahim M.E selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan dukungannya untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ir. Essy Arijoeni, Ph. D dan Ir. Madsuri M.T selaku dosen penguji yang turut memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ir. Martha Leni Siregar M.Sc. selaku pembimbing akademis saya
5. Bapak Iwan Supriyanto atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan serta segenap pegawai PT. Pionir Beton yang telah memberi berbagai kemudahan dalam mendapatkan data.
6. Bapak Tri, Bapak Kherry, Ibu Ros, Ibu Mega, Reddy, Bapak Didin serta segenap pegawai PT. TATAMULIA NUSANTARA INDAH yang telah membantu dalam studi kasus beton massa di Rasuna Tower.
7. Bapak Mulyana dan Mas Hafid atas penambahan titik gratisnya serta Mas Arda dan karyawan PT. Ultrachem lain yang turut serta dalam pembacaan suhu di Rasuna Tower.
8. Melky Suryawijaya dan Krisman Sinaga yang setia bersama dalam studi kasus beton massa ini, terimakasih untuk segala pengertian dan perhatian kalian.

9. Dita, Syifa, Dini, Devi, Ica, Thesa, Dahl, Nico, Nanda, Gabby, Oghie, Ganjar dan semua sahabat-sahabat saya atas kebersamaannya selama masa perkuliahan. Terimakasih karena kalau tidak ada kalian, tidak jadi 4 tahun.
10. Teman-teman team Plaza Quantum. Pak Fajril, Pak Ali, Bu Anna, Pak Mei, Mas Eko, Mas Deni, Pak Wawan, Mas Guntur, Pak Lukman, Pak Dedi, Mas Nur, Pak Iwan, Mas Sugeng, Pak Leman, Pak Yaya, Mbak Wika, Mas Ferdo, Mbak Iffah dan lain-lain yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Terimakasih untuk keluarga baru yang teman-teman ciptakan sejak proyek berlangsung.
11. Seluruh laboran Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, Pak Apri yang turut membantu dalam peminjaman alat, Bapak Anton yang telah membantu dalam proses instalasi MIDAS Gen, Mbak Santi, Cipta, Iqbal dan Rendy.
12. Saudara-saudara saya yang turut mendoakan, Eyang dr.Muhammad Toyyibi serta Om Heri dan Keluarga atas prasarana yang diberikan. Mbak Inez, Rani, Keydo, Arif, Kitty, Mas Koko, Mas Kiki, Mbak Lia terimakasih telah menjadi sepupu terbaikku.
13. Bapak Bronson dan segenap pegawai Proyek Menteng Residence PT. WKC.
14. Om Surya dan Tante Retno beserta keluarga atas segala kebaikannya selama ini. Rhaka Naufan Azmi atas kebaikannya dan akan selalu saya ingat sebagai sahabat terbaik seumur hidup saya.
15. Segenap karyawan Proyek Green Lake Sunter PT. TOTALINDO

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 Juni 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sella Adinda Sesar  
NPM : 0806329621  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya saya yang berjudul :

**Studi Perubahan Temperatur Pada Beton Massa Dengan Ketebalan 3 Meter  
(Studi Kasus : *Raft Foundation Rasuna Tower*)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan saya ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 4 Juli 2012

Yang Menyatakan



(Sella Adinda Sesar)

## ABSTRAK

Nama : Sella Adinda Sesar  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Perubahan Temperatur pada Beton Massa dengan Ketebalan 3 Meter (Studi Kasus : *Raft Foundation* Rasuna Tower)

Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur yang terjadi pada beton massa dengan ketebalan 3 meter pada *raft fondation* Rasuna Tower. Parameter yang ditinjau dalam makalah ini adalah *initial temperature*, temperatur maksimal, perbedaan temperatur dan tegangan yang terjadi pada beton massa dengan ketebalan 3 meter. Batasan temperatur maksimum dan perbedaan temperatur yang diizinkan dengan mengacu pada kondisi iklim di Eropa berturut-turut sebesar 70 °C dan 20 °C. Permasalahan yang harus dijawab dalam penulisan ini adalah apakah batasan nilai tersebut dapat diterapkan pada kondisi iklim di Indonesia. Analisa dilakukan dengan perbandingan pembacaan temperatur lapangan dengan metode PCA dan program MIDAS Gen 2011. Penelitian ini memberikan hasil temperatur maksimum yang terjadi sebesar 90 °C dan perbedaan temperatur maksimum yang terjadi sebesar 40 °C antara lapisan permukaan dengan *ambient*.

Kata Kunci:  
beton massa, *raft foundation*, temperatur puncak, perbedaan temperatur



## ABSTRACT

Name : Sella Adinda Sesar  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Study of Temperature Change in Mass Concrete with 3 Meters  
Thickness (Case Study : Raft Foundation Rasuna Tower)

This thesis aims to analyze the temperature change of a 3 meter thick mass-concrete on Rasuna Tower's raft fondation. The observed aspects are the initial and peak temperature, the temperature difference and the stress occurs on the 3 meter thick mass-concrete. Referring to Europe climate, the allowable peak temperature and temperature difference are 70°C and 20°C respectively. The problem is whether this condition is suitable to be applied in Indonesia's climate. The analysis carried out by comparing temperature readings on field by PCA method and MIDAS Gen 2011 software. This study produced a value of 90°C as the peak temperature and 40°C for the maximum difference temperature.

Key words:

Mass concrete, Raft Foundation, Peak Temperature, Temperature Difference

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL .....  | i           |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....                          | ii          |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | iii         |
| KATA PENGANTAR .....   | iv          |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....                | v           |
| ABSTRAK .....  | vi          |
| DAFTAR ISI .....   | viii        |
| DAFTAR GAMBAR .....  | x           |
| DAFTAR TABEL .....   | xii         |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>   | <b>viii</b> |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                                 | <b>13</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                       | 13          |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                    | 2           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                    | 2           |
| 1.4 Batasan Penelitian .....                                   | 3           |
| 1.5 Hipotesis .....  | 3           |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                | 3           |
| <b>BAB 2 .....</b>   | <b>5</b>    |
| <b>DASAR TEORI.....</b>  | <b>5</b>    |
| 2.1 Beton Massa ( <i>Mass Concrete</i> ) .....                 | 5           |
| 2.2 Panas Hidrasi Pada Beton Massa .....                       | 5           |
| 2.3 Semen Portland .....                                       | 6           |
| 2.4 Peningkatan Temperatur .....                               | 7           |
| 2.5 Sifat-Sifat Penting Beton Pada Analisa Panas Hidrasi ..... | 11          |
| 2.5.1 Susut .....  | 11          |
| 2.5.2 Rangkak .....  | 11          |
| 2.5.3 Elastisitas .....  | 11          |
| 2.6 Crack .....  | 12          |
| 2.6.1 Plastic Crack .....                                      | 12          |
| 2.6.2 Thermal Crack .....                                      | 13          |
| 2.6.3 Construction Crack .....                                 | 16          |
| 2.7 Insulation Method .....                                    | 16          |
| 2.8 Pre-cooling .....  | 18          |
| 2.9 Postcooling.....   | 19          |
| 2.10 Penelitian Beton Massa .....                              | 20          |
| 2.11 Program Midas .....                                       | 22          |
| <b>BAB 3 .....</b>   | <b>23</b>   |
| <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                             | <b>23</b>   |
| 3.1 Penelitian Beton Massa .....                               | 23          |
| 3.2 Raft Fondation Rasuna Tower .....                          | 24          |
| 3.3 Metode Prediksi Suhu Beton .....                           | 26          |
| 3.4 Metode Pengontrolan Suhu .....                             | 26          |
| 3.5 Penjadwalan Pemantauan Temperatur Beton Massa .....        | 27          |
| 3.6 Analisa .....  | 29          |
| <b>BAB 4 .....</b>   | <b>31</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>HASIL DAN ANALISA .....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1 Pendahuluan .....  | 31        |
| 4.2 Prediksi Initial Temperature dan Peak Temperature.....   | 31        |
| 4.3 Hasil Pembacaan Perubahan Temperatur Rasuna Tower .....  | 34        |
| 4.4 MIDAS Gen 2011 .....   | 43        |
| 4.4.1 Permodelan Pondasi Penuh.....  | 44        |
| 4.4.2 Permodelan Pondasi Parsial .....   | 55        |
| 4.5 Analisa Perbandingan .....   | 59        |
| 4.5.1 Perbandingan MIDAS Gen dengan Pembacaan Lapangan .....   | 59        |
| 4.5.2 Perbandingan Ketebalan Pondasi .....   | 60        |
| 4.6 Tegangan Tarik .....   | 63        |
| 4.7 Perbandingan <i>Initial</i> dan <i>Peak Temperatur</i> dengan Variasi Kandungan <i>Fly Ash</i> ..... | 68        |
| <b>BAB 5 .....</b>   | <b>73</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 73        |
| 5.2 Saran .....  | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>  | <b>77</b> |
| Lampiran A. Hasil Pembacaan Lapangan .....   | 77        |
| Lampiran B. Hasil Analisa MIDAS Gen 2011 .....   | 84        |
| Lampiran C. Foto-foto Pengecoran <i>Raft Fondation</i> .....   | 97        |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1. Adiabatic Temperature Rise in Different Types of Mass Concrete...  | 8  |
| Gambar 2.2. Pengaruh pemakaian pozzolan terhadap temperatur.....   | 10 |
| Gambar 2.3. Temperature rise of concrete members containing 375 lbs of cement per cubic yard for different placing temperature ..... | 10 |
| Gambar 2.4. Skema Terjadinya Retak .....   | 13 |
| Gambar 2.5. Cracking Process.....  | 14 |
| Gambar 2.6. Diagram tegangan pengaruh insulasi .....   | 17 |
| Gambar 2.7. insulasi sekitar bekisting .....   | 18 |
| Gambar 2.8. Postcuring ITD Concrete Batching Plant.....  | 20 |
| Gambar 2.9. Tipe <i>Postcuring Raft fondation</i> .....  | 20 |
| Gambar 2.10. <i>Postcuring</i> Proyek Green Bay Pluit Jakarta.....   | 20 |
| Gambar 3.1. Alur analisa .....   | 23 |
| Gambar 3.2. Mesin penghancur es.....   | 25 |
| Gambar 3.3. Penggunaan es dalam <i>wet mix</i> .....   | 25 |
| Gambar 3.4. Penggunaan balok es sebagai pendingin air pencampur.....   | 25 |
| Gambar 3.5. Ilustrasi monitoring temperatur beton massa .....  | 27 |
| Gambar 3.6. Probe Sensor.....  | 27 |
| Gambar 3.7. Alat Pembacaan Suhu .....  | 28 |
| Gambar 3.8. Form Pemantauan Suhu .....   | 29 |
| Gambar 3.9. Alur permodelan MIDAS Gen .....  | 30 |
| Gambar 4.1. Posisi <i>probe</i> untuk <i>thermocouple</i> tipikal (atas) dan <i>thermocouple</i> 2 (bawah) .....                     | 35 |
| Gambar 4.2. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> 2.....   | 36 |
| Gambar 4.3. Grafik Perbedaan Suhu <i>Thermocouple</i> 2 .....  | 37 |
| Gambar 4.4. Heat Release in Two Dimensional Way .....  | 37 |
| Gambar 4.5. Titik Tinjauan dengan Ketebalan 3 meter.....   | 38 |
| Gambar 4.6. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Atas.....  | 38 |
| Gambar 4.7. Heat Release in Three Dimensional Way .....  | 39 |
| Gambar 4.8. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Tengah .....   | 40 |
| Gambar 4.9. Area Penutupan Insulator Terlambat .....   | 41 |
| Gambar 4.10. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Bawah .....   | 41 |
| Gambar 4.11. Grafik Perbandingan Suhu Maksimum Seluruh <i>Thermocouple</i> ....  | 42 |
| Gambar 4.12. Instalasi Lapisan Insulator Terlambat .....   | 45 |
| Gambar 4.13. Permodelan <i>raft fondation</i> penuh.....   | 45 |
| Gambar 4.14. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas dengan Dua Tipe Construction Stage .....                                       | 46 |
| Gambar 4.15. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah dengan Dua Tipe Construction Stage .....                                     | 46 |
| Gambar 4.16. Lapisan styrofoam sebagai insulator permukaan diberikan setelah beton setting .....                                     | 47 |
| Gambar 4.17. Temperatur yang terjadi 2 jam setelah pengecoran.....   | 48 |
| Gambar 4.18. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas Pada Permodelan dengan Satu Tipe Construction Stage .....                      | 48 |
| Gambar 4.19. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah Pada Permodelan dengan Satu Tipe Construction Stage .....                    | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.20. Lapisan Styrofoam Terdapat Hanya Pada Sisi Bekisting .....  | 50 |
| Gambar 4.21. Temperatur yang terjadi pada 2 jam setelah pengecoran tanpa lapisan insulator .....                           | 50 |
| Gambar 4.22. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas Tanpa Diberi Lapisan Insulator .....                                 | 51 |
| Gambar 4.23. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah Tanpa Diberi Lapisan Insulator.....                                | 51 |
| Gambar 4.24. Grafik Perubahan Suhu Lapisan Atas dengan Ketiga Jenis Permodelan .....                                       | 52 |
| Gambar 4.25. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial <i>Thermocouple 2</i> .....                                   | 55 |
| Gambar 4.26. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial <i>Thermocouple 2</i> dalam satu hari setelah pengecoran..... | 56 |
| Gambar 4.27. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial <i>Thermocouple 2</i> dalam 5 hari setelah pengecoran .....   | 56 |
| Gambar 4.28. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial <i>Thermocouple 11</i> dalam 5 hari setelah pengecoran .....  | 57 |
| Gambar 4.29. Grafik Pembacaan Temperatur Permodelan Parsial <i>Thermocouple 2</i> .....                                    | 58 |
| Gambar 4.30. Grafik Perbedaan Suhu Permodelan Parsial <i>Thermocouple 2</i> .....  | 58 |
| Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Pembacaan Lapangan dengan MIDAS Gen <i>Thermocouple 2</i> Lapisan Atas.....               | 59 |
| Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Pembacaan Lapangan dengan MIDAS Gen <i>Thermocouple 2</i> Lapisan Tengah .....            | 60 |
| Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Atas Pada Ketebalan Berbeda .....                                      | 61 |
| Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Tengah Pada Ketebalan Berbeda .....                                    | 61 |
| Gambar 4.35. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Bawah Pada Ketebalan Berbeda .....                                     | 62 |
| Gambar 4.36. Tegangan Pada Permodelan Parsial <i>Thermocouple 2</i> dalam 26 hari setelah pengecoran .....                 | 63 |
| Gambar 4.37. Tegangan Pada Permodelan Parsial <i>Thermocouple 2</i> dalam 28 hari setelah pengecoran .....                 | 64 |
| Gambar 4.38. Analisa Tegangan MIDAS Gen <i>Thermocouple 2</i> .....  | 65 |
| Gambar 4.39. Analisa Tegangan MIDAS Gen <i>Thermocouple 11</i> .....   | 65 |
| Gambar 4.40. Analisa Tegangan MIDAS Gen <i>Thermocouple 12</i> .....   | 66 |
| Gambar 4.41. Prescribed condition dan thermal coefficient antara beton dan frame .....                                     | 67 |
| Gambar 4.42. Tegangan dan Temperatur yang Terjadi dengan Frame Invar .....   | 67 |
| Gambar 4.43. Perbedaan Tegangan dengan frame invar (atas) dan zinc (bawah) .....   | 68 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1. Specific Heat of Hidration of Individual Compound of Portland Cement .....  | 6  |
| Tabel 2.2. Ranges in each size fraction of coarse aggregate that have produced workable concrete .....   | 9  |
| Tabel 2.3. Tensile strain capacity of concrete with different aggregates ( $10^{-6}$ ) ...   | 15 |
| Tabel 2.4. Recorded value of Restraint .....   | 15 |
| Tabel 2.5. Thermal Expansion Coefficient ( $\alpha_c$ ).....   | 15 |
| Tabel 2.6. Minimum periods of insulation to avoid excessive temperature differentials .....  | 17 |
| Tabel 3.1. <i>Mix Design</i> Rasuna Tower .....  | 24 |
| Tabel 4.1. <i>Mix Design</i> Rasuna Tower .....  | 32 |
| Tabel 4.2. Data Suhu dan Massa masing-masing Agregat pada <i>Mix Design</i> Rasuna Tower Tanpa Pre-cooling .....                               | 32 |
| Tabel 4.3. Hasil Initial Temperature Tanpa Pre-cooling .....   | 33 |
| Tabel 4.4. Data Suhu dan Massa masing-masing Agregat pada <i>Mix Design</i> Rasuna Tower dengan Pre-cooling .....                              | 33 |
| Tabel 4.5. Hasil Initial Temperature Tanpa Pre-cooling .....   | 34 |
| Tabel 4.6. Hasil Temperatur Maksimum pada Pembacaan Lapangan .....   | 42 |
| Tabel 4.7. Data Material MIDAS Gen .....   | 44 |
| Tabel 4.8. Tabel Perbandingan Suhu Maksimum dengan Ketiga Permodelan ...   | 54 |
| Tabel 4.9. Hasil Permodelan Parsial <i>Thermocouple</i> 2 .....  | 57 |
| Tabel 4.10. Hasil Permodelan Parsial <i>Thermocouple</i> 11 .....  | 57 |
| Tabel 4.11. <i>Mix Desain</i> Rasuna Tower dan Menteng Residence .....   | 69 |
| Tabel 4.12. Data Suhu dan Massa Agregat Tanpa Pre-cooling .....  | 70 |
| Tabel 4.13. Initial Temperature tanpa Pre-cooling .....  | 70 |
| Tabel 4.14. Data Suhu dan Massa Agregat dengan Pre-cooling .....   | 71 |
| Tabel 4.15. Initial Temperature dengan Pre-cooling .....   | 71 |
| Tabel 4.16. Perbandingan Penggunaan <i>Fly Ash</i> dan <i>Pre-cooling</i> pada <i>Raft Foundation</i> Rasuna Tower dan Menteng Residence ..... | 72 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan terhadap bangunan-bangunan infrastruktur seperti gedung bertingkat, bendungan dan jembatan semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan pembangunan pada lahan yang semakin terbatas ini menghasilkan pilihan untuk menempuh pembangunan pada arah vertikal. Material yang digunakan pada struktur besar biasanya adalah beton komposit karena penggunaan material baja membutuhkan profil yang sangat besar sehingga biaya pengerjaan menjadi lebih mahal. Selain itu, penggunaan material baja membutuhkan metode pengerjaan yang lebih sulit sehingga pada umumnya digunakanlah material beton komposit dalam pembangunan struktur besar.

Frekuensi penggunaan beton yang tinggi menunjukkan bahwa beton memiliki peran yang sangat penting dalam dunia konstruksi. Beton dapat dibuat dalam jumlah kecil maupun besar. Pembuatan beton dalam jumlah besar disebut juga dengan beton massa atau *mass concrete*. *Mass concrete* seringkali digunakan pada konstruksi bendungan, pada konstruksi jembatan sebagai pilar maupun pada konstruksi gedung bertingkat sebagai pondasi yang biasa disebut dengan *mass foundation*. Pembetonan secara masal ini memerlukan perhatian khusus dalam pengerjaannya. Pertimbangan utama dalam melaksanakan pengecoran secara besar adalah kontrol terhadap panas yang dihasilkan dari proses hidrasi akibat *massa* beton yang besar yang dapat mengakibatkan retak. Selain itu, waktu pengecoran yang lama juga dapat menimbulkan *cold joint*. Peningkatan temperatur dalam beton mengakibatkan perubahan volume sehingga menyebabkan *thermal cracking* pada beton serta dapat menyebabkan terjadinya *delay ettringite* yang dapat mengakibatkan kekuatan beton yang diinginkan tidak tercapai. Retak pada beton juga dapat terjadi ketika suhu keseluruhan beton mendingin secara berangsur-angsur.

Perbedaan temperatur maksimum untuk menghindari *thermal cracking* antara lapisan tengah dengan lapisan bawah dan lapisan atas adalah  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  dan

temperatur maksimum  $\leq 70^{\circ}\text{C}$ . Ketentuan ini mengacu pada kondisi iklim di Eropa sehingga tidak sepenuhnya dapat diterapkan pada kondisi di Indonesia.

Faktor utama yang menyebabkan peningkatan temperatur pada *mass concrete* adalah panas hidrasi dari semen. Faktor lain yang menyebabkan peningkatan temperatur antara lain waktu penguangan beton, suhu beton segar, suhu lingkungan, dimensi pengecoran, karakter beton yang dipergunakan dan *thermal expansion coefficient of concrete*. Semakin besar ukuran beton massa dan semakin tinggi mutu beton massa, maka diperlukan pengontrolan suhu yang lebih serius akibat panas hidrasi.

Faktor ukuran beton massa, suhu beton segar dan suhu lingkungan perlu diperhatikan pengaruhnya terhadap peningkatan dan perbedaan temperatur. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk meninjau pengaruh ketiga faktor tersebut terhadap perbedaan temperatur beton massa dengan kondisi iklim di Indonesia.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang terdapat pada latar belakang, pengontrolan temperatur sangat diperlukan untuk menghindari kerusakan yang terjadi pada beton. Perbedaan yang diperkenankan untuk kondisi iklim di Eropa sebesar  $\pm 70^{\circ}\text{C}$  untuk temperatur maksimum dan  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  untuk perbedaan temperatur maksimum untuk setiap lapisan. Permasalahan yang harus dijawab pada penelitian ini adalah pengaruh temperatur beton massa pada kondisi iklim di Indonesia.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan akademis dalam kurikulum Program Studi Teknik Sipil S1 Reguler Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur maksimal antara inti beton, lapisan permukaan, lapisan dasar dan ambient pada suatu proyek pekerjaan beton massa suatu gedung tinggi di Jakarta dengan mutu beton  $f_c 35\text{ MPa}$  dan slump  $14 \pm 2\text{ cm}$ .



#### 1.4 Batasan Penelitian

Pembahasan penelitian ini dibatasi pada pelaksanaan beton massa di Indonesia dan hal-hal sebagai berikut :

- a. Struktur beton massa yang ditinjau adalah *raft fondation* Rasuna Tower dengan mutu 35 MPa dan slump  $14\pm 2$  pada ketebalan 3 meter
- b. Pengaruh yang ditinjau adalah kenaikan temperatur, temperatur puncak, perbedaan temperatur, dan tegangan yang terjadi.

#### 1.5 Hipotesis

Perbedaan temperatur maksimal antara inti beton dengan lapisan permukaan dan dasar, serta perbedaan temperatur lapisan permukaan dengan *ambient* dengan mutu beton 35 MPa slump  $14\pm 2$  cm pada suatu proyek bangunan gedung tinggi di Jakarta tidak melebihi  $20^{\circ}\text{C}$  dan temperatur maksimum yang terjadi tidak melebihi  $85^{\circ}\text{C}$

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dilakukan secara sistematis, adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I : PENDAHULUAN**  
Bab ini berisi tentang uraian hal-hal umum mengenai penelitian ini, yaitu latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, hipotesa awal, serta sistematika penulisan laporan.
- **BAB II : DASAR TEORI**  
Bab ini berisi mengenai uraian penjelasan dasar teori dan dasar analisis penelitian yang digunakan dalam penelitian dan penulisan serta berbagai hal yang dapat menunjang penelitian ini berhasil
- **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**  
Bab ini berisi tentang pemodelan beton massa, variabel analisa, temperature ambient sehari-hari, temperature agregat, skema analisa dan prosedur analisa yang dilakukan pada penelitian ini.
- **BAB IV : HASIL DAN ANALISA**

Bab ini berisi hasil-hasil serta analisis dari penelitian yang dilakukan sebelum menarik kesimpulan.

- **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang didapatkan dari hasil dan analisa pada bab sebelumnya terkait dengan penelitian ini.



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Beton Massa (*Mass Concrete*)

Beton massa berkembang dengan pesat pada tahun 1930-1970. Perkembangan tersebut tidak lepas dari banyaknya konstruksi dam pada era tersebut. ACI 207.1R mendefinisikan beton massa sebagai beton dengan volume besar sehingga diperlukan perhatian khusus untuk mengatasi peningkatan panas dari proses hidrasi semen dan perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan. Beton dengan ketebalan lebih besar dari 1 meter dan memiliki rasio permukaan beton terhadap volume lebih besar dari 1.2 meter memerlukan perhatian khusus terhadap perubahan temperatur. Beton massa umumnya diaplikasikan untuk bendungan, tetapi suatu konstruksi dengan massa beton yang besar dapat dikategorikan sebagai beton massa, seperti *raft foundation, concrete dam, bridge piers, thick slabs*, dll.

Beton setelah dituang mengeluarkan panas hidrasi yang timbul akibat dari reaksi air dan semen. Hidrasi semen adalah suatu proses eksotermis yang mengarah terhadap kenaikan suhu pada inti. Kenaikan suhu pada inti dapat menyebabkan perbedaan temperatur terhadap dasar dan permukaan beton massa serta dengan *ambient* sehingga dapat menyebabkan perubahan volume. Jika perubahan volume yang terjadi besar dan deviasi temperatur besar maka terjadi peningkatan *thermal cracking* pada beton massa. Peningkatan temperatur beton dapat menyebabkan terjadinya *delay ettringite*.

### 2.2 Panas Hidrasi Pada Beton Massa

Apabila semen portland pada beton massa bercampur dengan air maka akan terjadi reaksi yang disebut proses hidrasi. Pada proses ini akan terjadi pelepasan panas yang disebut panas hidrasi.

Kemampuan suatu benda untuk melepaskan panas bergantung kepada besarnya "*Thermal Conductivity*" dan volume benda tersebut. Semakin besar volume beton maka semakin besar panas yang dihasilkan tetapi semakin lambat benda tersebut melepaskan panas. Beton memiliki sifat "*Poor Thermal*

*Conductivity*” sehingga beton dengan volume yang besar memerlukan waktu yang relatif lama untuk melepaskan panas yang dikandungnya. Pada proses pelepasan panas, bagian permukaan beton akan lebih mudah melepaskan panas dibandingkan dengan bagian dalam. Hal ini mengakibatkan selalu terjadi perbedaan suhu antara beton bagian dalam dan bagian permukaan selama proses pelepasan panas berlangsung.

### 2.3 Semen Portland

Komposisi kimia setiap tipe semen berbeda-beda sehingga panas yang dihasilkan berbeda. Tabel 2.1, Tricalcium Silicate ( $C_3S$ ) dan Tricalcium Aluminate ( $C_3A$ ) menghasilkan panas lebih banyak dan lebih cepat terjadi proses hidrasi dibandingkan komposisi kimia yang lain.

Tabel 2-1. Specific Heat of Hidration of Individual Compound of Portland Cement

| Compound               | Specific Heat of Hydration (cal/gr) |
|------------------------|-------------------------------------|
| $C_3S$                 | 120                                 |
| $C_2S$                 | 62                                  |
| $C_3A + \text{gypsum}$ | 320                                 |
| $C_3AF$                | 100                                 |

Sumber : (Canon, 1986)

Berikut tipe-tipe semen dengan perbedaan sifat dan tujuannya, yaitu :

a. Semen Tipe I (Ordinary Portland Cement)

Semen ini digunakan untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus dengan  $C_3S$  48% - 52% dan  $C_3A$  10% - 15%. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, dan bangunan lain yang tidak dipengaruhi oleh panas hidrasi dan sulfat dari lingkungan sekitar.

b. Semen Tipe II (Moderate Portland Cement)

Semen ini digunakan pada bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Kandungan  $C_3S$  sedang dan  $C_3A$  maksimum 8%. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan dam, piers, dan

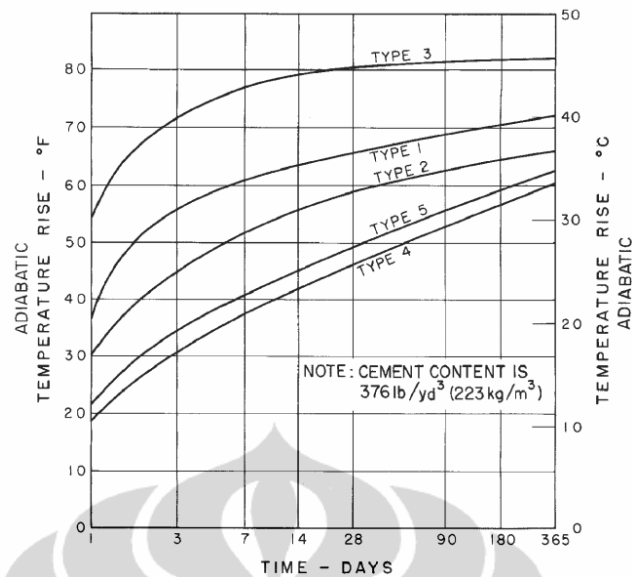
pengecoran dalam volume yang besar di mana panas hidrasi yang rendah sangat diharapkan.

- c. Semen Tipe III (Rapid Hardening Portland Cement)  
Semen ini digunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi. Panas hidrasi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan semen tipe I karena memiliki kandungan  $C_3A$  yang lebih tinggi. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan yang harus diselesaikan dengan waktu yang cepat.
- d. Semen Tipe IV (Low Heat Portland Cement)  
Semen ini memiliki panas hidrasi yang rendah karena kandungan  $C_3S$  dan  $C_3A$  yang rendah.
- e. Semen Tipe V (Sulphate Resisting Portland Cement)  
Semen ini digunakan untuk bangunan dengan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi dengan kandungan  $C_3A$  maksimum 5%.

#### 2.4 Peningkatan Temperatur

Menurut James Nelson, peningkatan suhu pada beton massa terjadi pada 1 – 3 hari pertama setelah pengecoran. Faktor yang mempengaruhi peningkatan temperatur semen portland antara lain :

- a. Rasio Air Semen  
Pada usia muda, rasio air-semen sangat mempengaruhi kecepatan hidrasi semen. Semakin rendah rasio air-semen, semakin cepat terjadi hidrasi, namun semakin awal kecepatan hidrasi akan mulai berkurang. Rasio air-semen yang rendah menghasilkan produk hidrasi yang lebih padat dan kekuatan yang lebih tinggi.
- b. Semen  
Faktor utama yang menyebabkan peningkatan panas beton massa adalah semen. Jumlah pemakaian semen dan tipe semen berperan penting dalam peningkatan suhu beton massa.



Gambar 2.1. Adiabatic Temperature Rise in Different Types of Mass Concrete  
Sumber : (ACI Committee 207, 1996)

Jumlah pemakaian semen mempengaruhi panas yang dihasilkan, semakin banyak penggunaan semen semakin tinggi panas yang dihasilkan.

Faktor lain dari sifat termal beton adalah kehalusan semen. Kehalusan semen memperluas bidang pelepasan panas hidrasi pada permukaan semen. Pengaruh kehalusan semen terhadap panas yang dihasilkan terjadi pada umur awal beton setelah pengecoran. Semen portland tipe III memiliki kehalusan yang lebih tinggi dibandingkan tipe semen lainnya.

c. Geometri

Pada pengecoran dengan volume besar, permukaan beton rentan terhadap retak termal karena perbedaan suhu yang tinggi antara lapisan permukaan beton dengan lapisan inti.

d. Gradasi Agregat Kasar

Secara teoritis, semakin besar ukuran maksimum agregat, semakin kecil jumlah semen yang dibutuhkan pada penggunaan beton dalam suatu volume tertentu untuk mencapai kualitas yang diinginkan. Penggunaan ukuran butiran maksimum dibatasi dengan tipe penulangan. Jika suatu struktur *massive* tidak menggunakan penulangan, maka dapat digunakan ukuran maksimum agregat yang tidak terbatas. Penggunaan ukuran maksimum tergantung dari kekuatan desain, *batching plant*, pencampuran,

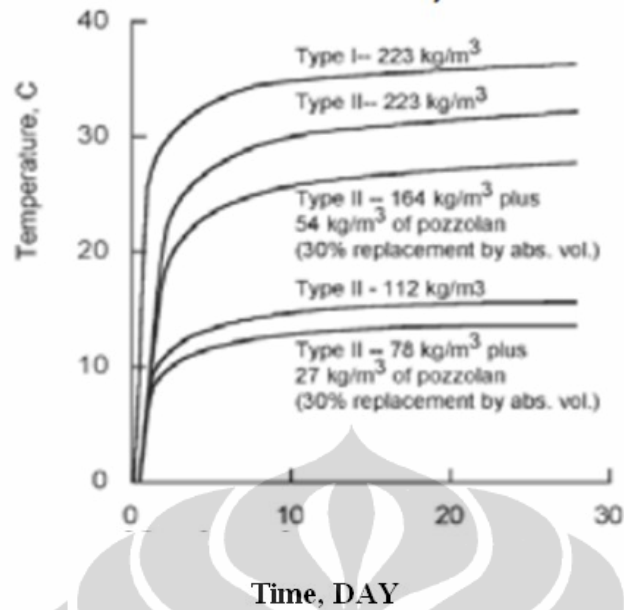
pengangkutan, penempatan dan pengkonsolidasian beton. Partikel agregat besar yang bentuknya tidak beraturan cenderung mengakibatkan retak karena perubahan diferensial volume.

Tabel 2-2. Ranges in each size fraction of coarse aggregate that have produced workable concrete

| Maximum size in concrete, in. (mm) | Percentage of cleanly separated coarse aggregate fractions |   |   |  |                                       |
|------------------------------------|--|---|---|--|---------------------------------------|
|                                    | Cobbles<br>6-3 in.<br>(150-75 mm)                          | Coarse<br>3-1 $\frac{1}{2}$ in.<br>(75-37.5 mm) | Medium<br>1 $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ in.<br>(37.5-19 mm) | Fine   |                                       |
|                                    |  |   |   | $\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{8}$<br>(19-9.5 mm) | $\frac{3}{8}$ -No. 4<br>(9.5-4.75 mm) |
| 6 (150)                            | 20-30  | 20-32   | 20-30   | 12-20  | 8-15                                  |
| 3 (75)                             |  | 20-40   | 20-40   | 15-25  | 10-15                                 |
| 1 $\frac{1}{2}$ (37.5)             |  |   | 40-55   | 30-35  | 15-25                                 |
| $\frac{3}{4}$ (19)                 |  |   |   | 30-70  | 20-45                                 |

Sumber : (US. Bureau of Reclamation, 1981)

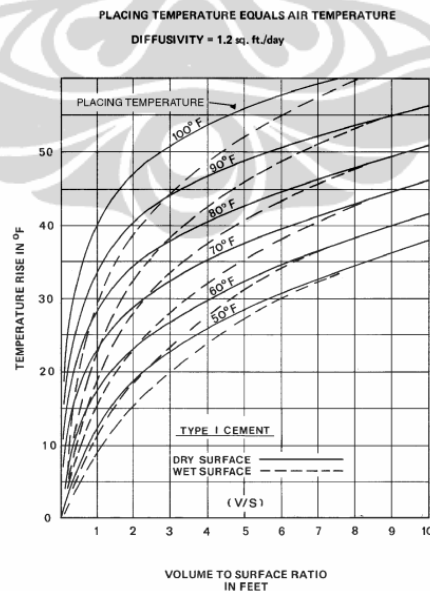
- e. Coarse Aggregate Coefficient of Thermal Expansion (CTE)  
*Coefficient of Thermal Expansion* dari agregat kasar adalah pengaruh utama dari CTE dari beton. Tegangan akibat suhu dapat berkurang apabila digunakan agregat kasar dengan CTE yang rendah.
- f. Supplementary Cementitious Materials (SCMs)  
 SCMs seperti fly ash dan slag dapat mengurangi panas hidrasi beton karena dapat mereduksi jumlah pemakaian semen. Fly ash adalah abu atau debu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Fly ash berperan sebagai pozzolan jika memiliki kadar karbon rendah dan kehalusan sama dengan semen. Fly ash tipe F lebih efektif dalam mengurangi panas dibandingkan dengan tipe C. Fly ash dan slag menghasilkan 15-50 % panas yang dihasilkan *Portland Cement* dengan jumlah yang sama. SCMs sejenis Silica Fume tidak berpengaruh terhadap penurunan panas hidrasi.



Gambar 2.2. Pengaruh pemakaian pozzolan terhadap temperatur  
Sumber : ACI Committee 207, 2002

g. Suhu Pengecoran

Pengecoran pada suhu rendah mengurangi tegangan yang terjadi akibat perubahan temperatur karena suhu pengecoran yang rendah mempengaruhi peningkatan suhu beton sehingga menjadi lebih lambat.



Gambar 2.3. Temperature rise of concrete members containing 375 lbs of cement per cubic yard for different placing temperature  
Sumber : (ACI Committee 207, 2002)



## 2.5 Sifat-Sifat Penting Beton Pada Analisa Panas Hidrasi

### 2.5.1 Susut

Susut merupakan perubahan volume beton yang tidak dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur beton. Saat proses hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air yang terkandung di dalamnya. Hal ini dapat diamati dengan naiknya suhu beton saat proses hidrasi berlangsung.

Susut pada beton sebanding dengan jumlah air yang terdapat dalam campuran. Bila ingin terjadi susut minimum, rasio air semen harus dibuat minimum. Agregat ukuran besar dengan gradasi yang baik dan pori-pori minimum membutuhkan jumlah adukan semen yang lebih sedikit sehingga susut yang terjadi akan lebih kecil.

Pada umumnya, susut dibagi menjadi dua kategori, yaitu *plastic shrinkage* dan *drying shrinkage*. *Plastic shrinkage* atau susut plastis, terjadi pada umur awal setelah beton segar dituang. Pada permukaan yang luas, terjadi proses penguapan yang lebih besar. Oleh karena itu, pada permukaan beton yang luas sebaiknya diberikan lapisan insulator untuk mencegah penguapan yang berlebihan setelah penuangan beton segar untuk mengurangi terjadinya susut. *Drying shrinkage* atau susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhir dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Susut merupakan proses *irreversible*. Susut yang tidak dikendalikan dengan baik akan mengakibatkan terjadinya retak.

### 2.5.2 Rangkak

Rangkak didefinisikan sebagai penambahan regangan pada beton yang sudah mengeras akibat adanya pembebanan secara terus menerus dalam waktu yang lama. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemudian berakhir setelah beberapa tahun. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemudian berakhir setelah beberapa tahun. Nilai rangkak untuk beton mutu tinggi akan lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya lendutan (*deflection*).

### 2.5.3 Elastisitas

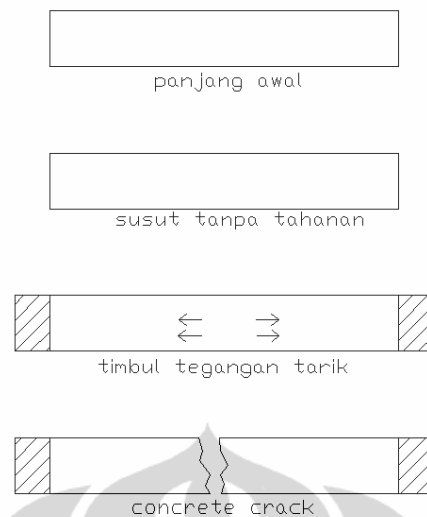
Beton menunjukkan sifat elastisitas murni saat terjadi pembebanan singkat. Sedangkan pada pembebanan yang cukup lama, beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan waktu pembebanannya. Menurut SNI, modulus elastisitas merupakan rasio tegangan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Nilai modulus elastisitas bervariasi terhadap beberapa faktor, antara lain mutu beton dan umur beton.

## 2.6 Crack

Keretakan pada beton dapat terjadi saat pembuatan beton (sebelum beton setting) maupun setelah beton *setting*. Dalam kaitannya dengan beton massa, retak pada beton saat pembuatan dapat disebabkan oleh penyusutan dan juga dapat pula disebabkan oleh suhu. Keretakan pada beton dapat pula disebabkan oleh proses pembuatan yang kurang baik, salah satunya adalah pemasangan bekisting yang tidak kuat.

### 2.6.1 Plastic Crack

Penyusutan terjadi akibat air pada campuran beton hilang sehingga volume beton berkurang. Pengurangan volume beton yang memiliki tahanan akan dapat menimbulkan keretakan. Retak susut plastis timbul karena evaporasi yang terus menerus dengan cepat. Retak susut plastis mudah terjadi pada kondisi udara yang panas dan berangin. Retak susut dapat terlihat sebelum beton mengeras. Pola retak tidak bersambungan (terputus-putus) dan biasanya tidak menembus sampai keseluruhan tebal beton. Retak yang terjadi akibat penyusutan dipengaruhi oleh komposisi dari campuran beton. Dalam menentukan *mix design* beton, harus diperhatikan rasio w/c. Rasio w/c yang baik untuk *mass concrete* menurut ACI berada pada range 0.25-0.45.

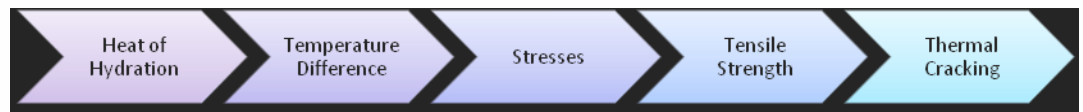


Gambar 2.4. Skema Terjadinya Retak  
Sumber : (Steffie Tumilar, 2012)

### 2.6.2 Thermal Crack

Pada proses pengerasan beton, beton menghasilkan panas hidrasi dalam beberapa jam setelah pengecoran dilakukan. Panas yang dihasilkan merambat keluar menuju *ambient*. Temperatur struktur dengan ketebalan kecil seperti perkerasan jalan dapat terkontrol karena panas yang hilang hampir sama dengan panas yang dihasilkan. Pelepasan panas terhambat untuk elemen beton dalam dimensi besar. Dengan demikian, dalam *mass concrete* dapat dipahami bahwa suhu pada inti beton sangat tinggi dan terjadi peningkatan panas di dalam beton. Perbedaan suhu antara inti dengan permukaan akan mengakibatkan timbulnya tekanan ke permukaan. Pengendalian suhu dalam beton sangat penting untuk mencegah terjadinya retak, *delay ettringite* dan kerusakan lain. Makin besar volume pengecoran maka makin lama masa pendinginan dari beton.

Peningkatan suhu internal meyebar keseluruh permukaan beton dan melepas panas ke lingkungan. Permukaan beton massa berhubungan langsung dengan lingkungan, sehingga lapisan permukaan beton massa dapat lebih cepat melepas panas yang mengakibatkan suhu permukaan beton menjadi lebih kecil daripada suhu lapisan inti beton. Perbedaan suhu yang besar menginduksi tekanan ke permukaan sehingga apabila kuat tarik dilampaui dapat menimbulkan keretakan.



Gambar 2.5. Cracking Process  
Sumber : (Olahan Sendiri)

Kondisi batas *thermal cracking* :

- Maksimum temperatur di setiap titik 70 °C
- Maksimum perbedaan temperatur antar lapisan 20 °C

Kondisi batas tersebut mengacu kepada temperatur dan kondisi di Eropa, sehingga tidak dapat diterapkan sepenuhnya untuk temperatur dan kondisi di Indonesia.

Bamforth and Price pada tahun 1982 melakukan pendekatan sederhana untuk menentukan batas dari *thermal strain* yang dapat menyebabkan retak berdasarkan pendekatan terhadap suhu dengan *thermal expansion* dari beton dan *restraint*, dimana :

Retak tidak terjadi pada kondisi

$$\varepsilon_r < \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_r = \text{Thermal Strain}$$

$$\varepsilon_t = \text{Tensile Strain Capacity}$$

$$\varepsilon_r = K \alpha_c \Delta T R$$

$$K = \text{modification factor (0,8)}$$

$$\alpha_c = \text{Koefisien thermal expansion beton}$$

$$\Delta T = \text{Perubahan temperatur}$$

$$R = \text{Restraint factor (0 = unrestrained; 1 = full restraint)}$$

Tabel 2-3. Tensile strain capacity of concrete with different aggregates ( $10^{-6}$ )

| Aggregate type        | Tensile strain capacity ( $\times 10^{-6}$ ) |
|-----------------------|--|
| Gravel                | 70   |
| Granite/crushed stone | 80   |
| Limestone             | 90   |
| Lightweight aggregate | 110  |

Sumber : (Bamforth, 1982)

Tabel 2-4. Recorded value of Restraint

| Pour Configuration                                 | Restraint, R      |
|--|-------------------|
| Thin wall cast onto massive concrete base          | 0,6 – 0,8 at base |
|  | 0,1 – 0,2 at top  |
| Massive pour cast onto blinding                    | 0,1 – 0,2         |
| Massive deep pour cast onto existing mass concrete | 0,3 – 0,4 at base |
|  | 0,1 – 0,2 at top  |
| Suspended slabs                                    | 0,2 – 0,4         |
| Infill bays i.e rigid restraint                    | 0,8 – 1,0         |

Sumber : (Bamforth, 1982)

Tabel 2-5. Thermal Expansion Coefficient ( $\alpha_c$ )

| Aggregate Type        | Thermal Expansion Coefficient ( $\alpha_c$ ) ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) |
|-----------------------|--|
| Gravel                | 12,0   |
| Granite/crushed stone | 10,0   |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>Limestone</b>             | 8,0 |
| <b>Lightweight aggregate</b> | 7,0 |

Sumber : (Bamforth, 1982)

### 2.6.3 Construction Crack

Banyak penyebab retak yang terjadi pada beton disebabkan oleh proses pembuatan yang kurang baik. Seperti halnya pada saat beton mengalami perkerasan dimana banyak mengeluarkan air, maka perlu adanya perawatan pada beton agar pengeluaran air dari campuran beton tidak berlebihan. Bila tidak, pada beton akan terbentuk banyak retakan. Selain itu, pemasangan bekisting harus kuat. Bekisting yang dipasang tidak kuat memungkinkan terjadinya pergerakan beton yang masih basah sehingga timbul keretakan pada beton.

### 2.7 Insulation Method

Beton massa dalam bekisting mengalami peningkatan suhu sebagai reaksi dari panas hidrasi semen. Beton massa di umur awal mengalami peningkatan suhu yang tinggi. Beton massa dengan ketebalan  $\geq 1,5$  meter mengalami kenaikan suhu mendekati kondisi adiabatik pada bagian inti. Metode insulasi dilakukan untuk meminimalkan perbedaan temperatur antara inti dengan permukaan.

Beberapa bahan sebagai insulator antara lain :

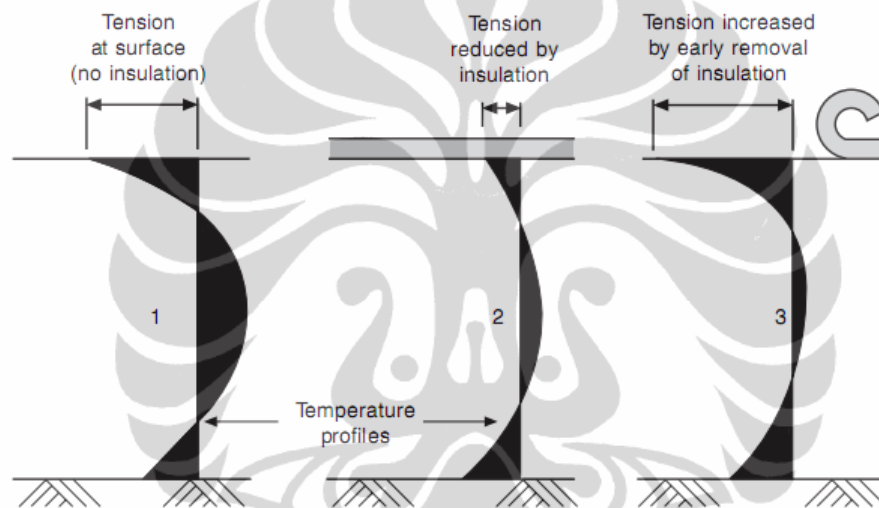
- Bekisting kayu atau baja
- Lapisan busa, styrofoam, dan sejenisnya
- Triplek, multiplek, dan sejenisnya
- Plastik cor

Metode insulasi dapat digunakan dengan penggabungan beberapa jenis bahan insulator. Pengontrolan terhadap insulasi permukaan perlu diperhatikan. Perbedaan suhu permukaan beton dengan *ambient* yang terlalu besar dapat dengan mudah menyebabkan keretakan.

Tabel 2-6. Minimum periods of insulation to avoid excessive temperature differentials

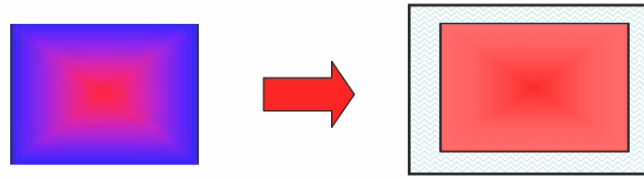
| Minimum Pour Dimension (m) | Minimum Period of Insulation |
|----------------------------|------------------------------|
| 0.5                        | 3                            |
| 1                          | 5                            |
| 1.5                        | 7                            |
| 2                          | 9                            |
| 2.5                        | 11                           |
| 4.5                        | 21                           |

Sumber : (Bamforth, 1982)



Gambar 2.6. Diagram tegangan pengaruh insulasi  
Sumber : (Bamforth, 1982)

Tegangan pada permukaan tanpa lapisan insulasi jauh lebih besar daripada tegangan yang terjadi dengan lapisan insulasi dan penggunaan insulasi sementara sehingga dapat menyebabkan *thermal cracking*. Penggunaan lapisan insulasi dapat mengurangi perbedaan temperatur antara inti terhadap permukaan atas dan dasar beton. Pelepasan insulasi diawal dapat menyebabkan *thermal shock* sehingga dapat meningkatkan perbedaan temperatur antara permukaan dengan *ambient* dan dapat mengakibatkan tegangan menjadi besar sehingga memungkinkan terjadi keretakan.



Gambar 2.7. insulasi sekitar bekisting

Sumber : (Pionir Beton)

## 2.8 Pre-cooling

Salah satu yang mempengaruhi retak termal adalah suhu awal (*placing temperature*). Semakin besar *placing temperature* semakin besar pula *peak temperature* yang terjadi. Tujuan dari *pre-cooling* adalah untuk menurunkan *placing temperatur* sehingga *peak temperature* menjadi lebih kecil dan kemungkinan retak akibat perubahan temperatur yang terlalu besar dapat diminimalisasi. Beberapa metode *pre-cooling* yang diterapkan dalam konstruksi beton massa :

### 1. Air dingin

1 kg air dingin dapat menyerap 4.18 kJ dimana temperatur meningkat 1 °C. Perubahan suhu air memberikan pengaruh terhadap suhu agregat. Air dingin ditambahkan dalam campuran beton sehingga suhu awal beton dapat direduksi.

### 2. Es

1 kg es dapat menyerap 334 kJ ketika es berubah menjadi air. Penggunaan es menjadi metode dasar yang efisien dalam menurunkan *placing temperature*.

### 3. Pendinginan Agregat

Agregat kasar dan halus memiliki komposisi terbesar dalam beton massa. Suhu agregat memiliki pengaruh terbesar pada suhu beton. Untuk menurunkan *placing temperature* diperlukan penurunan suhu pada agregat. Penurunan suhu agregat dapat dilakukan dengan melakukan penyemprotan air secara berkala setiap 30 menit pada agregat kasar, dan 2 jam sebelum pengecoran.

### 4. Liquid Nitrogen



Untuk menurunkan *placing temperature* hingga lebih dari 20 °F, metode paling efektif adalah dengan menggunakan Liquid Nitrogen (LN<sub>2</sub>). *Pre-cooling* dengan Liquid Nitrogen dilakukan dengan cara injeksi kedalam *truck mixer*.

## 2.9 Postcooling

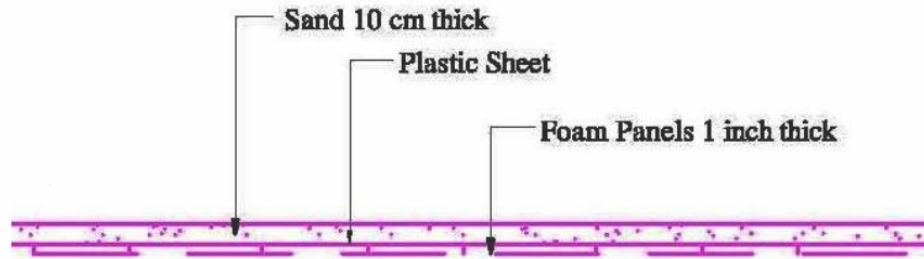
Konstruksi beton massa pertama yang menggunakan *postcooling* adalah konstruksi Hoover Dam pada awal tahun 1930. *Postcooling* dapat dilakukan dengan beberapa metode. Metode yang umum digunakan adalah dengan *embedded pipe* dan *postcuring*.

### a. *Embedded Pipe*

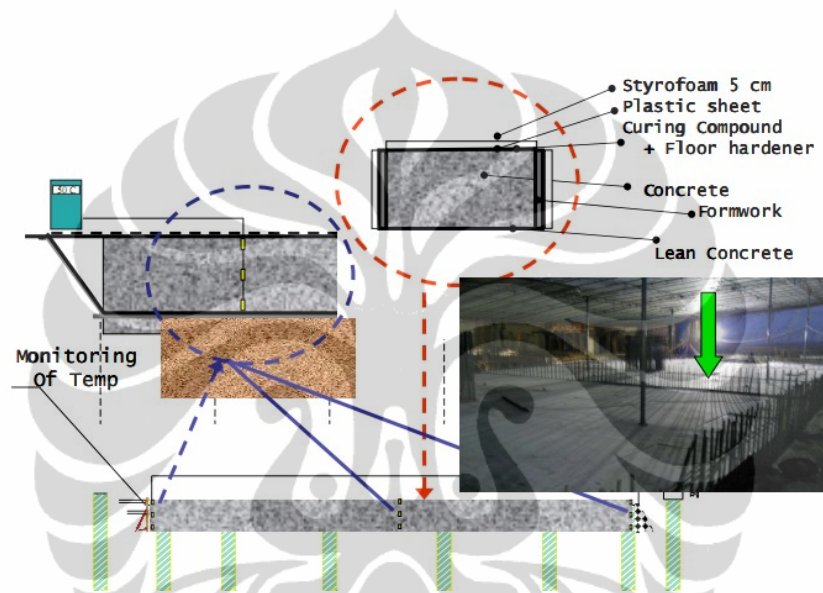
*Embedded pipe* merupakan pengendalian suhu yang efektif dengan sirkulasi cairan dingin melalui pipa berdinding tipis yang tertanam dalam beton. *Postcooling* dilakukan pada interval beberapa hari atau sebulan. Setelah pelepasan, *postcooling* belum diizinkan untuk *digrouting* karena suhu beton kemungkinan dapat meningkat kembali. Jika suhu beton meningkat kembali, penggunaan *postcooling* perlu dilakukan kembali sampai suhu beton massa relatif stabil. Setelah metode *postcooling* selesai, beton massa diinjeksi (*grouting*). *Embedded pipe* terbuat dari aluminium atau pipa tipis sejenis aluminium dengan diameter luar 25.4 mm dan ketebalan 1.5 mm. Pipa plastik dan PVC dapat digunakan sebagai *embedded pipe*.

### b. *Postcuring*

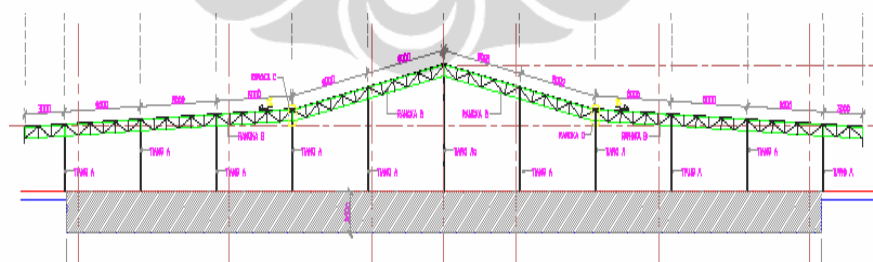
*Postcuring* dapat berupa metode insulasi dengan menggunakan material dan bahan tertentu yang dapat menahan panas keluar terlalu besar dari beton massa. Dalam konstruksi beton massa metode *postcuring* efektif dalam mencegah terjadinya *tension increased at surface* akibat perbedaan temperatur permukaan dengan *ambient*. Material dan bahan yang digunakan untuk *postcuring* biasanya berupa kombinasi styrofoam dan *plastic sheet* seperti di bawah :



Gambar 2.8. Postcuring ITD Concrete Batching Plant  
Sumber : (Pionir Beton)



Gambar 2.9. Tipe Postcuring Raft foundation  
Sumber : (Pionir Beton)



Gambar 2.10. Postcuring Proyek Green Bay Pluit Jakarta  
Sumber : (Pionir Beton)

## 2.10 Penelitian Beton Massa

Penelitian dan studi beton massa telah dilakukan beberapa peneliti di dunia. Hasil, analisa dan kesimpulan penelitian mereka dapat menjadi informasi

dan sumber untuk studi selanjutnya. Berikut beberapa hasil studi dan penelitian beton massa :

- a. Evaluation of Temperature Prediction Methods for Mass Concrete Members (by Kyle A. Riding, Jonathan L. Poole, Anton K. Schindler, Maria C. G. Juenger, and Kevin J. Folliard) ACI MATERIALS JOURNAL TECHNICAL PAPER (Title no. 103-M40)

- Metode PCA tidak dapat memprediksi waktu pencapaian temperatur puncak. Kesalahan dalam memprediksi temperatur maksimum dengan menggunakan metode PCA sebesar 12%.
- Metode ACI dapat memprediksi temperatur puncak dan waktu untuk mencapai temperatur puncak. Kesalahan relatif hasil prediksi dibandingkan dengan pengukuran lapangan dengan kasus yang sama lebih dari 33%.
- Kesalahan metode Schmidt dalam memprediksi waktu untuk mencapai temperatur puncak, apabila dibandingkan dengan pengukuran sebenarnya mencapai 165%.

- b. Mass Concrete and Controlling Temperatures in the Mass Concrete (by ITD Concrete Batching Plant)

Tiga prosedur dalam *cooling temperature* :

- *Pre-cooling* beton di *batching plant* dilakukan untuk mengatur temperatur beton segar.
- Melakukan *postcng* setelah pengecoran beton massa selesai.
- *Precooling* menggunakan es sebagai bagian dari *mixing water*. Es dapat mencair sendiri dan menyerap panas dengan efektif. Penambahan es dalam *mixing water* tergantung dari temperatur *ambient* dan temperature awal yang ingin dicapai.
- *Concrete delivery* : Pengiriman beton dengan durasi perjalanan yang panjang dapat meningkatkan temperature beton secara signifikan karena selama perjalanan dengan durasi 1 jam temperatur beton dapat meningkat 2-4 °C. Untuk mengatasi kendala tersebut dapat digunakan *low heat cement*, kemudian dilakukan pengontrolan

temperatur selama perjalanan, dan pengaturan akses menuju lokasi pengecoran.

- c. Evaluasi Kenaikan Temperatur Pada Struktur Beton Massa (Ir. Nono Dritanto FTUI 1994)

Panas hidrasi pada beton massa sangat dipengaruhi oleh kandungan unsur-unsur kimia dalam semen. Dalam pemodelan, beton massa diasumsikan sebagai suatu batang atau kolom satu dimensi dengan pertimbangan bahwa pengukuran temperatur beton massa di lapangan hanya terjadi dalam arah vertikal di 3 tingkat ketinggian, yaitu lapisan atas, tengah, dan bawah.

- d. *Mass Concrete Thermal Control* (by Ahmad Abu Hawash, James Nelson, John Gajda)
- Panas signifikan dihasilkan pada hari awal setelah pengecoran
  - Temperatur puncak terjadi pada 1-3 hari pertama setelah pengecoran
  - *Pre-cooling* dengan menggunakan 100% air dingin dapat mereduksi temperatur hingga 5 °F
  - *Pre-cooling* dengan menggunakan 75% batu es dapat mereduksi temperatur 15-20 °F
  - *Pre-cooling* dengan menggunakan Liquid Nitrogen (LN<sub>2</sub>) dapat mereduksi temperatur hingga 35 °F

### 2.11 Program Midas

Program MIDAS merupakan salah satu program yang digunakan untuk melakukan permodelan dan menganalisa berbagai struktur di bidang teknik sipil pada umumnya. Program ini dapat menampilkan gambar dan perhitungan secara 3D (tiga dimensi) serta dapat melakukan analisa struktur yang berdimensi besar dan kompleks. Data yang ada pada program ini dapat ditransfer ke program AutoCAD DXF dan program struktur lainnya seperti SAP, STAAD, GTStrudl, dan lain-lain.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Penelitian Beton Massa

Studi beton massa yang dilakukan adalah beton massa *raft foundation* pada proyek bangunan gedung tinggi Rasuna Tower yang terletak di Kuningan, Jakarta Selatan. Penelitian ini dilakukan melalui :

a. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber data, baik melalui pengamatan, wawancara, maupun hasil pengukuran langsung.

b. Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan dilakukan untuk memperoleh teori-teori dan data sekunder yang relevan dengan penelitian. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan memanfaatkan data yang terlebih dahulu dikumpulkan dan dilaporkan pihak lain dalam bentuk publikasi ilmiah, jurnal, buku dan sebagainya.



Gambar 3.1. Alur analisa

Sumber : (Olahan Sendiri)

### 3.2 Raft Fondation Rasuna Tower

Pengecoran *raft fondation* Rasuna Tower menggunakan *ready mix concrete*  $f_c' 35$  MPa, 30% fly ash tipe F, slump  $14 \pm 2$  cm, dengan design *initial concrete temperature* ( $T_f$ ) =  $\pm 32$  °C.

Tabel 3.1. *Mix Design* Rasuna Tower

| Description                                 | Remark       |
|---|--------------|
| Type of Concrete (MPa)                      | $f_c' 35$    |
| Supplier                                    | Pionirbeton  |
| Slump                                       | $14. \pm 2$  |
| Cement Type                                 | OPC + FA     |
| Specified Strength (MPa)                    | 35           |
| Target Strength at 28 days (Cylinder) (MPa) | 35           |
| Cement content (kg)                         | 320          |
| Indocement                                  |              |
| Fly Ash content (kg)                        | Suralaya 138 |
| Free Water content (kg)                     | 165          |
| Coarse Agg. Max 25mm (kg)                   | Rumpin 1,050 |
| Coarse Agg. Max 12.5mm (kg)                 | Rumpin 0     |
| Fine Aggregate (kg)                         | Lampung 420  |
| M. Sand (kg)                                | 220          |
| Admixture: Retarder (lt)                    | 0,78         |
| Plastiment VZ                               |              |
| Admixture: Super Plasticizer (lt)           | LN 2,0       |
| Fly Ash Content (%)                         | 30%          |
| W/C Ratio                                   | 0.36         |
| On site temperature (°C)                    | $\pm 32$     |
| Peak temperature (°C)                       | 80 - 85      |
| Ice block (kg/m <sup>3</sup> )              | 50           |

Sumber : Pionir Beton

Pada *mix design raft fondation* Rasuna Tower, digunakan es dan air dingin untuk menurunkan *initial temperature* beton.

#### a. Butiran Es

Balok es dimasukkan kedalam mesin penghancur es sehingga menjadi butiran es yang digunakan sebagai campuran. Dalam *mix design*, butiran es mereduksi air sehingga w/c tetap terjaga, dimana 1 balok es ekuivalen dengan 50 liter air.



Gambar 3.2. Mesin penghancur es

Sumber : Pionir Beton



Gambar 3.3. Penggunaan es dalam *wet mix*

Sumber : Pionir Beton

b. Air dingin

*Batch water* dimasukan balok es untuk menurunkan suhu air pencampur.



Gambar 3.4. Penggunaan balok es sebagai pendingin air pencampur

Sumber : Pionir Beton

Metode *precooling* yang digunakan tergantung dari temperatur ambient pada saat pengecoran dan waktu pengiriman beton dari *plant* ke tempat pengecoran.

Berdasarkan syarat yang diajukan Rasuna Tower, suhu beton awal  $\leq 32$  °C, sehingga dilakukan metode *precooling* dengan mencampur butiran es dan air dingin dalam *wet mix*.

### 3.3 Metode Prediksi Suhu Beton

Dalam melakukan prediksi suhu beton, ada dua metode yang sering digunakan, yaitu metode PCA (Portland Cement Association) dan metode transfer panas numerik atau biasa dikenal dengan *Schmidt Method*. Selain metode PCA dan numerik, sebenarnya ada satu metode lainnya yang dapat digunakan untuk memprediksi suhu beton, yaitu menggunakan standar ACI 207.2R. ACI menggunakan metode grafikasi dalam memprediksi suhu beton. Dalam penelitian ini, metode prediksi temperatur yang akan digunakan hanya menggunakan metode PCA.

Metode PCA digunakan hanya untuk mengestimasi nilai suhu puncak. Berikut batasan dalam menggunakan metode PCA :

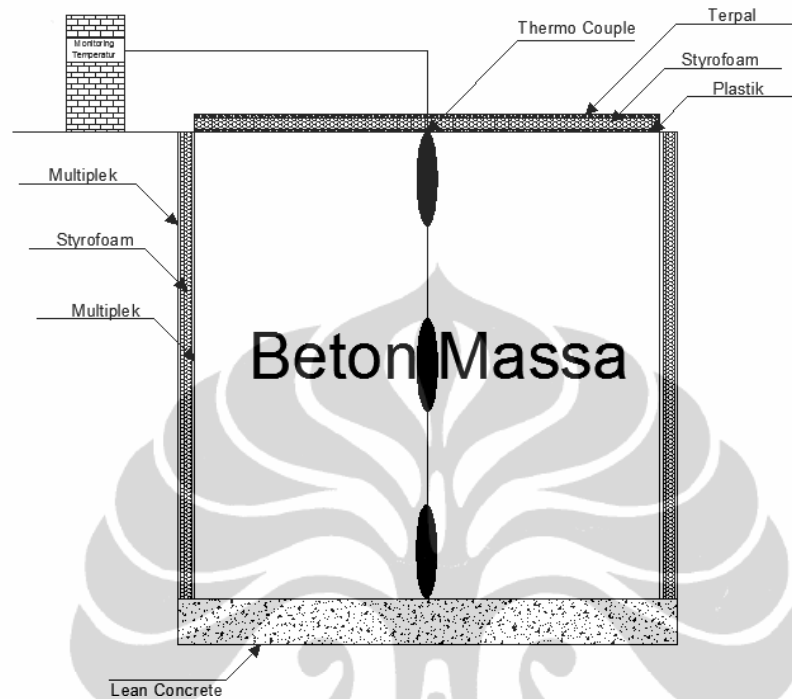
- Temperatur pengecoran diatas 12 °C untuk setiap 100 kg semen
- Metode PCA sesuai untuk beton yang mengandung 300 – 600 kg/m<sup>3</sup>
- Metode PCA cocok untuk semua semen portland (ASTM C150)
- Metode PCA tidak dapat memprediksi waktu temperatur puncak terjadi
- Metode PCA tidak dapat memprediksi perbedaan suhu inti, dasar, permukaan dan ambient pada beton massa
- Metode PCA tidak dapat memprediksi campuran menggunakan slag semen

### 3.4 Metode Pengontrolan Suhu

Pengontrolan temperatur untuk mengamati perbedaan suhu yang terjadi didalam beton massa dilakukan dengan menanam *thermocouple* pada lapisan permukaan, tengah dan dasar *raft foundation* Rasuna Tower dan melakukan pengukuran temperatur serta temperatur *ambient*. *Thermocouple* ditempatkan di 3 tempat, yaitu  $\pm 30$  cm dari dasar, inti beton dan  $\pm 30$  cm dari permukaan.



Penanaman *thermocouple* memberikan pembacaan temperatur pada tiap lapisan sehingga dapat diperoleh temperatur puncak setiap bagian dan perbedaan temperatur antar lapisan.



Gambar 3.5. Ilustrasi monitoring temperatur beton massa  
Sumber : Ultrachem

### 3.5 Penjadwalan Pemantauan Temperatur Beton Massa

Pemantauan yang dilakukan pada *raft fondation* Rasuna Tower dilakukan dengan dua cara sesuai dengan alat monitoring yang digunakan yaitu *thermocouple* manual seperti terlihat pada gambar.



Gambar 3.6. Probe Sensor




Sumber : Ultrachem



Gambar 3.7. Alat Pembacaan Suhu  
Sumber : Ultrachem

Pembacaan suhu beton secara manual dilakukan intensif untuk 1-3 hari pertama dikarenakan *peak temperature* diprediksi terjadi pada 1-3 hari pertama. Hari selanjutnya interval waktu pemantauan ditambah. Pembacaan terus dilakukan hingga perbedaan temperatur yang terbaca bernilai kurang dari 20 °C. Dalam konstruksi beton massa di Indonesia, pemantauan suhu yang sering dilakukan adalah selama 7-14 hari. Namun panas hidrasi yang terjadi berlangsung menerus untuk waktu yang lama, tergantung dari volume beton. Berikut jadwal pemantauan yang dilaksanakan pada *raft fondation* Rasuna Tower :

- Setiap 2 jam selama 6 hari pertama
- Setiap 4 jam selama 13 hari berikutnya
- Setiap 8 jam sampai dengan perbedaan temperatur yang terjadi kurang dari 20 °C.

**TABEL MONITORING SUHU THERMOCOUPLES**

**Proyek** : Rasuna Tower Kuningan Jakarta  
**Tanggal** : 30 April 2012  
**LOKASI** : RAFT FOUNDATION

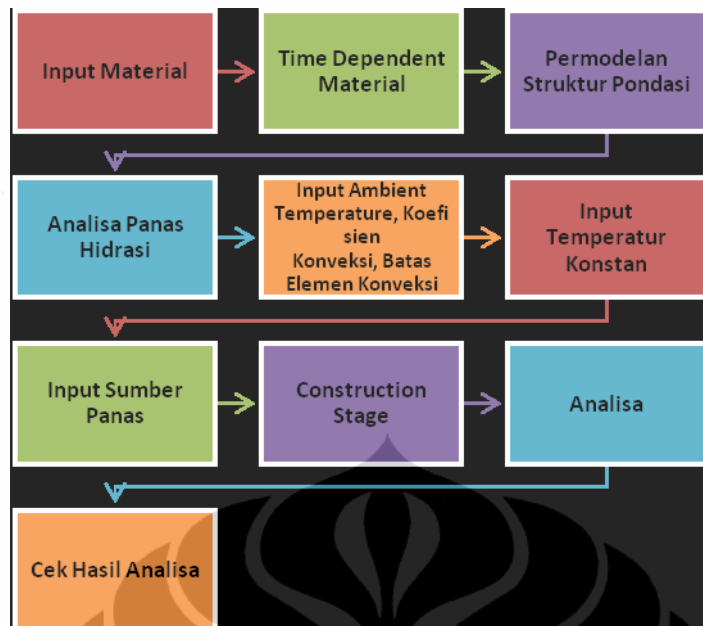
| Titik             | Waktu |       |       |       |  |  |  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
|                   | 16:00 | 18:00 | 20:00 | 22:00 |  |  |  |
| <b>TC 2 (3 m)</b> |       |       |       |       |  |  |  |
| Atas (1)          | 57    | 54    | 53    | 58    |  |  |  |
| Tengah (2)        | 62    | 60    | 60    | 61    |  |  |  |
| Bawah (3)         | 49    | 48    | 44    | 47    |  |  |  |
| Tambahan 1        | 62    | 60    | 60    | 62    |  |  |  |
| Tambahan 2        | 44    | 54    | 53    | 51    |  |  |  |
| Suhu udara        | 28    | 26    | 25    | 26    |  |  |  |
| <b>TC 5 (4 m)</b> |       |       |       |       |  |  |  |
| Atas (1)          | 61    | 58    | 55    | 62    |  |  |  |
| Tengah (2)        | 70    | 65    | 68    | 68    |  |  |  |
| Bawah (3)         | 58    | 58    | 57    | 58    |  |  |  |
| Tambahan 1        | 71    | 68    | 69    | 67    |  |  |  |
| Tambahan 2        | 58    | 57    | 59    | 57    |  |  |  |
| Suhu udara        | 29    | 27    | 29    | 26    |  |  |  |
| <b>TC</b>         |       |       |       |       |  |  |  |
| Tengah            | 70    | 70    | 71    | 70    |  |  |  |
| Suhu Udara        | 26    | 26    | 25    | 26    |  |  |  |
| <b>TC</b>         |       |       |       |       |  |  |  |
| Tengah            | 70    | 71    | 71    | 70    |  |  |  |
| Suhu Udara        | 26    | 26    | 27    | 26    |  |  |  |
| <b>TC</b>         |       |       |       |       |  |  |  |
| Tengah            | 34    | 36    | 35    | 36    |  |  |  |
| Suhu Udara        | 26    | 26    | 27    | 28    |  |  |  |

Gambar 3.8. Form Pemantauan Suhu

Sumber : Ultrachem

### 3.6 Analisa

Setelah didapatkan data pembacaan suhu, dilakukan analisa terhadap temperatur dengan metode Portland Cement Association dan analisa dengan menggunakan program MIDAS Gen 2011. Analisa dengan MIDAS Gen 2011 membutuhkan data-data sumber panas dari semen dan properti dari material-material yang digunakan pada pondasi Rasuna Tower. Analisa yang dilakukan berdasarkan *heat transfer analysis* dan *thermal stress analysis*.



Gambar 3.9. Alur permodelan MIDAS Gen

Sumber : (Nuryadin, 2007)

## BAB 4 HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Pendahuluan

Studi perbedaan temperatur pada beton massa ini dilakukan pada pekerjaan *raft foundation* di Rasuna Tower, Kuningan, Jakarta Selatan. Konstruksi pondasi pada proyek ini memiliki ketebalan 3 m dan 4 m dengan volum pengecoran  $\pm 3486 \text{ m}^3$ .

Studi perubahan temperatur pada pekerjaan pengecoran *raft foundation* pada proyek Rasuna Tower ini akan dianalisa dengan menggunakan metode PCA dan permodelan dengan software MIDAS Gen 2011. Adapun pembahasan yang akan dilakukan antara lain :

- a. Prediksi peak temperature raft foundation dengan menggunakan pre-cooling dan tanpa pre-cooling
- b. Perbandingan temperatur yang terjadi pada pengukuran lapangan dengan program MIDAS Gen 2011
- c. Perhitungan tegangan tarik yang terjadi dengan tegangan tarik beton massa
- d. Perbandingan *peak temperatur* dan selisih suhu serta tegangan pada *raft foundation* dengan ketebalan 3 meter dan 4 meter
- e. Perbandingan pengaruh lapisan insulasi terhadap temperatur permukaan dan temperatur puncak yang terjadi pada *raft foundation* Rasuna Tower dengan program MIDAS Gen 2011
- f. Perbandingan *initial temperature*, *peak temperature* dan perbedaan temperatur *raft foundation* Rasuna Tower dengan Menteng Residence dengan mutu 35 MPa

### 4.2 Prediksi Initial Temperature dan Peak Temperature

*Peak Temperature* dapat dihitung menggunakan metode PCA dengan mengetahui *mix design* dari beton massa. *Mix design* yang digunakan pada *raft foundation* Rasuna Tower dan Menteng Residence adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Mix Design Rasuna Tower

| Description                                 | Remark             |
|---|--------------------|
| Type of Concrete (MPa)                      | f'c 35             |
| Supplier                                    | Pionirbeton        |
| Slump                                       | 14. ± 2            |
| Cement Type                                 | OPC + FA           |
| Specified Strength (MPa)                    | 35                 |
| Target Strength at 28 days (Cylinder) (MPa) | 35                 |
| Cement content (kg)                         | 320                |
| Indocement                                  |                    |
| Fly Ash content (kg)                        | Suralaya 138       |
| Free Water content (kg)                     | 165                |
| Coarse Agg. Max 25mm (kg)                   | Rumpin 1,050       |
| Coarse Agg. Max 12.5mm (kg)                 | Rumpin 0           |
| Fine Aggregate (kg)                         | Lampung 420        |
| M. Sand (kg)                                | 220                |
| Admixture: Retarder (lt)                    | Plastiment VZ 0,78 |
| Admixture: Super Plasticizer (lt)           | LN 2,0             |
| Fly Ash Content (%)                         | 30%                |
| W/C Ratio                                   | 0.36               |
| On site temperature (°C)                    | ± 32               |
| Peak temperature (°C)                       | 80 - 85            |
| Ice block (kg/m <sup>3</sup> )              | 50                 |

Sumber : Pionir Beton

Perhitungan *Peak Temperature* tanpa menggunakan *pre-cooling* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_i = \frac{0.22 (T_a \cdot W_a + T_c \cdot W_c + T_{fa} \cdot W_{fa}) + T_w \cdot W_w + T_{wa} \cdot W_{wa}}{0.22 (W_a + W_c + W_{fa}) + W_w + W_{wa}}$$

dimana,

Tabel 4.2. Data Suhu dan Massa masing-masing Agregat pada Mix Design Rasuna Tower Tanpa Pre-cooling

| Before Pre-cooling |                                | Rasuna | Satuan |
|--------------------|--------------------------------|--------|--------|
| T <sub>i</sub>     | : Initial Concrete Temperature |        |        |
| T <sub>a</sub>     | : Aggregate Temperature        | 32     | °C     |
| T <sub>c</sub>     | : Cement Temperature           | 80     | °C     |
| T <sub>fa</sub>    | : Fly Ash Temperature          | 45     | °C     |

|          |   |       |    |
|----------|---|-------|----|
| $T_w$    | : <i>Water Temperature</i>              | 30    | °C |
| $T_{wa}$ | : <i>Water in Aggregate Temperature</i> | 31    | °C |
| $W_a$    | : <i>Mass of Aggregate</i>              | 1,690 | kg |
| $W_c$    | : <i>Mass of Cement</i>                 | 320   | kg |
| $W_{fa}$ | : <i>Mass of Fly Ash</i>                | 138   | kg |
| $W_w$    | : <i>Mass of Water</i>                  | 165   | kg |
| $W_{wa}$ | : <i>Mass of Water in Aggregate</i>     | 16    | kg |

Sumber : Pionir Beton

dan

$$T_{max} = T_i + 12 \left( \frac{W_c}{100} \right) + 6 \left( \frac{W_{scm}}{100} \right)$$

dimana,

Tabel 4.3. Hasil Initial Temperature Tanpa Pre-cooling

| Prediksi Temperatur Puncak ( $T_{max}$ ) Before Precooling |                          | Rasuna |
|--|--------------------------|--------|
| $T_i$  | : Temp awal beton (°C)   | 38     |
| $W_c$  | : Kandungan semen (kg)   | 320    |
| $W_{fa}$   | : Kandungan fly ash (kg) | 138    |

Sumber : Olahan Sendiri

Perhitungan dengan menggunakan *mix design* di atas akan mendapatkan nilai *initial temperature* dan *peak temperature* sebesar berturut-turut 38 °C dan 85 °C. Dengan menggunakan nilai temperatur puncak tersebut, pengecoran *raft foundation* dapat dilakukan. Namun, untuk meminimalisasi resiko yang mungkin terjadi, maka dilakukan tindakan *pre-cooling* untuk mengendalikan nilai *initial temperature* yang dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$T_i = \frac{0.22 (T_a \cdot W_a + T_c \cdot W_c + T_{fa} \cdot W_{fa}) + T_w \cdot W_w + T_{wa} \cdot W_{wa} - 112W_i}{0.22 (W_a + W_c + W_{fa}) + W_w + W_{wa} + W_i}$$

dimana,

Tabel 4.4. Data Suhu dan Massa masing-masing Agregat pada Mix Design Rasuna Tower dengan Pre-cooling

| Pre-cooling |                                       | Rasuna | Satuan |
|-------------|---------------------------------------|--------|--------|
| $T_i$       | : <i>Initial Concrete Temperature</i> |        |        |
| $T_a$       | : <i>Aggregate Temperature</i>        | 32     | °C     |
| $T_c$       | : <i>Cement Temperature</i>           | 80     | °C     |

|          |   |       |    |
|----------|---|-------|----|
| $T_{fa}$ | : <i>Fly Ash Temperature</i>            | 45    | °C |
| $T_w$    | : <i>Water Temperature</i>              | 30    | °C |
| $T_{wa}$ | : <i>Water in Aggregate Temperature</i> | 31    | °C |
| $W_a$    | : <i>Mass of Aggregate</i>              | 1,690 | kg |
| $W_c$    | : <i>Mass of Cement</i>                 | 320   | kg |
| $W_{fa}$ | : <i>Mass of Fly Ash</i>                | 138   | kg |
| $W_w$    | : <i>Mass of Water</i>                  | 115   | kg |
| $W_{wa}$ | : <i>Mass of Water in Aggregate</i>     | 16    | kg |
| $W_i$    | : <i>Mass of Ice</i>                    | 50    | kg |

Sumber : Pionir Beton

dan

$$T_{max} = T_i + 12 \left( \frac{W_c}{100} \right) + 6 \left( \frac{W_{scm}}{100} \right)$$

dimana,

Tabel 4.5. Hasil Initial Temperature Tanpa Pre-cooling

| Prediksi Temperatur Puncak ( $T_{max}$ ) After Precooling |                          | Rasuna |
|---|--------------------------|--------|
| $T_i$   | : Temp awal beton (°C)   | 27     |
| $W_c$   | : Kandungan semen (kg)   | 320    |
| $W_{fa}$  | : Kandungan fly ash (kg) | 138    |

Sumber : Olahan Sendiri

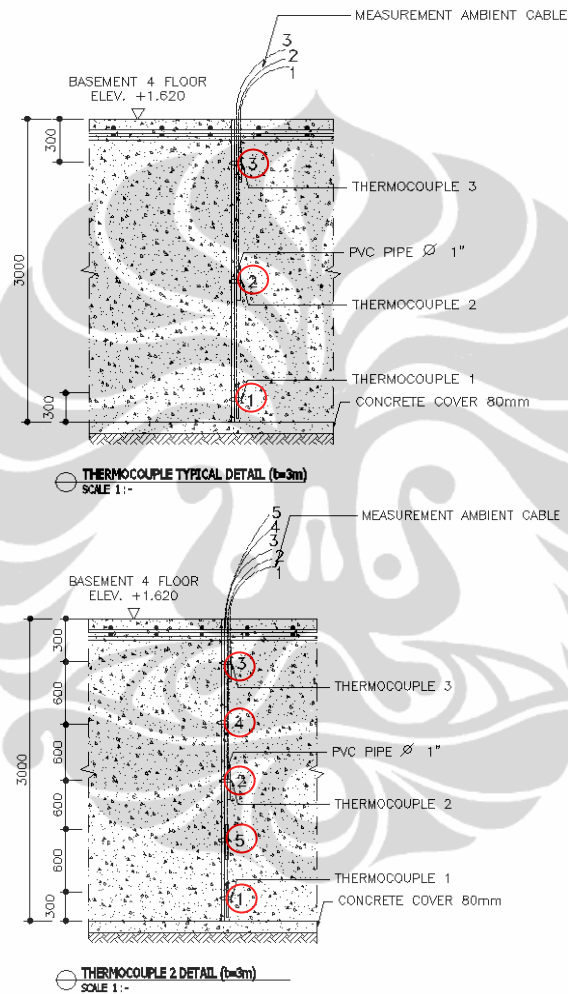
Sehingga didapatkan nilai *initial temperature* dan temperatur maksimum sebesar 27 °C dan 74 °C. Penurunan *initial temperature* bertujuan untuk menghindari kenaikan suhu yang tinggi sehingga dapat menurunkan temperatur puncak yang terjadi dengan cara *pre-cooling*. *Pre-cooling* dilakukan dengan mencampur *crushed ice* dalam *wet mix* dan menyiram agregat kasar dan halus dengan air secara berkala. Pada komposisi beton yang digunakan untuk pengecoran *raft foundation*, dengan mensubstitusi 50 kg air dengan 50 kg es dalam 1 m<sup>3</sup> campuran beton dalam *mix design* yang tercantum di atas akan mereduksi temperatur maksimum yang terjadi pada beton massa hingga 11 °C

### 4.3 Hasil Pembacaan Perubahan Temperatur Rasuna Tower

Secara umum, *probe thermocouple* ditempatkan pada tiga titik kedalaman, namun berbeda halnya dengan *thermocouple 2*. *Probe* ditempatkan



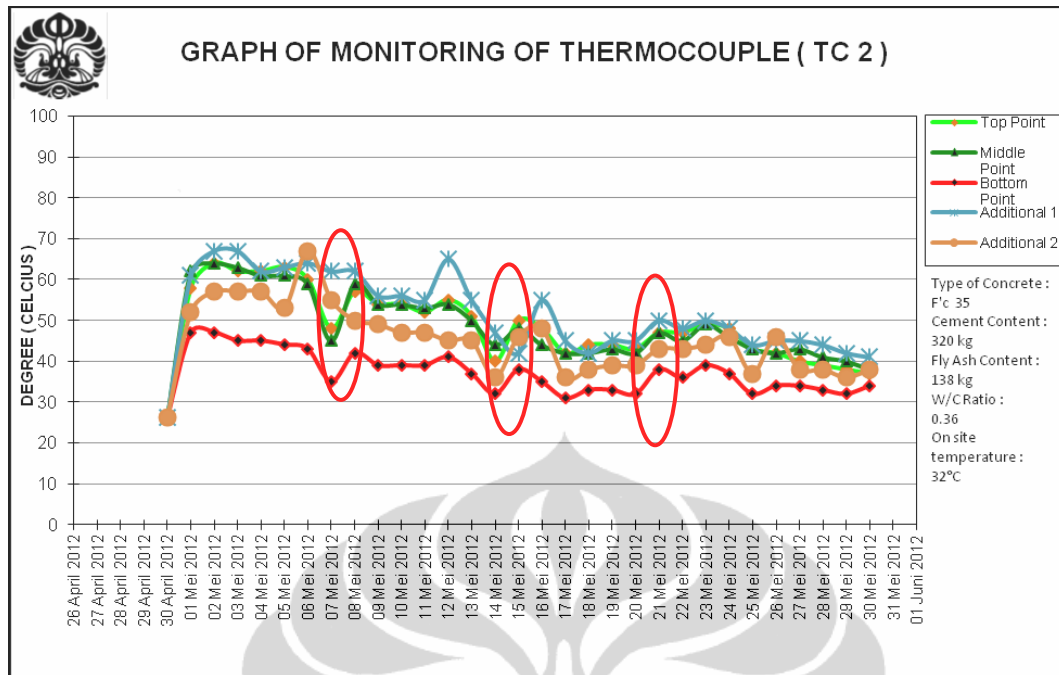
pada 5 titik kedalaman yang dapat dilihat pada gambar di bawah. Seluruh data pembacaan pengukuran temperatur beton massa berikut grafik-grafik *raft foundation* Rasuna Tower selain TC (Thermocouple) 2 dapat dilihat pada bagian lampiran. Analisa yang dilakukan pada pembacaan suhu untuk beberapa titik dengan kedalaman 3 meter yang ditinjau pada *raft foundation* Rasuna Tower, antara lain *thermocouple 2, 3, 10, 11 dan 12*.



Gambar 4.1. Posisi probe untuk *thermocouple* tipikal (atas) dan *thermocouple 2* (bawah)

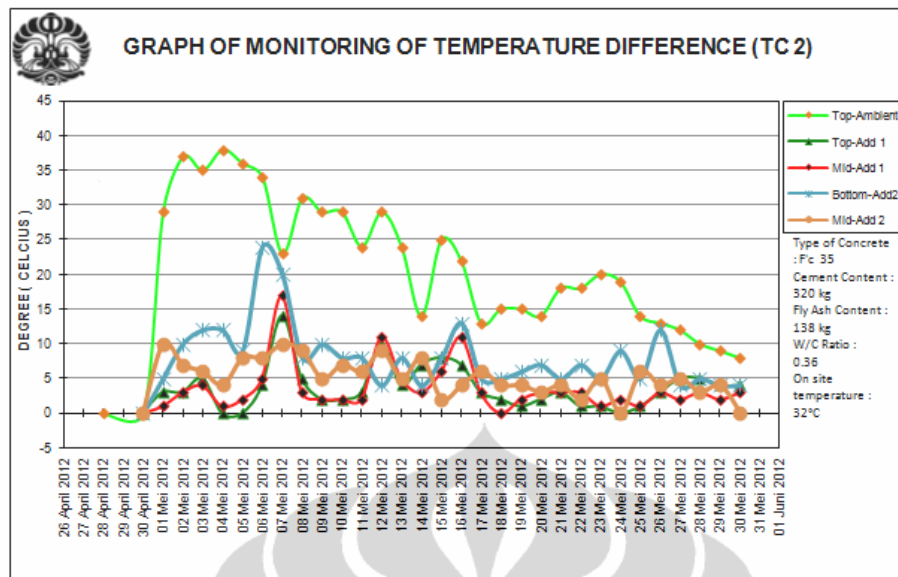
Sumber : (Ultrachem, telah doilah kembali)

Berikut grafik pembacaan suhu yang terjadi pada setiap lapisan TC 2 dan grafik perbedaan suhu yang terjadi antar lapisan pada TC 2.



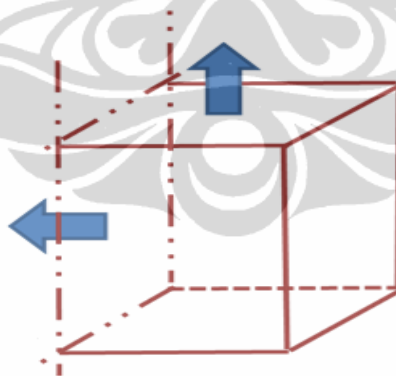
Gambar 4.2. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple 2*  
 Sumber : (Olahan Sendiri)

Pada grafik di atas, terlihat kondisi temperatur *thermocouple 2* yang fluktuatif. Temperatur puncak terjadi pada hari ketiga setelah pengecoran. Temperatur maksimum terjadi pada *probe* tambahan pertama yang berjarak  $\pm 90$  cm dari permukaan beton dengan nilai  $70^{\circ}\text{C}$ . Temperatur yang fluktuatif ini sebenarnya dapat di atasi dengan melakukan metode buka-tutup insulator. Pada tanda lingkaran merah yang ada di atas, seharusnya dapat diaplikasikan metode buka-tutup insulator untuk mencegah temperatur naik kembali. Metode buka-tutup dapat dilakukan dengan melihat tren yang terjadi pada perubahan suhu. Apabila suhu mulai turun secara berkala, maka strategi pembukaan insulator sebaiknya dilakukan. Namun penurunan temperatur yang terjadi diusahakan tidak melebihi  $12^{\circ}\text{C}$  dalam kurun waktu 24 jam. Apabila saat strategi buka dilakukan terjadi penurunan temperatur hingga mendekati  $12^{\circ}\text{C}$ , maka strategi tutup insulator kembali dilakukan. Selain itu, strategi tutup insulator kembali juga harus dilakukan apabila perbedaan suhu antara lapisan permukaan dengan udara luar sudah mendekati  $15^{\circ}\text{C}$ .



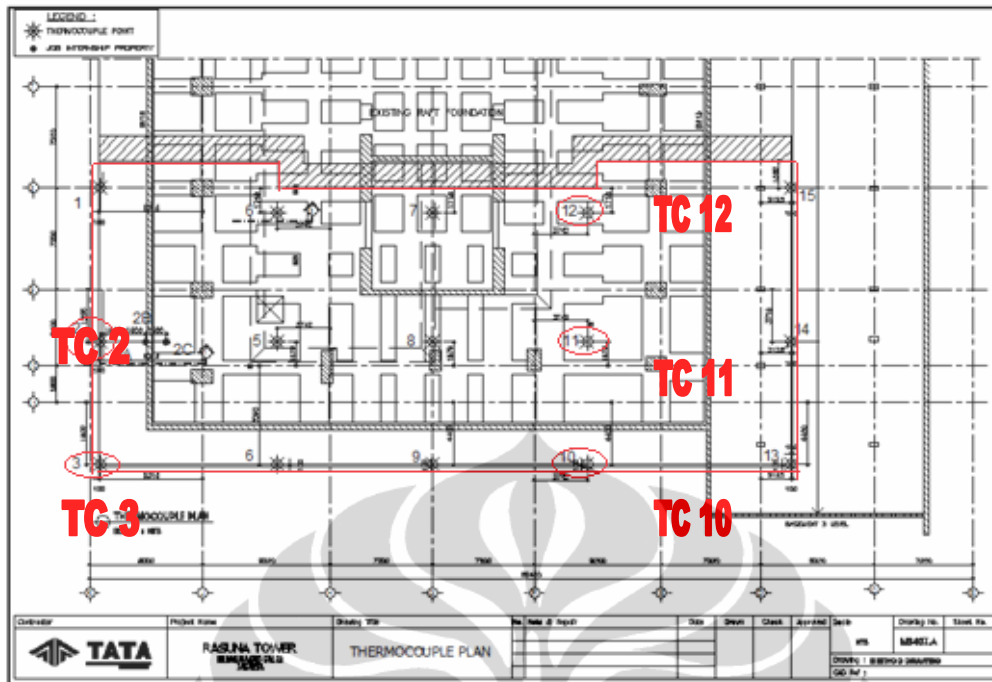
Gambar 4.3. Grafik Perbedaan Suhu *Thermocouple 2*  
Sumber : (Olahan Sendiri)

Grafik di atas menunjukkan perbedaan suhu tertinggi *thermocouple 2* terjadi antara lapisan permukaan dengan *ambient*. Hal ini dapat terjadi karena rendahnya suhu *thermocouple 2* akibat pelepasan panas yang terjadi pada dua arah, yaitu arah vertikal dan horizontal sehubungan dengan jarak *thermocouple 2* dekat dengan dua permukaan.



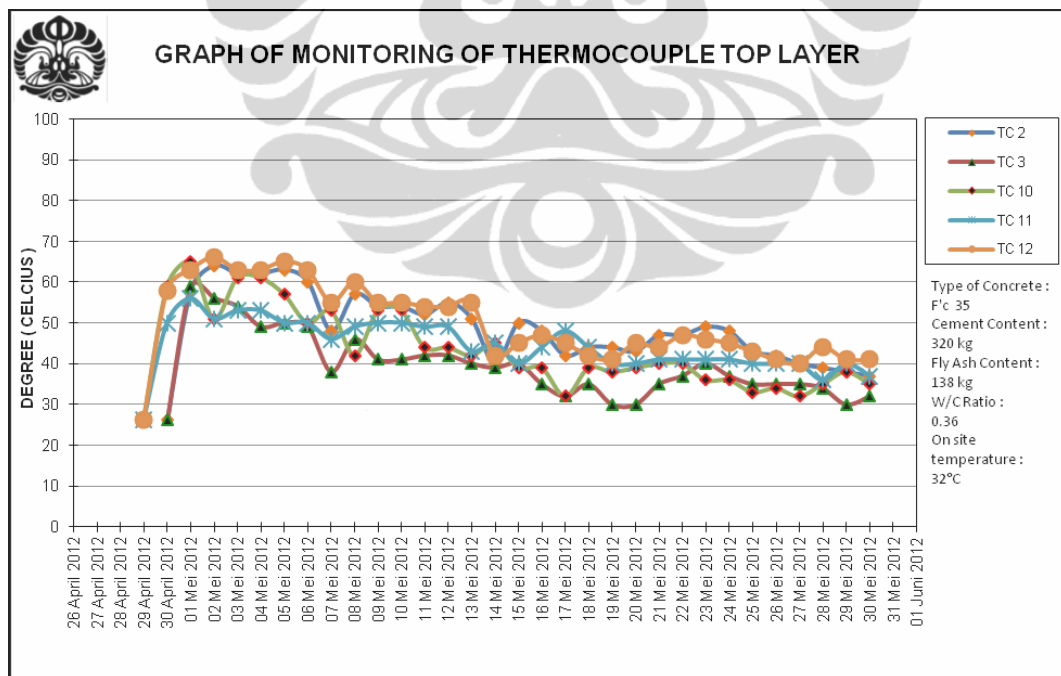
Gambar 4.4. Heat Release in Two Dimensional Way  
Sumber : (Ultrachem)

Gambar dibawah merupakan lokasi titik-titik *thermocouple* pada *raft foundation* Rasuna Tower. Titik-titik *thermocouple* yang ditinjau ditandai dengan lingkaran merah dan *raft foundation* baru dibatasi oleh garis merah.



Gambar 4.5. Titik Tinjauan dengan Ketebalan 3 meter  
 Sumber : (TATAMULIA NUSANTARA INDAH, telah diolah kembali)

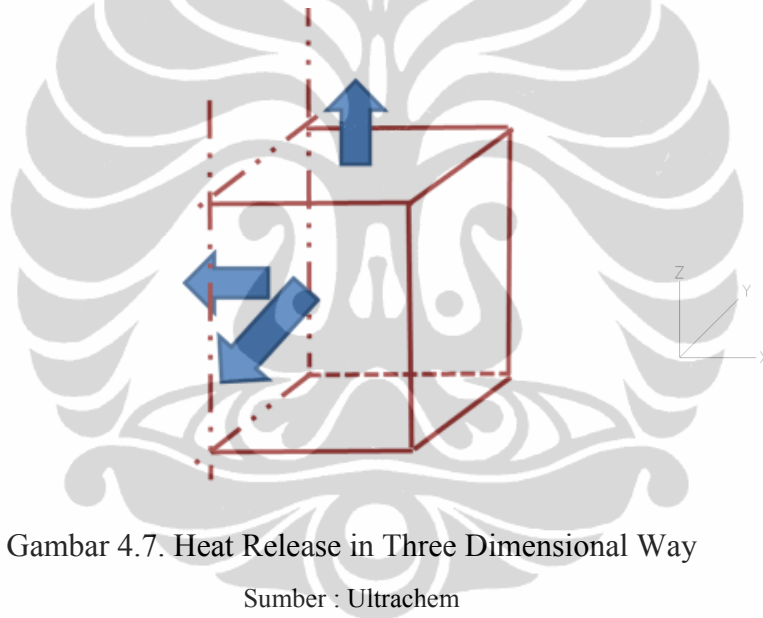
Adapun grafik-grafik sebagai perbandingan antar titik pada masing-masing layernya berikut pembahasannya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Atas

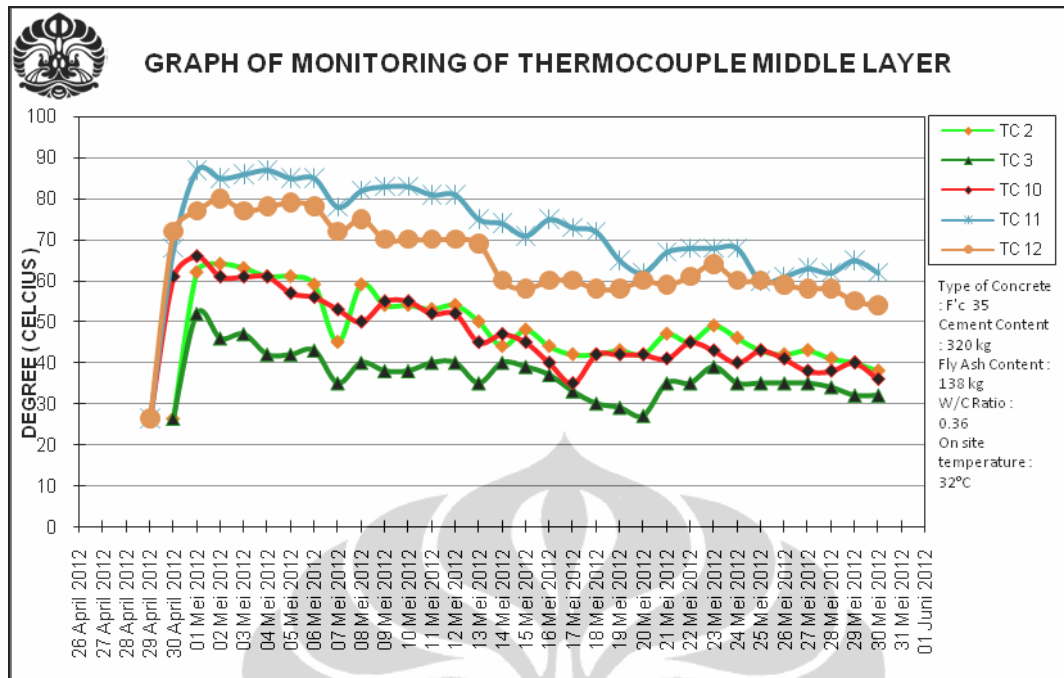
Sumber : (Olahan Sendiri)

Pada grafik di atas terlihat bahwa suhu tertinggi untuk lapisan atas terjadi pada *thermocouple* 12. Sedangkan suhu terendah untuk lapisan atas terjadi pada *thermocouple* 3. Bila melihat pada lokasi penempatan titik-titik *raft foundation*, terlihat bahwa lokasi *thermocouple* 3 terletak pada bagian kiri bawah dengan jarak 10 cm dari tepi kiri dan 10 cm dari tepi bawah. Dengan kata lain, *thermocouple* 3 berada dekat (10 cm) dengan 3 sisi permukaan yang mana dua sisi berbatasan dengan lapisan bekisting  $t=2.5$  cm-styrofoam  $t=5$  cm dan satu sisi lainnya berbatasan dengan lapisan styrofoam-*plastic sheet*  $t=10$  cm. Hal ini menyebabkan temperatur lapisan atas terendah terjadi pada *thermocouple* 3 karena *heat loss* terjadi dalam 3 arah, yaitu arah vertikal (sumbu z), arah horizontal x dan arah horizontal y.



Gambar 4.7. Heat Release in Three Dimensional Way

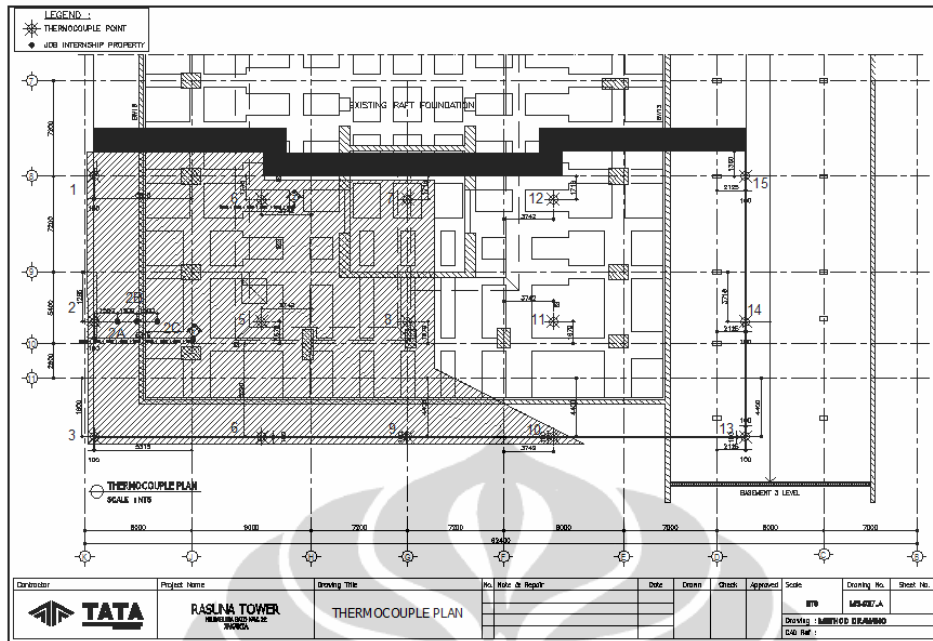
Sumber : Ultrachem



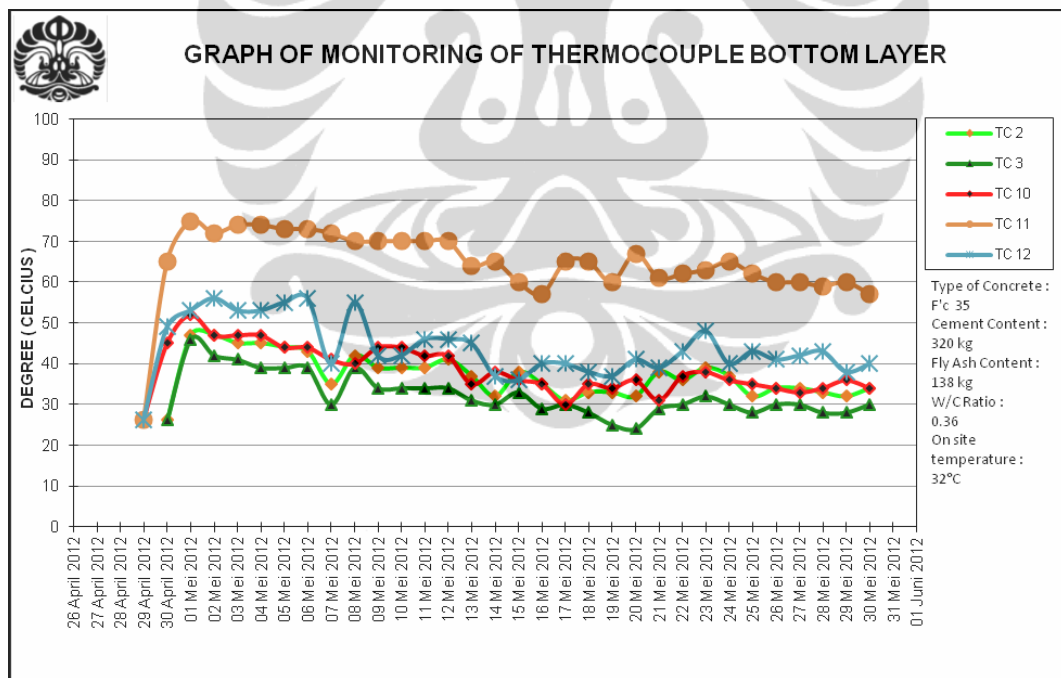
Gambar 4.8. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Tengah  
Sumber : (Olahan Sendiri)

Pada grafik pencatatan suhu lapisan tengah, dapat dilihat bahwa suhu tertinggi terjadi pada *thermocouple* 11 dan suhu terendah terjadi pada *thermocouple* 3. Perbedaan suhu rata-rata antara *thermocouple* 11 dan 3 pada lapisan tengah nampak cukup besar hingga mencapai 40 °C. *Thermocouple* 11 terletak pada bagian tengah pondasi, sehingga panas yang dilepaskan hanya terjadi pada 1 arah. Jarak *probe/sensor* yang terdapat pada lapisan tengah *thermocouple* 11 dengan permukaan *raft fondation* sebesar ±1.5 meter sehingga perbedaan temperatur lapisan tengah yang terlihat untuk *thermocouple* 11 dan *thermocouple* 3 nampak cukup jauh karena *probe/sensor* lapisan tengah pada *thermocouple* 3 berada dekat dengan permukaan luar (10 cm dari bekisting arah x).

Kemudian bila melihat grafik pembacaan suhu lapisan tengah untuk TC 12 dan TC 2, nampak bahwa suhu pembacaan untuk TC 12 lebih tinggi dari TC 2 (perbedaan rata-rata 15-20 °C). Hal ini mungkin disebabkan oleh pemasangan insulator permukaan berupa styrofoam dan *plastic sheet* yang dilakukan terlambat pada area yang diarsir pada gambar dibawah.



Gambar 4.9. Area Penutupan Insulator Terlambat  
 Sumber : TATAMULIA NUSANTARA INDAH, telah diolah kembali



Gambar 4.10. Grafik Pembacaan Suhu Lapisan Bawah

Sumber : (Olahan Sendiri)

Grafik pembacaan suhu tertinggi untuk lapisan bawah *raft foundation* Rasuna Tower terlihat sama seperti lapisan tengah, terjadi pada *thermocouple* 11 dan suhu terendah juga terjadi pada *thermocouple* 3. Analisa serupa mengenai

perbedaan temperatur lapisan bawah yang cukup jauh pada *thermocouple* 11 dan 3 telah disebutkan pada paragraf sebelumnya.

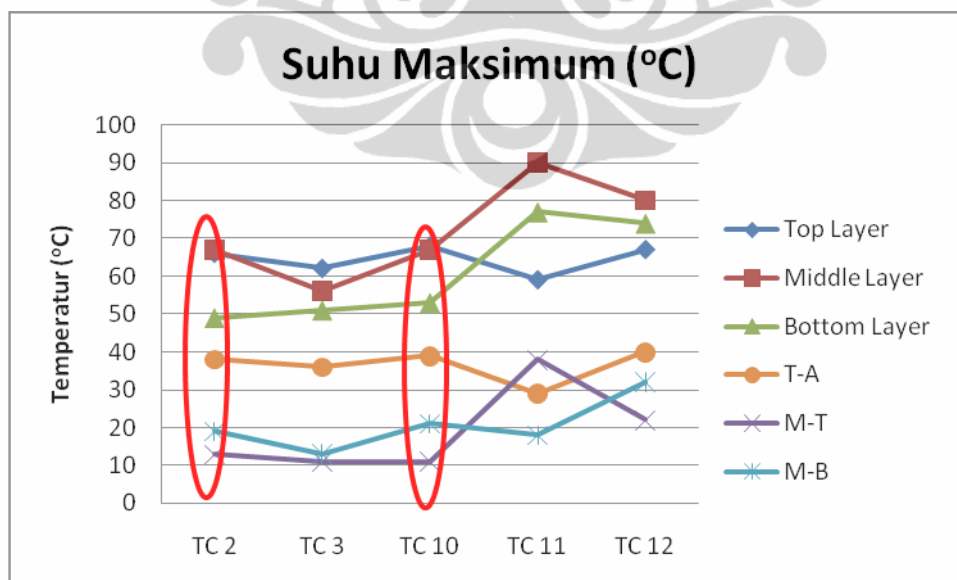
Nampak pada grafik perbandingan lapisan tengah dan lapisan bawah untuk *thermocouple* 2 dan 10 agak berimpit. Hal ini dapat terjadi karena letak *thermocouple* 2 dan 10 yang serupa. *Thermocouple* 2 berada 10 cm dari tepi bekisting arah x, sedangkan TC 10 terletak dengan jarak yang sama yaitu 10 cm dari tepi bekisting arah y.

Berikut merupakan harga-harga suhu maksimum yang terjadi pada *thermocouple* yang ditinjau pada *raft foundation* Rasuna Tower beserta grafiknya.

Tabel 4.6. Hasil Temperatur Maksimum pada Pembacaan Lapangan

| LAYER           | TC 2 | TC 3 | TC 10 | TC 11 | TC 12 | max | TC    | Hari ke |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-----|-------|---------|
| Atas (1)        | 66   | 62   | 68    | 59    | 67    | 68  | TC 10 | 2       |
| Tengah (2)      | 67   | 56   | 67    | 90    | 80    | 90  | TC 11 | 4       |
| Bawah (3)       | 49   | 51   | 53    | 77    | 74    | 77  | TC 11 | 3       |
| T-A             | 38   | 36   | 39    | 29    | 40    | 40  | TC 12 | 2       |
| mid-top         | 13   | 11   | 11    | 38    | 22    | 38  | TC 11 | 5       |
| mid-bottom      | 19   | 13   | 21    | 18    | 32    | 32  | TC 12 | 9       |
| Suhu Udara      | 35   | 35   | 43    | 36    | 35    | 43  | TC 10 | 6       |
| maksimum harian | 70   | 62   | 68    | 90    | 80    | 90  | TC 11 | 4       |

Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.11. Grafik Perbandingan Suhu Maksimum Seluruh *Thermocouple*

Sumber : (Olahan Sendiri)



Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai-nilai untuk *thermocouple* 2 dan 10 untuk berbagai layer maupun berbagai perbedaan temperatur antar lapisan tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan oleh lokasi penempatan *thermocouple* untuk *thermocouple* 2 dan 10 yang serupa.

Pada pembacaan lapangan, perbedaan suhu antar lapisan *raft foundation* untuk *thermocouple* 2 dan 3 tidak ada yang melebihi 20 °C. Sedangkan perbedaan suhu antara lapisan permukaan dengan temperatur *ambient* tidak ada yang tidak melebihi 20°C untuk semua *thermocouple* yang ditinjau pada studi kasus ini. Perbedaan suhu tertinggi terjadi antara lapisan permukaan dengan temperatur udara pada *thermocouple* 12 pada hari kedua setelah pengecoran selesai dilakukan.

Temperatur maksimum selama pembacaan hingga 28 hari terjadi pada lapisan tengah *thermocouple* 11 dengan nilai 90 °C yang terbaca hanya dalam satu kali pembacaan pada hari ke 4 (pukul 12.00 siang) setelah pengecoran selesai dilakukan. Sementara batasan untuk *peak temperature* yang disyaratkan pada *raft foundation* Rasuna Tower adalah 85 °C dan menurut perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan metode PCA, *peak temperature* yang diperbolehkan untuk *mix design* yang digunakan pada *raft foundation* Rasuna Tower adalah sebesar 73.68 °C. Oleh sebab itu dengan melihat pembacaan lapangan dan mengacu pada perhitungan PCA, *thermocouple* 11 berpotensi mengalami *crack* dan terdapat kecendrungan timbulnya masalah durabilitas. Temperatur beton yang melebihi 90 °C juga dapat menurunkan kuat tekan beton.

#### 4.4 MIDAS Gen 2011

Analisa *raft foundation* Rasuna Tower juga dilakukan dengan permodelan menggunakan program MIDAS Gen 2011. Permodelan *raft foundation* Rasuna Tower dilakukan secara parsial dan penuh. Permodelan penuh (keseluruhan pondasi) *thermocouple* yang ditinjau sama seperti analisa pembacaan lapangan, yaitu *thermocouple* 2, 3, 10, 11 dan 12. Adapun data-data lengkap hasil analisa dapat dilihat pada bagian lampiran. Permodelan pondasi pada MIDAS Gen 2011 dilakukan dengan menginput data-data material sebagai berikut :

Tabel 4.7. Data Material MIDAS Gen

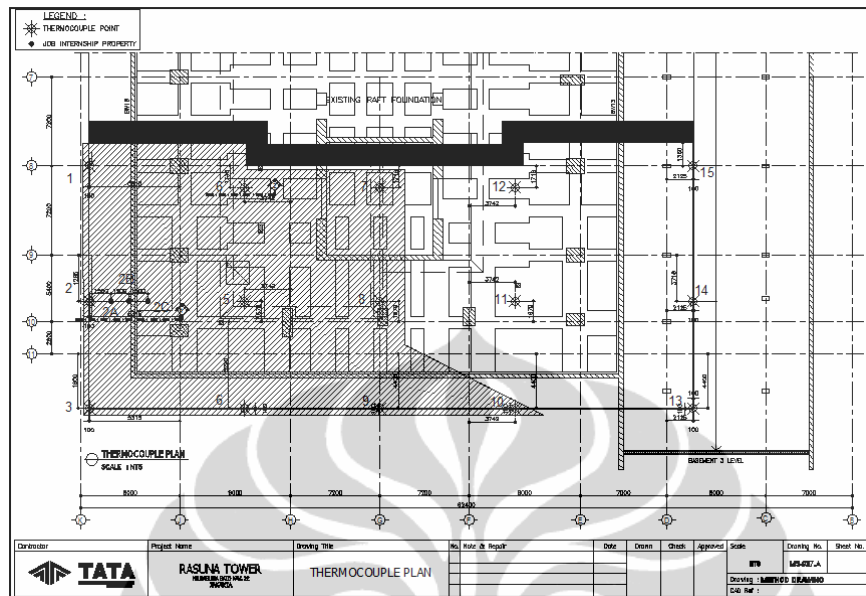
| Data Material                                     | Beton Massa | Sub soil | Styro foam | Multi plek | Lean Concrete | Eksisting Raft |
|---|-------------|----------|------------|------------|---------------|----------------|
| Specific heat (kcal/kg°C)                         | 0.25        | 0.2      | 0.29       | 0.29       | 0.25          | 0.25           |
| Density (kgf/m <sup>3</sup> )                     | 2403        | 1800     | 29         | 545        | 2403          | 2403           |
| Rate of Heat Conduction (kcal/mhr°C)              | 2.3         | 1.7      | 0.028      | 0.129      | 2.3           | 2.3            |
| Convection Coefficient (kcal/m <sup>2</sup> hr°C) | 12          | 12       | 1.33       | 7          | 12            | 12             |
| Compressive strength (28 days) (MPa)              | 35          |          |            |            | 35            | 35             |
| Thermal expansion Coefficient                     | 1.00E-05    | 1.00E-05 | 7.00E-05   | 5.00E-06   | 1.00E-05      | 1.00E-05       |
| Poisson's ratio                                   | 0.2         | 0.2      | 0.34       | 0.35       | 0.2           | 0.2            |
| Cement content (kg/m <sup>3</sup> )               | 320         |          |            |            |               |                |
| Modulus elastisitas (MPa)                         | 28645       |          | 15         | 11000      | 28645         | 28645          |
| Slump (cm)  | 14±2        |          |            |            |               |                |
| W/C   | 0.36        |          |            |            |               |                |

Sumber : (Jurnal PCA, Heat Transfer (A Practical Approach), MIDAS Gen 2011, Material Science and Engineering, ACI 209R-92, telah diolah kembali)

#### 4.4.1 Permodelan Pondasi Penuh

Analisa *raft foundation* penuh dilakukan sebanyak tiga permodelan dimana permodelan pertama dibuat dengan menginput dua *construction stage*, permodelan kedua dibuat dengan hanya menginput satu *construction stage* dan permodelan ketiga dibuat dengan tidak menginput material styrofoam pada lapisan atas (tanpa insulator). Dua tipe *construction stage* pada permodelan pertama ini diinput agar analisa *raft foundation* menyerupai kondisi yang sebenarnya dimana pemasangan insulator permukaan untuk sebagian area *raft* dipasang terlambat (pemasangan untuk sebagian area dilakukan dua hari setelah

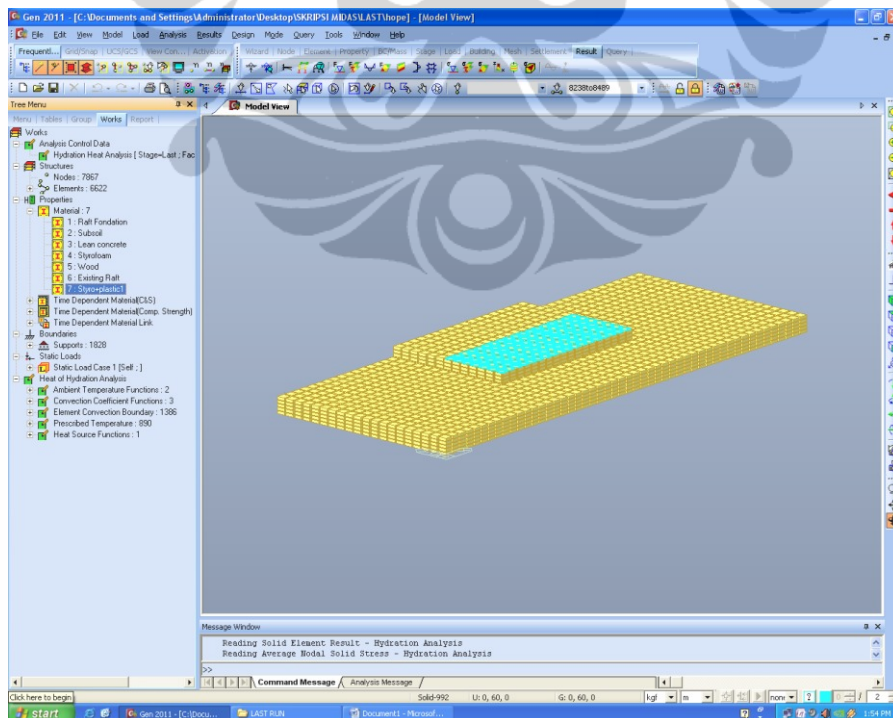
pegecoran selesai dilakukan). Area yang penutupannya terlambat dapat dilihat pada daerah yang diarsir pada gambar dibawah :



Gambar 4.12. Instalasi Lapisan Insulator Terlambat

Sumber : (TATAMULIA NUSANTARA INDAH, telah diolah kembali)

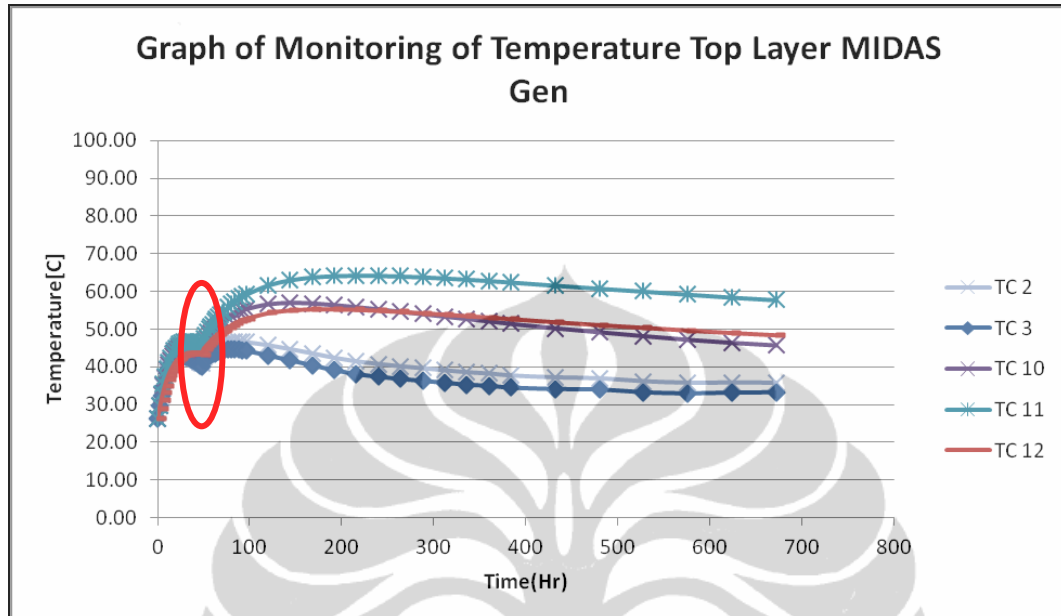
Permodelan pertama dengan menginput dua *construction stage* sehingga menyerupai kondisi lapangan yang sebenarnya.



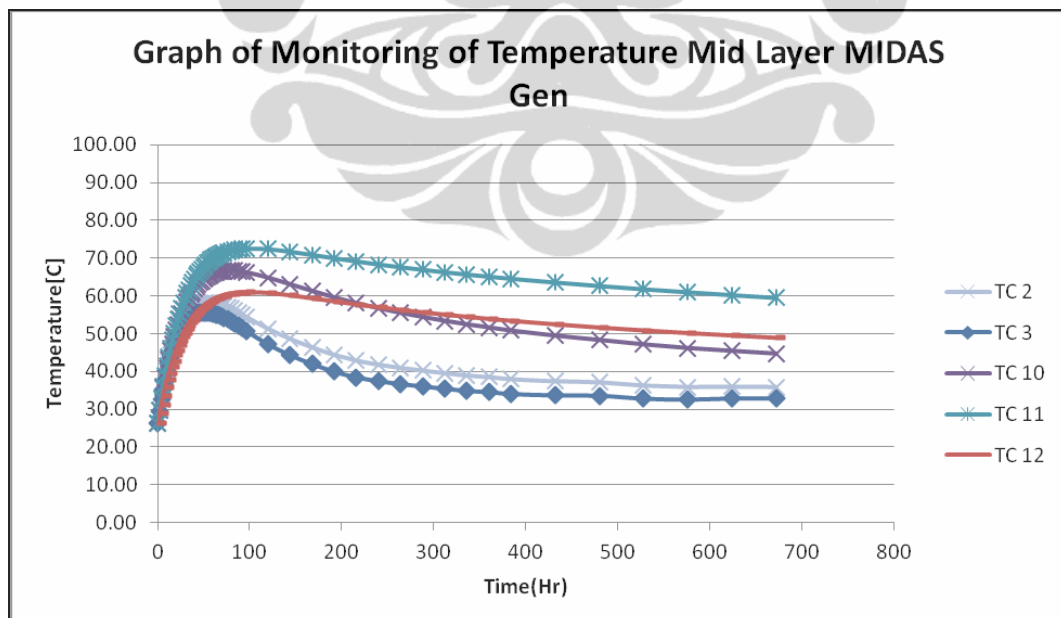
Gambar 4.13. Permodelan *raft fondation* penuh

Sumber : (Olahan Sendiri)

Berikut grafik untuk temperatur yang terjadi pada lapisan atas dan lapisan tengah untuk permodelan penuh dengan menggunakan dua *construction stage* sebagai berikut :



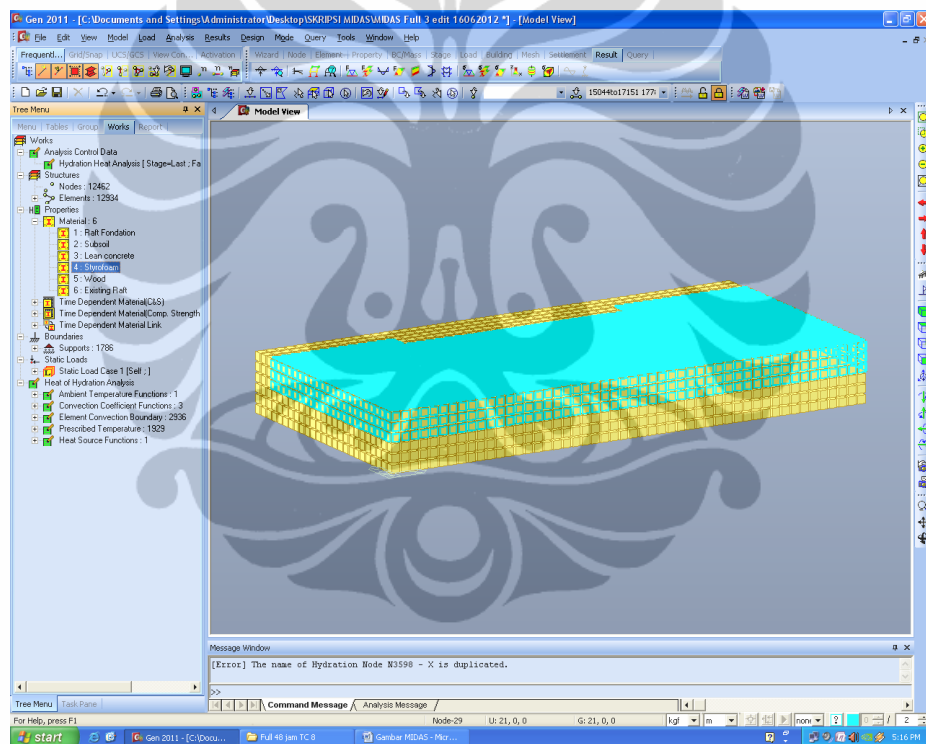
Gambar 4.14. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas dengan Dua Tipe Construction Stage  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.15. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah dengan Dua Tipe Construction Stage  
Sumber : (Olahan Sendiri)

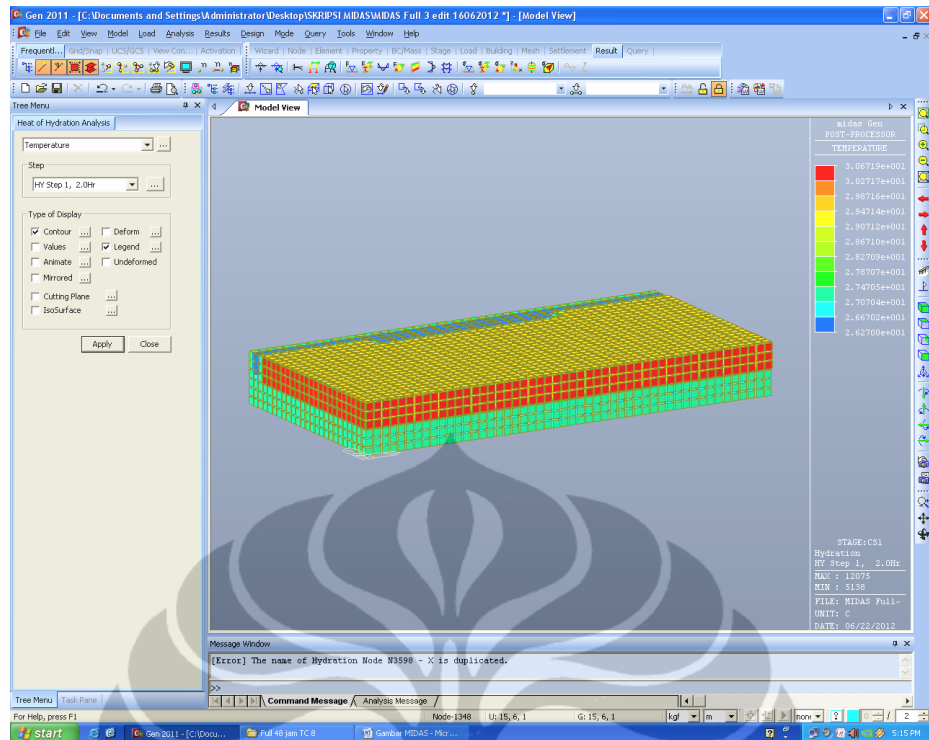
Dengan memberikan keadaan bahwa beton massa dibiarkan terbuka selama 48 jam sebelum diberikan lapisan insulator, temperatur yang terjadi pada beton massa dapat terlihat pada grafik *monitoring* di atas. Temperatur yang terjadi pada semua titik *thermocouple* akan meningkat hingga 20 jam pertama dan kemudian selanjutnya akan sedikit menurun hingga jam ke 48. Setelah 48 jam, dimana lapisan insulator diberikan, temperatur akan naik kembali. Pemberian lapisan insulator akan mencegah penurunan temperatur yang terlalu cepat.

Permodelan kedua dilakukan dengan menginput hanya satu *construction stage*. Permodelan ini memberikan kondisi apabila pemasangan insulator pada permukaan *raft* dilakukan segera setelah beton *setting*.



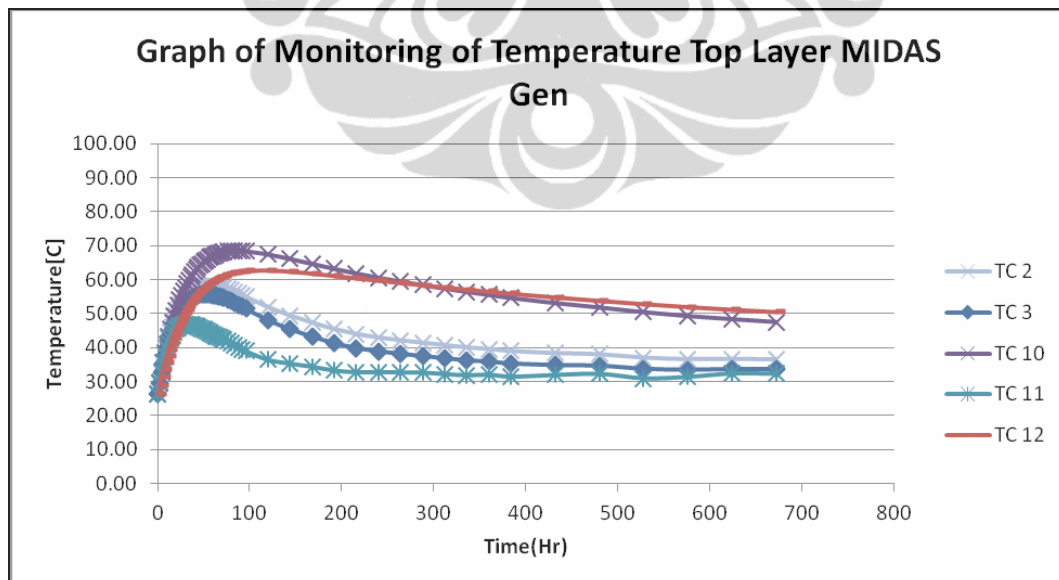
Gambar 4.16. Lapisan styrofoam sebagai insulator permukaan diberikan setelah beton setting

Sumber : (Olahan Sendiri)

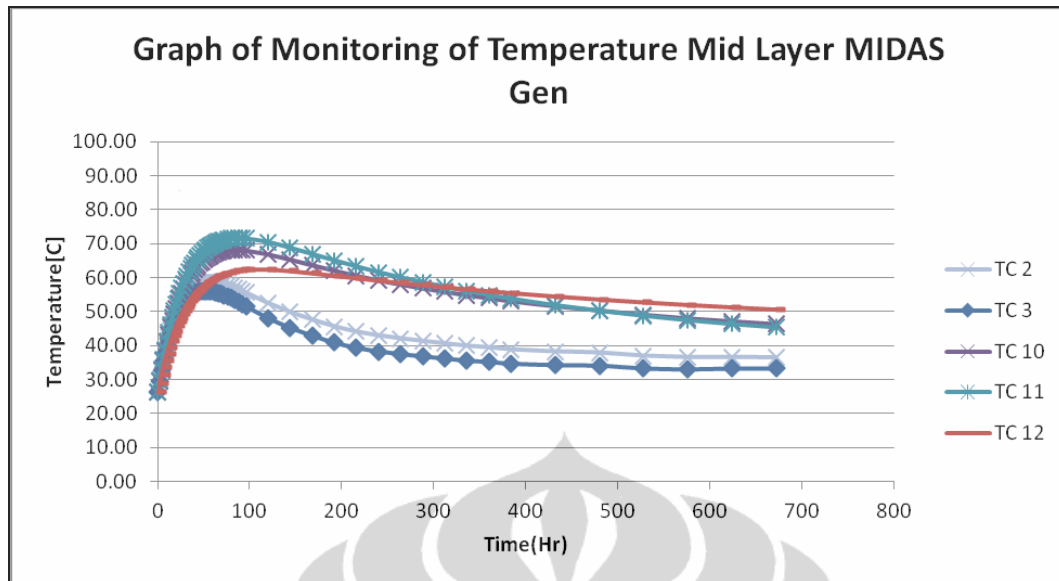


Gambar 4.17. Temperatur yang terjadi 2 jam setelah pengecoran  
Sumber : (Olahan Sendiri)

Berikut grafik untuk temperatur yang terjadi pada lapisan atas dan lapisan tengah untuk permodelan penuh dengan permodelan menggunakan hanya satu *construction stage* :



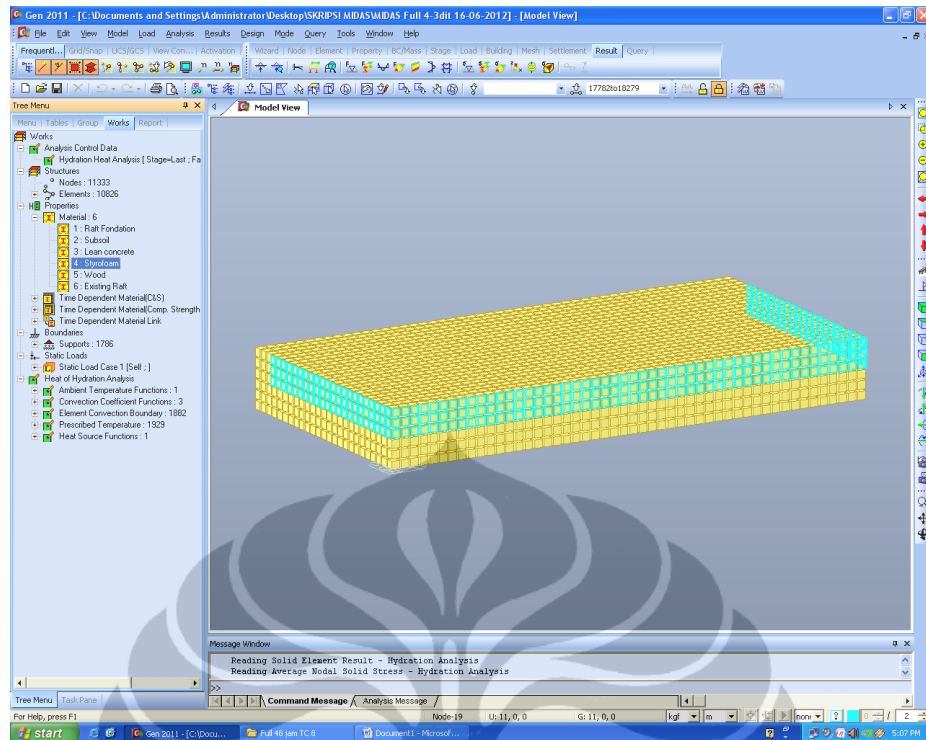
Gambar 4.18. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas Pada Permodelan dengan Satu Tipe Construction Stage  
Sumber : (Olahan Sendiri)



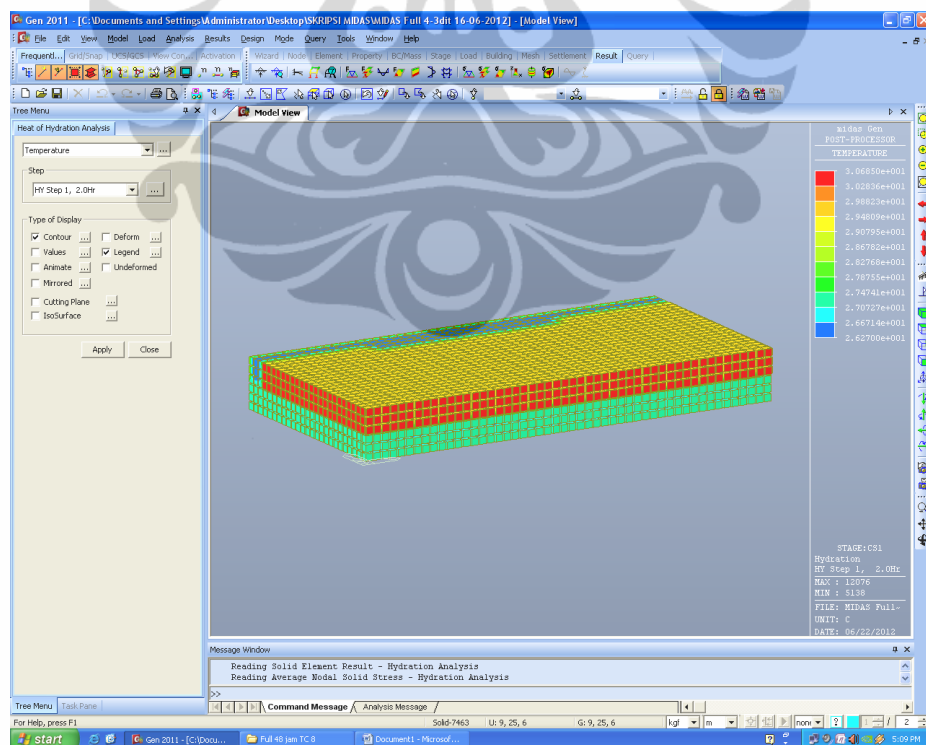
Gambar 4.19. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah Pada Permodelan dengan Satu Tipe Construction Stage  
Sumber : (Olahan Sendiri)

Grafik *monitoring* temperatur untuk lapisan tengah pada permodelan kedua (satu *construction stage*) memberikan hasil temperatur terendah terjadi pada *thermocouple 2* dan *thermocouple 3*. Selain itu, pada *thermocouple 2* dan *3* terlihat pelepasan panas terjadi dengan cepat. Hal ini terjadi karena lokasi *thermocouple 2* dan *3* memungkinkan terjadinya *heat loss* pada arah horizontal.

Permodelan ketiga dibuat tanpa menginput material styrofoam sebagai insulator lapisan atas *raft fondation*. Permodelan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur yang terjadi pada kondisi permukaan beton tidak diberi lapisan insulator.



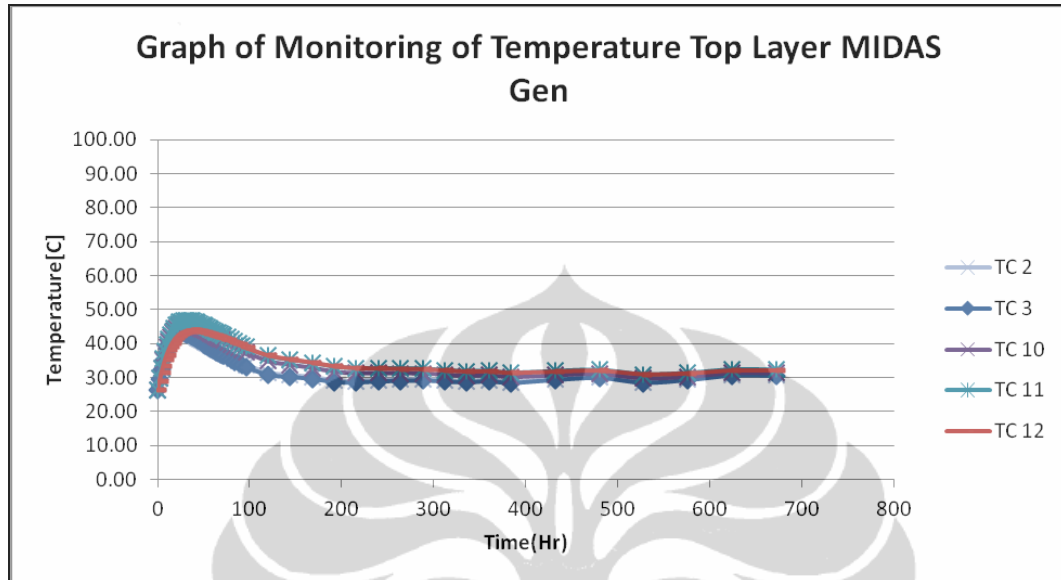
Gambar 4.20. Lapisan Styrofoam Terdapat Hanya Pada Sisi Bekisting  
Sumber : Olahan Sendiri



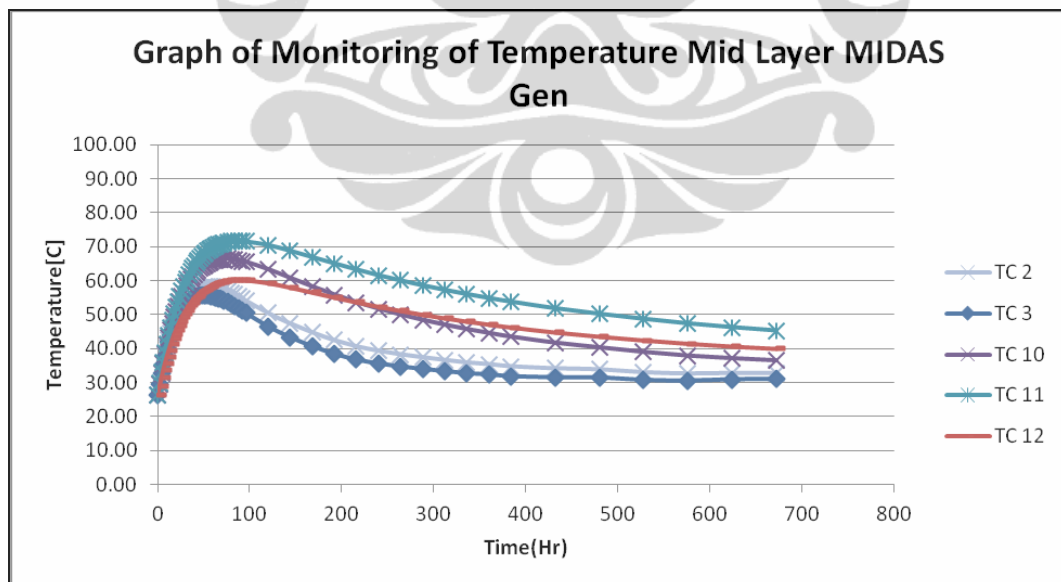
Gambar 4.21. Temperatur yang terjadi pada 2 jam setelah pengecoran  
tanpa lapisan insulator  
Sumber : Olahan Sendiri



Berikut grafik untuk temperatur yang terjadi pada lapisan atas dan lapisan tengah untuk permodelan penuh dengan asumsi *raft fondation* tidak diberikan lapisan insulator pada bagian permukaan :



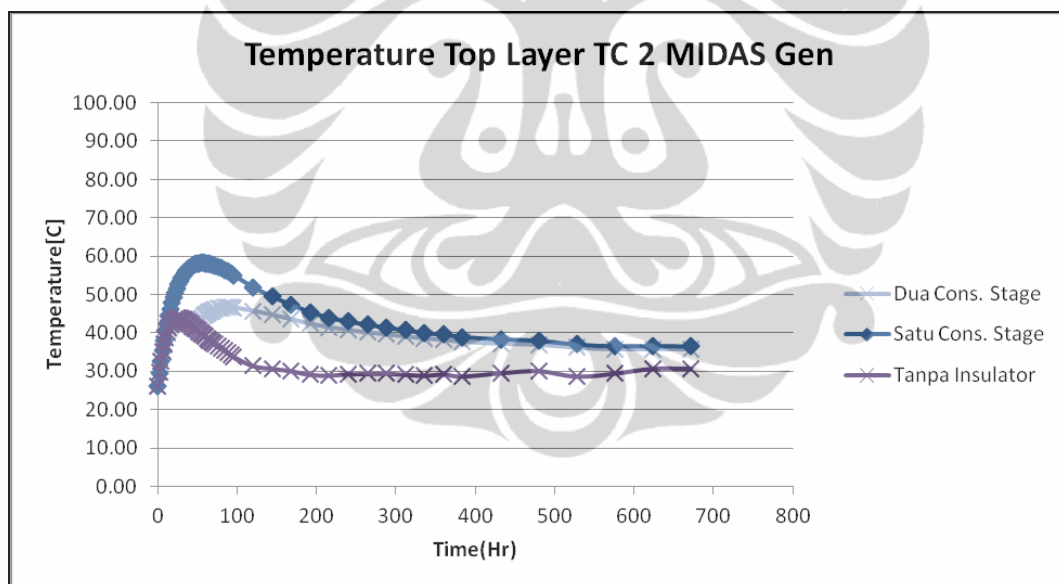
Gambar 4.22. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Atas Tanpa Diberi Lapisan Insulator  
Sumber : Olahan Sendiri



Gambar 4.23. Grafik Perubahan Temperatur Lapisan Tengah Tanpa Diberi Lapisan Insulator  
Sumber : Olahan Sendiri

Pada permodelan ketiga, lapisan insulator tidak dipasang pada permukaan beton massa. Permodelan ini memberikan hasil temperatur lapisan atas untuk seluruh titik yang ditinjau menjadi sangat rendah. Pelepasan panas yang terjadi untuk berbagai *thermocouple* terjadi dengan sangat cepat. Perbedaan temperatur yang terjadi antara masing-masing titik nampak tidak berbeda jauh. Temperatur tertinggi terjadi pada *thermocouple* 11. Tanpa insulator, beton lapisan atas dengan mudah dapat melepas panas ke udara sehingga temperatur beton massa pada lapisan atas menjadi sangat rendah. Apabila temperatur yang terjadi pada beton massa lapisan atas sangat rendah dan memberikan perbedaan suhu melebihi 20 °C dengan *ambient*, maka retak dapat terjadi pada permukaan beton massa. Oleh karena itu, insulator berperan penting dalam proses *monitoring* temperatur beton massa.

Perubahan temperatur untuk lapisan atas pada permodelan pertama, kedua dan ketiga dapat dilihat pada grafik dibawah :



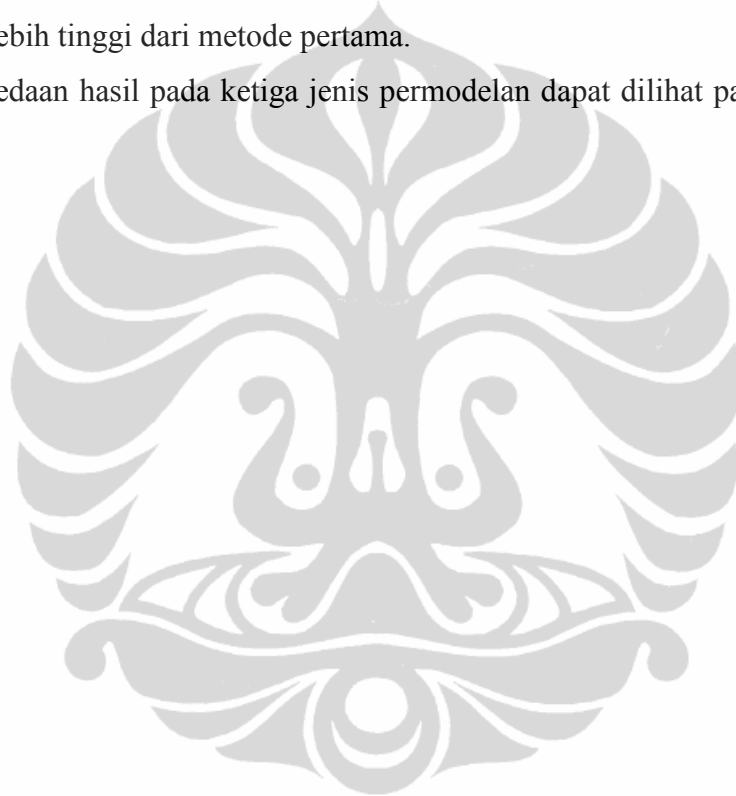
Gambar 4.24. Grafik Perubahan Suhu Lapisan Atas dengan Ketiga Jenis Permodelan

Sumber : (Olahan Sendiri)

Grafik-grafik perbandingan antara ketiga metode memberikan hasil yang hampir serupa untuk semua titik *thermocouple* yang ditinjau. Seperti terlihat pada grafik perbandingan ketiga metode untuk lapisan permukaan *thermocouple* 2 di atas, temperatur tertinggi terjadi dengan menggunakan permodelan kedua, yaitu permodelan yang menggunakan satu *construction stage*. Kemudian temperatur

terendah terjadi pada permodelan yang mengasumsikan permukaan *raft foundation* berhubungan langsung dengan udara luar. Grafik serupa juga terjadi pada perbandingan metode untuk lapisan permukaan *thermocouple* 3, 10, 11, 12 dan lapisan tengah *thermocouple* 2, 3, 10, 11 dan 12. Grafik yang ditunjukkan oleh *thermocouple* 11 baik untuk lapisan permukaan maupun lapisan tengah memberikan hasil yang sedikit berbeda. Pada *thermocouple* 11, temperatur tertinggi terjadi dengan menggunakan metode pertama, yaitu dua *construction stage*. Namun sebelum jam ke 28, metode kedua memberikan nilai temperatur yang sedikit lebih tinggi dari metode pertama.

Perbedaan hasil pada ketiga jenis permodelan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :



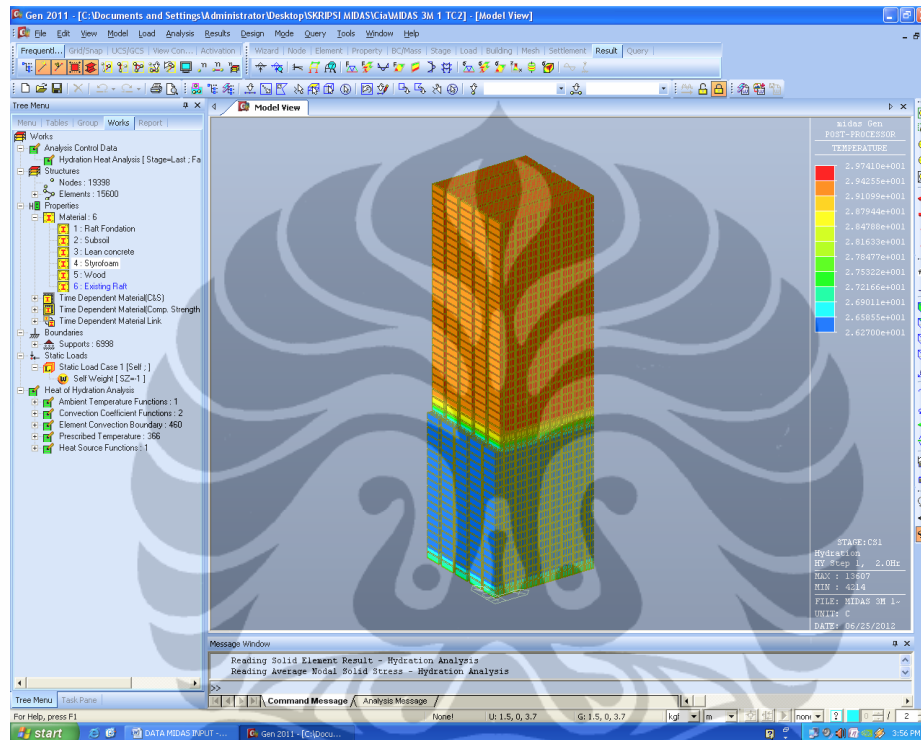
Tabel 4.8. Tabel Perbandingan Suhu Maksimum dengan Ketiga Permodelan

|                           | Time (hour) | TC 2 (°C) |        |        | TC 3 (°C) |        |        | TC 10 (°C) |        |        | TC 11 (°C) |        |        | TC 12 (°C) |        |        |
|---------------------------|-------------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
|                           |             | Top       | Middle | Bottom | Top       | Middle | Bottom | Top        | Middle | Bottom | Top        | Middle | Bottom | Top        | Middle | Bottom |
| Real                      | Max         | 46.68     | 58.21  | 27.33  | 44.68     | 55.68  | 27.33  | 57.00      | 66.75  | 27.33  | 64.31      | 72.54  | 55.47  | 55.32      | 60.90  | 47.31  |
|                           | hari ke     | 4         | 3      | 1      | 4         | 3      | 1      | 6          | 4      | 1      | 9          | 4      | 11     | 8          | 4      | 7      |
|                           | jam ke      | 88        | 56     | 2      | 80        | 50     | 2      | 144        | 80     | 2      | 216        | 96     | 264    | 192        | 96     | 168    |
| Penutupan tidak terlambat | Max         | 58.24     | 58.81  | 27.33  | 55.79     | 56.13  | 27.33  | 68.58      | 68.32  | 27.33  | 46.92      | 71.63  | 55.09  | 62.79      | 62.44  | 47.52  |
|                           | hari ke     | 3         | 3      | 1      | 3         | 3      | 1      | 4          | 4      | 1      | 2          | 4      | 8      | 5          | 5      | 8      |
|                           | jam ke      | 56        | 56     | 2      | 52        | 52     | 2      | 88         | 84     | 2      | 32         | 88     | 192    | 120        | 120    | 192    |
| Tanpa Insulator           | Max         | 43.87     | 58.25  | 27.33  | 43.18     | 55.75  | 27.33  | 45.92      | 66.41  | 27.33  | 46.92      | 71.63  | 55.09  | 43.78      | 60.29  | 47.23  |
|                           | hari ke     | 2         | 3      | 1      | 2         | 3      | 1      | 2          | 4      | 1      | 2          | 4      | 8      | 2          | 4      | 7      |
|                           | jam ke      | 26        | 54     | 2      | 26        | 50     | 2      | 30         | 76     | 2      | 32         | 88     | 192    | 38         | 88     | 168    |

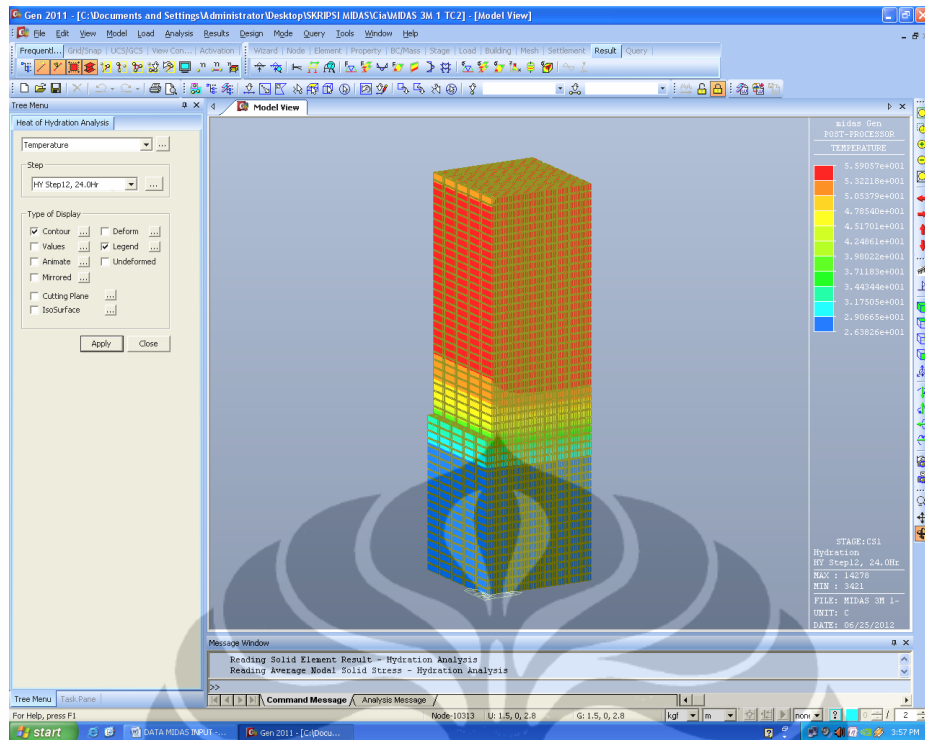
Sumber : (Olahan Sendiri)

#### 4.4.2 Permodelan Pondasi Parsial

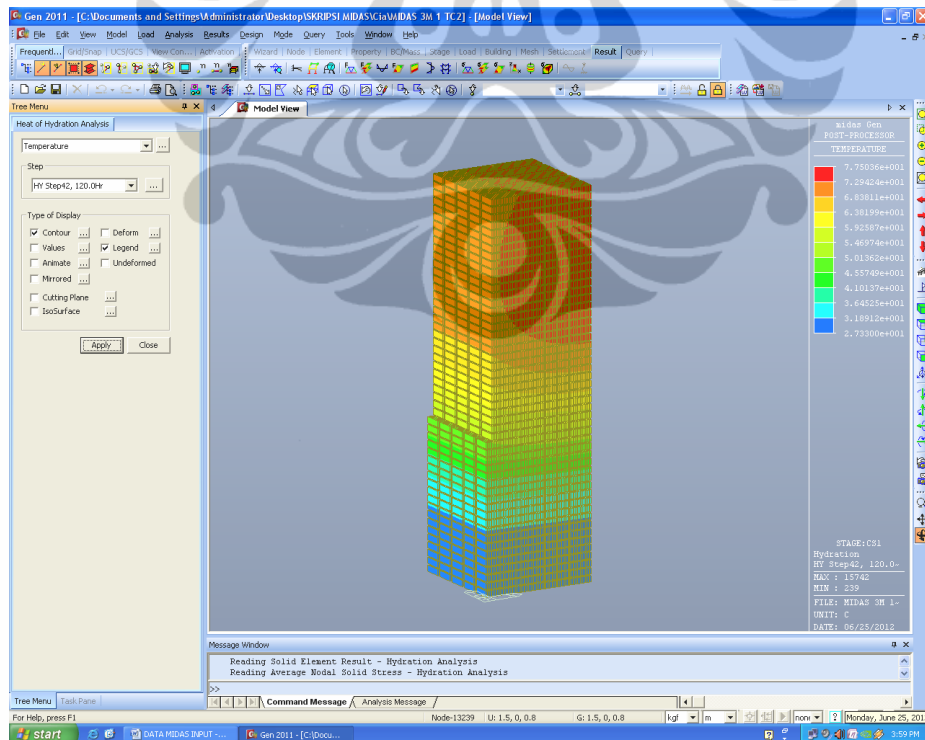
Permodelan pondasi secara parsial dilakukan dengan tujuan agar pembacaan titik dapat dilakukan secara lebih mendetail dengan cara melakukan *divide* material menjadi elemen yang sangat kecil. Permodelan pondasi parsial dilakukan hanya untuk *thermocouple* 2 dengan dimensi 1.5x1.5x5.2 m dan *thermocouple* 11 dengan dimensi 5.2x5.2x5.2 m.



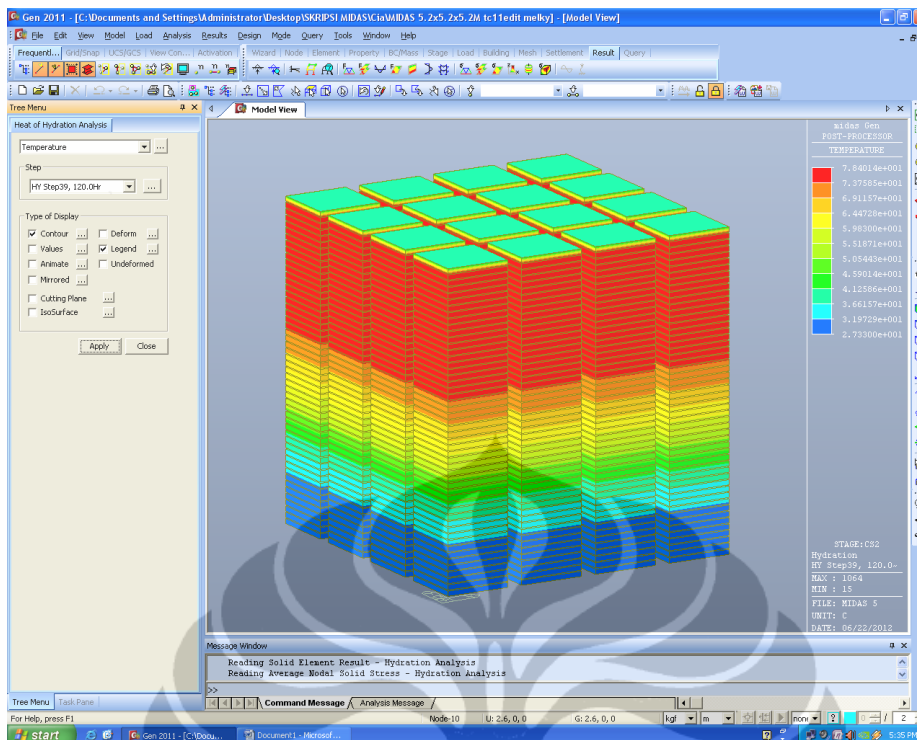
Gambar 4.25. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial  
*Thermocouple* 2  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.26. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial *Thermocouple 2* dalam satu hari setelah pengecoran  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.27. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial *Thermocouple 2* dalam 5 hari setelah pengecoran  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.28. Temperatur yang terjadi pada permodelan parsial *Thermocouple* 11 dalam 5 hari setelah pengecoran  
 Sumber : (Olahan Sendiri)

Hasil pembacaan temperatur maksimum dan grafik pembacaan untuk kedua permodelan parsial tertera pada kedua tabel di bawah :

Tabel 4.9. Hasil Permodelan Parsial *Thermocouple* 2

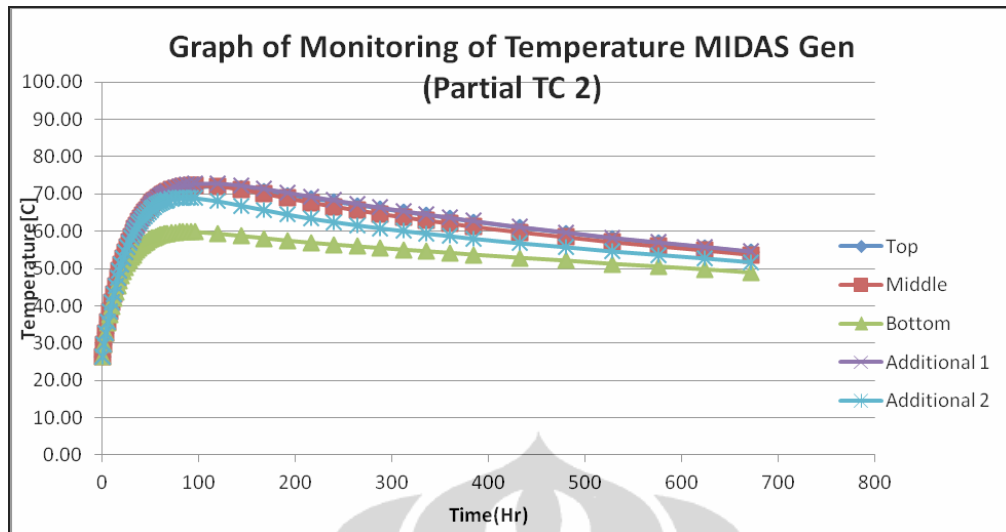
| TC 2 (°C)      |       |        |        |              |              |
|----------------|-------|--------|--------|--------------|--------------|
|                | Top   | Middle | Bottom | Additional 1 | Additional 2 |
| <b>max</b>     | 71.82 | 72.30  | 59.85  | 72.90        | 69.05        |
| <b>hari ke</b> | 5     | 4      | 4      | 5            | 4            |
| <b>jam ke</b>  | 120   | 96     | 84     | 120          | 84           |

Sumber : (Olahan Sendiri)

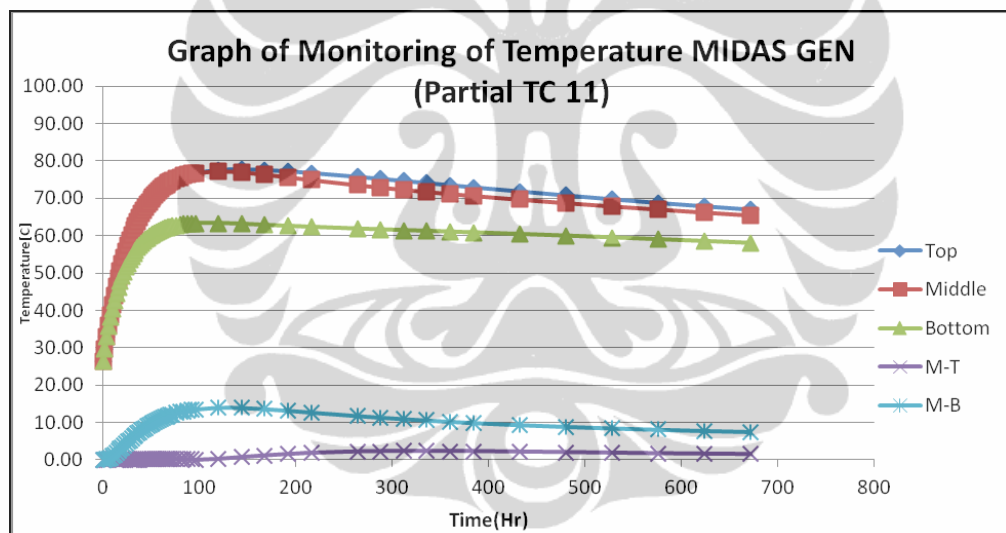
Tabel 4.10. Hasil Permodelan Parsial *Thermocouple* 11

| TC 11          |       |        |        |
|----------------|-------|--------|--------|
|                | Top   | Middle | Bottom |
| <b>max</b>     | 77.78 | 77.31  | 63.34  |
| <b>hari ke</b> | 6     | 5      | 5      |
| <b>jam ke</b>  | 144   | 120    | 120    |

Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.29. Grafik Pembacaan Temperatur Permodelan Parsial *Thermocouple 2*  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.30. Grafik Perbedaan Suhu Permodelan Parsial *Thermocouple 11*

Sumber : (Olahan Sendiri)

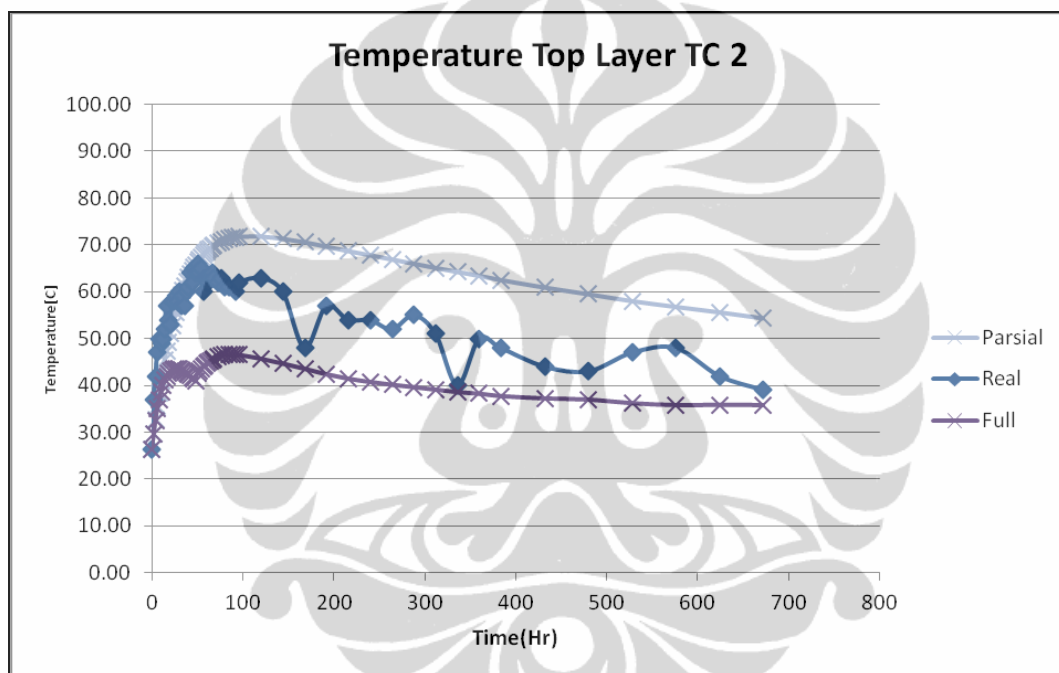
Permodelan parsial memberikan hasil pembacaan temperatur yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil yang didapat pada permodelan penuh *raft foundation*.



## 4.5 Analisa Perbandingan

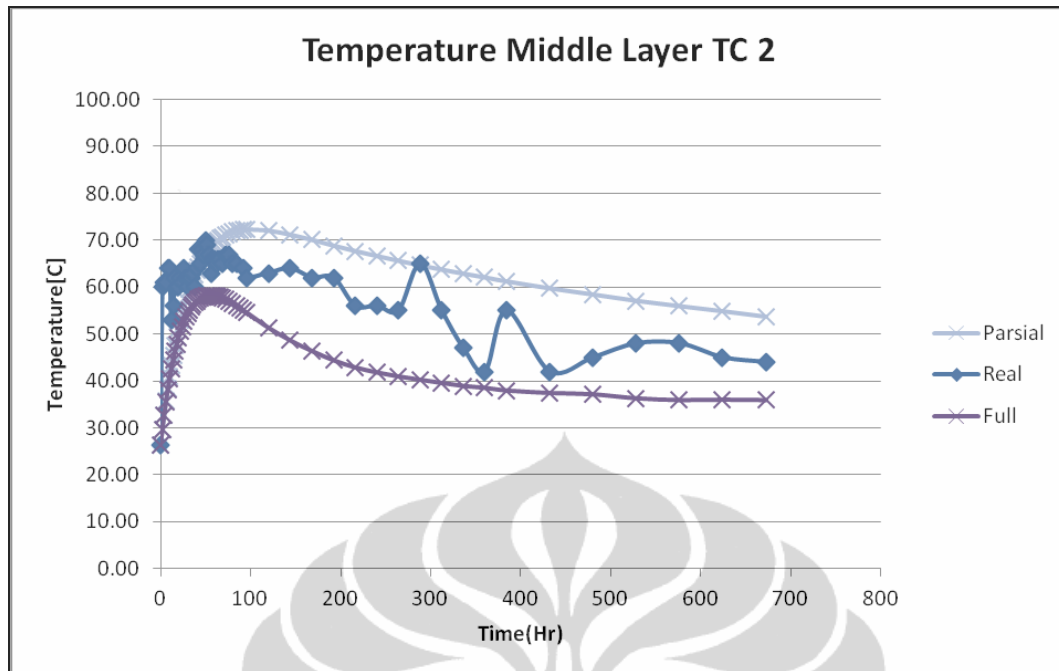
### 4.5.1 Perbandingan MIDAS Gen dengan Pembacaan Lapangan

Analisa yang dilakukan MIDAS Gen 2011 dengan memodelkan keseluruhan pondasi memberikan hasil temperatur untuk *thermocouple* titik 2 yang lebih rendah bila dibandingkan dengan pembacaan temperatur di lapangan. Namun bila melihat hasil pada permodelan yang dilakukan secara parsial untuk *thermocouple* 2, nampak temperatur yang terjadi lebih tinggi dari hasil pembacaan lapangan. Adapun grafik perbandingannya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Pembacaan Lapangan dengan MIDAS Gen  
*Thermocouple* 2 Lapisan Atas

Sumber : (Olahan Sendiri)

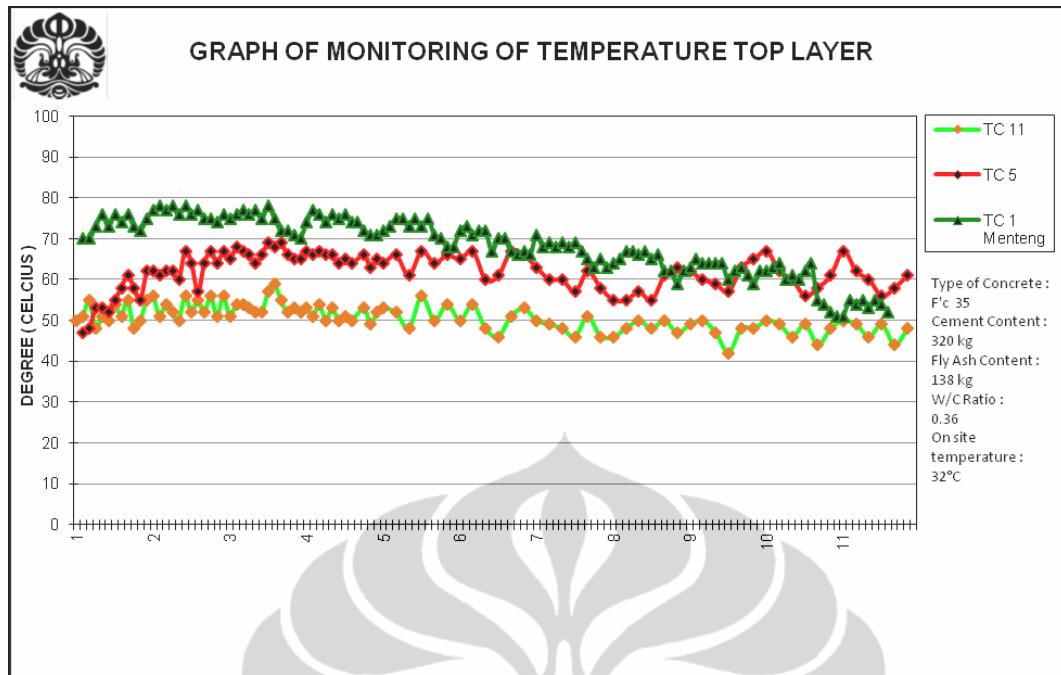


Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Pembacaan Lapangan dengan MIDAS Gen *Thermocouple* 2 Lapisan Tengah

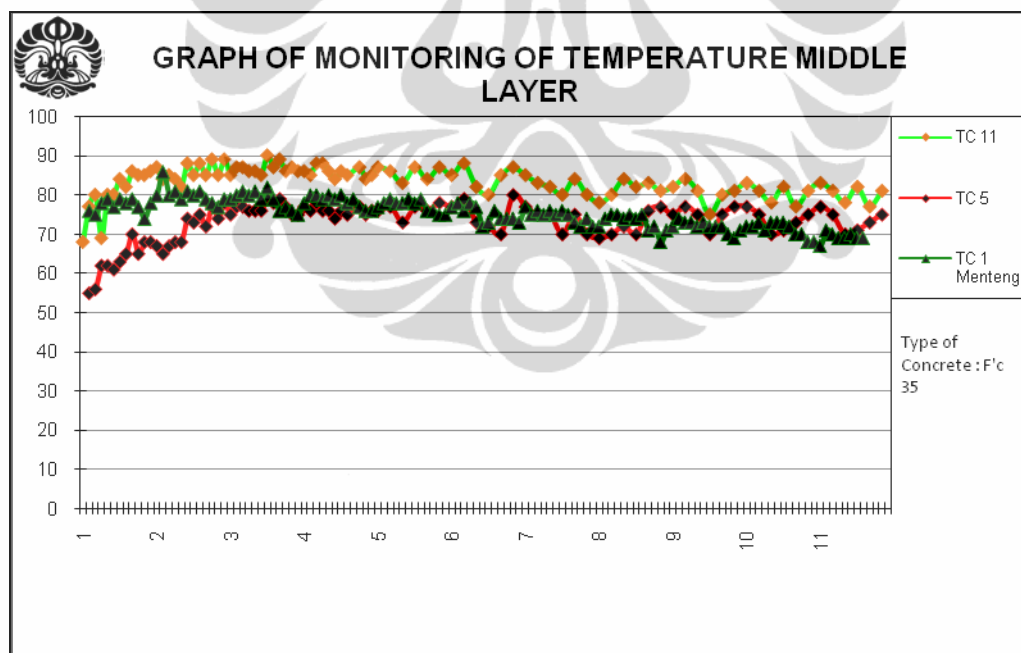
Sumber : (Olahan Sendiri)

#### 4.5.2 Perbandingan Ketebalan Pondasi

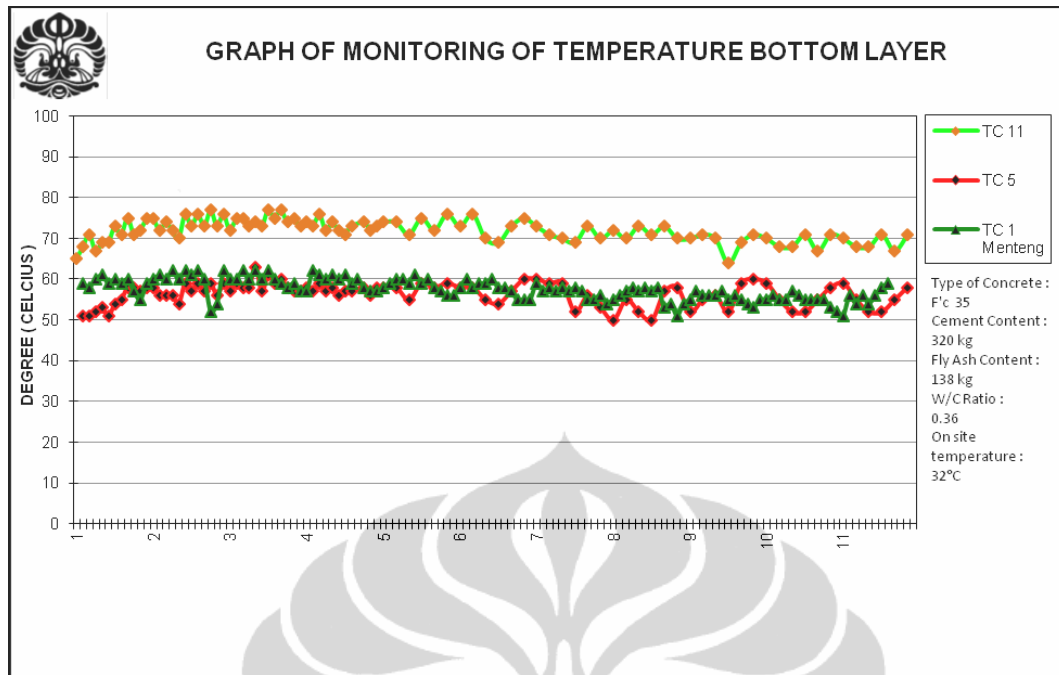
Berikut akan dilakukan peninjauan terhadap temperatur yang terjadi untuk ketebalan 3 meter (*thermocouple* 11 Rasuna Tower) dengan ketebalan 4 meter melalui penelitian yang dilakukan oleh Melky Suryawijaya (*thermocouple* 5 Rasuna Tower) dan ketebalan 2 meter (*thermocouple* 1 Menteng Residence) untuk mutu 35 MPa. Perbandingan suhu yang terjadi dapat dilihat pada grafik di bawah :



Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Atas Pada Ketebalan Berbeda  
 Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Tengah Pada Ketebalan Berbeda  
 Sumber : (Olahan Sendiri)



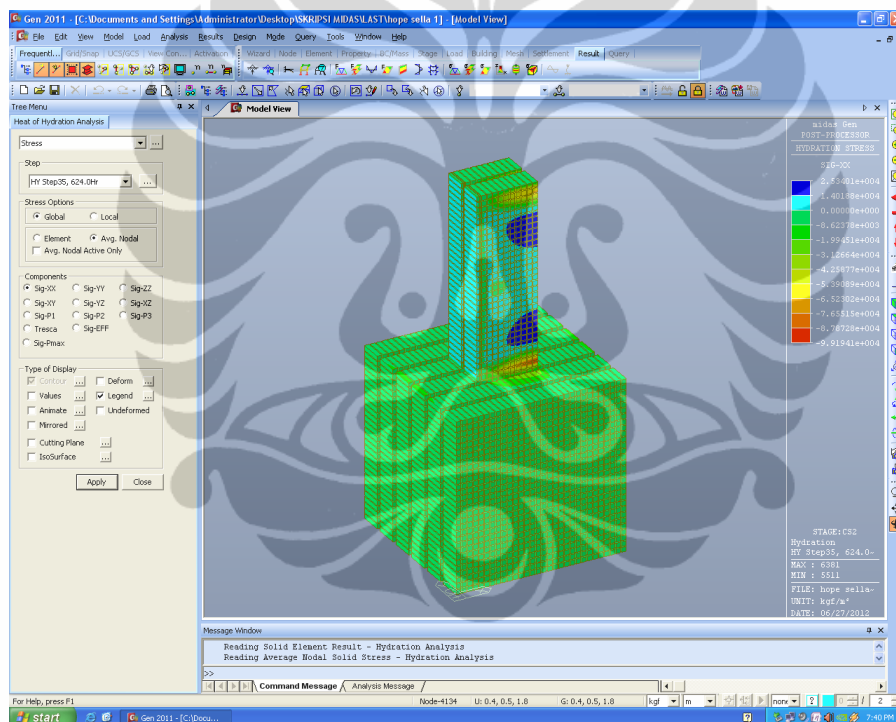
Gambar 4.35. Grafik Perbandingan Temperatur Lapisan Bawah Pada Ketebalan Berbeda

Sumber : (Olahan Sendiri)

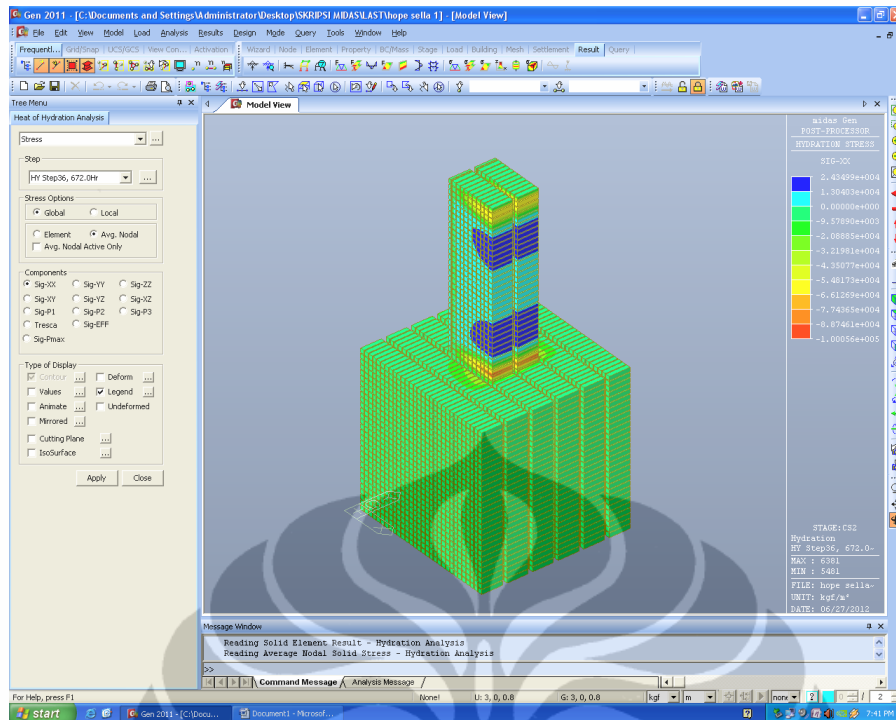
Pada grafik ini terlihat bahwa suhu tertinggi lapisan atas terjadi untuk *thermocouple* 1 Menteng Residence, sedangkan temperatur pada lapisan permukaan yang tertinggi terjadi pada *thermocouple* Menteng Residence. Sedangkan pada lapisan tengah dan bawah, temperatur tertinggi terjadi pada *thermocouple* 11 Rasuna Tower dengan perbedaan temperatur yang berkisar antara 10-15 °C. Pada temperatur awal lapisan permukaan, terlihat *thermocouple* Menteng Residence lebih tinggi daripada kedua *thermocouple* Rasuna Tower lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh *initial temperature* yang lebih tinggi di Menteng Residence. Kemudian pada grafik temperatur lapisan tengah dan lapisan bawah, terlihat bahwa temperatur Menteng Residence agak berimpit dengan temperatur *thermocouple* 5 Rasuna Tower meskipun *thermocouple* 5 memiliki ketebalan 4 meter, cukup jauh berbeda dengan *thermocouple* Menteng Residence (2.5 meter).

#### 4.6 Tegangan Tarik

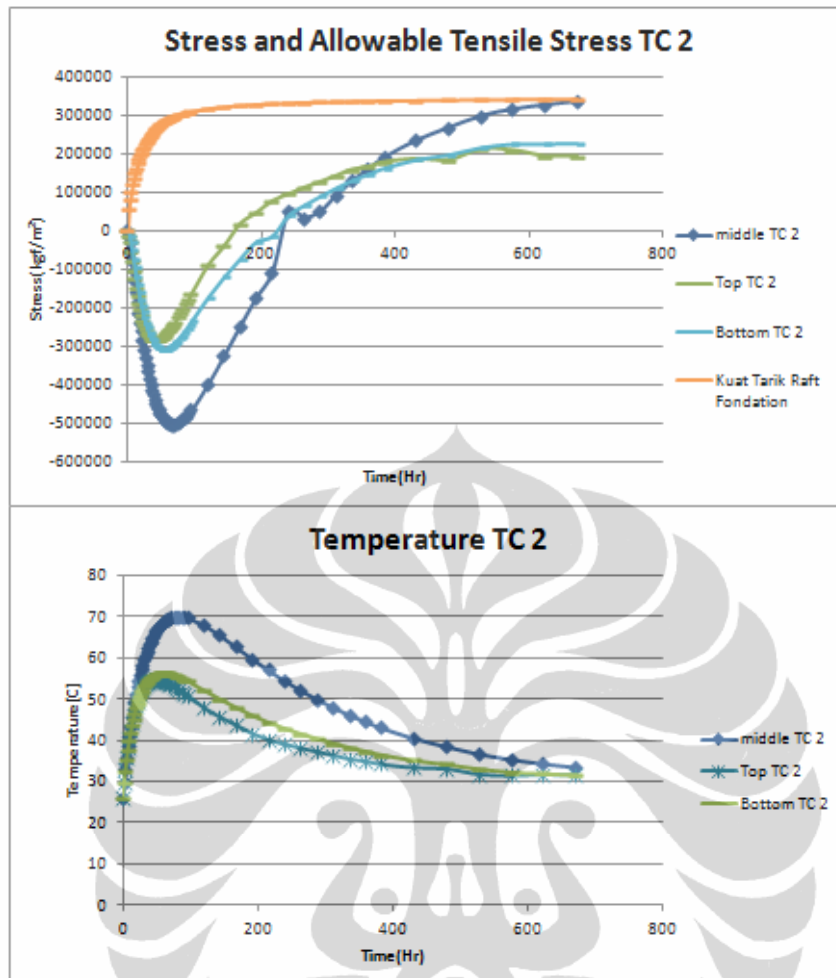
Tegangan tarik dianalisa dengan menggunakan program MIDAS Gen 2011. Tegangan yang terjadi merupakan hasil dari *heat transfer analysis* seperti distribusi temperatur pada nodal yang ditinjau dan perubahan material akibat rangkai, susut, dan lain-lain. Permodelan dilakukan dengan permodelan parsial dengan dimensi  $3 \text{ m}^3 + B$  (lapisan tanah dibuat lebih lebar sejauh B dari masing-masing sisi pondasi). Analisa struktur parsial dibatasi terhadap *boundary condition* yang diberikan terhadap struktur. Boundary yang diberikan meliputi *heat analysis* dan *thermal analysis*. Boundary diberikan terhadap subsoil dan kondisi simetri. Tegangan yang dianalisa berupa tegangan maksimum yang terjadi pada nodal arah X, Y dan Z.



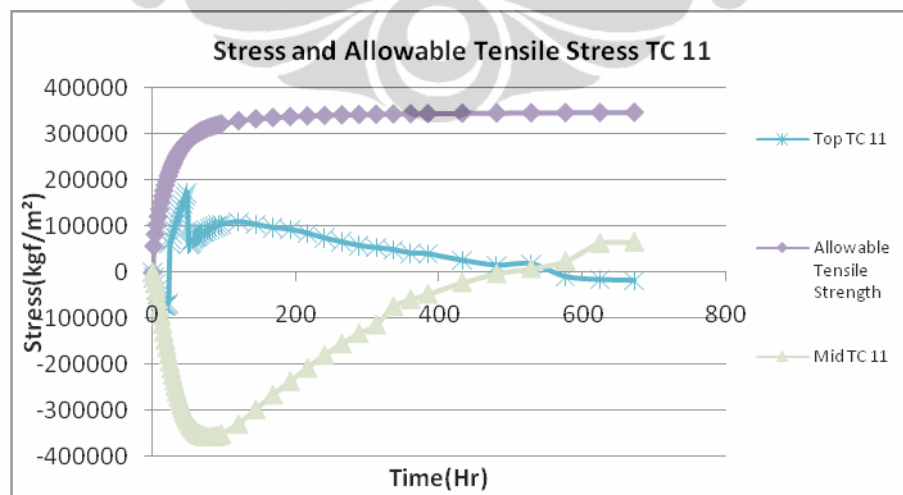
Gambar 4.36. Tegangan Pada Permodelan Parsial *Thermocouple 2* dalam 26 hari setelah pengecoran  
Sumber : (Olahan Sendiri)



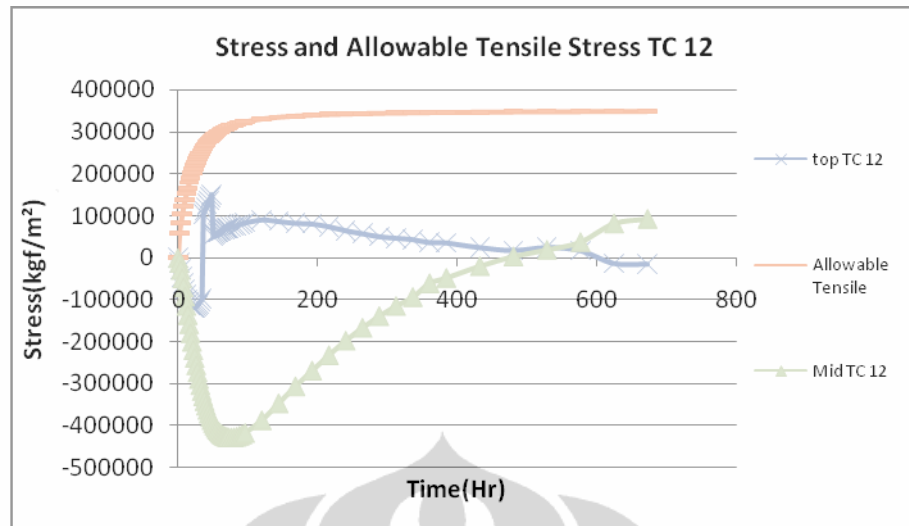
Gambar 4.37. Tegangan Pada Permodelan Parsial *Thermocouple* 2 dalam 28 hari setelah pengecoran  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.38. Analisa Tegangan MIDAS Gen *Thermocouple 2*  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.39. Analisa Tegangan MIDAS Gen *Thermocouple 11*  
Sumber : (Olahan Sendiri)



Gambar 4.40. Analisa Tegangan MIDAS Gen *Thermocouple 12*  
Sumber : (Olahan Sendiri)

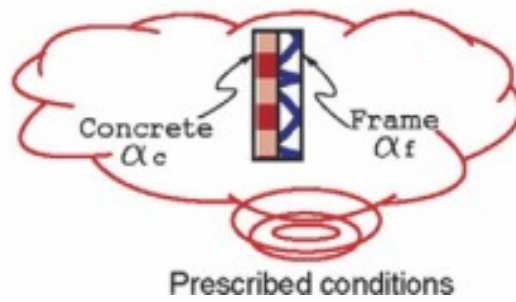
Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat tegangan yang terjadi beberapa saat setelah pengecoran merupakan tegangan tekan. Tegangan tekan pada nodal meningkat hingga mencapai temperatur maksimum dan menurun seiring dengan terjadinya penurunan temperatur dan secara berangsur angsur kemudian terjadi tegangan tarik. Tegangan tekan maksimum yang terjadi sebesar 5.03 MPa pada jam ke 70. Sedangkan *peak temperature* yang terjadi adalah sebesar 72.30 °C pada jam ke 96. Tegangan tarik yang terjadi tidak melebihi *allowable tensile strength*. Pada hari ke 28, *allowable tensile strength* bernilai 3.45 MPa dan kuat tarik yang terjadi bernilai 3.35 MPa. Untuk *thermocouple 11*, terlihat hampir serupa. Kuat tarik yang terjadi tidak melebihi *Allowable Tensile Strength*.

Perilaku tegangan dan temperatur di atas dapat disebabkan oleh :

- a. Pengaruh Thermal Expansion Coefficient dari frame

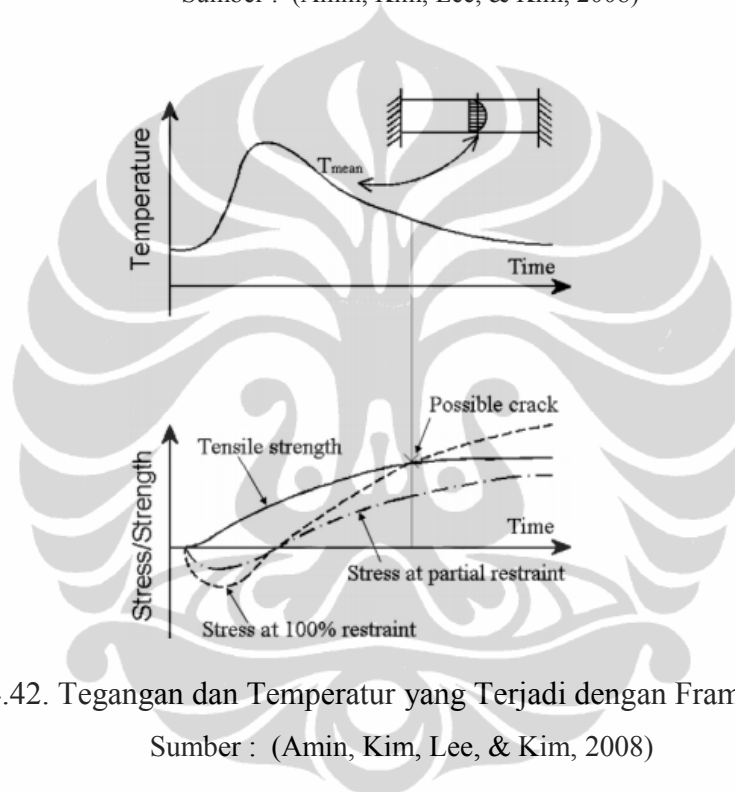
Muhammad Nasir Amin dan Kim Jin Keun dalam jurnalnya yang berjudul “Simulation of The Thermal Stress in Mass Concrete Using a Thermal Stress Measuring Device” mengatakan bahwa penggunaan *frame* atau lapisan insulasi dan formwork yang memiliki *thermal expansion coefficient* kurang dari *thermal expansion coefficient* beton, maka tegangan yang terjadi adalah tegangan tekan terlebih dahulu pada umur awal beton.





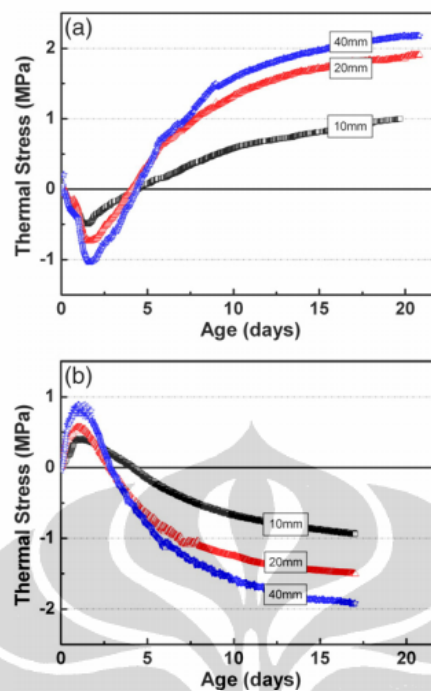
Gambar 4.41. Prescribed condition dan thermal coefficient antara beton dan frame

Sumber : (Amin, Kim, Lee, & Kim, 2008)



Gambar 4.42. Tegangan dan Temperatur yang Terjadi dengan Frame Invar

Sumber : (Amin, Kim, Lee, & Kim, 2008)



Gambar 4.43. Perbedaan Tegangan dengan frame invar (atas) dan zinc (bawah)  
 Sumber : (Amin, Kim, Lee, & Kim, 2008)

Berdasarkan hasil modelisasi beton massa dengan program MIDAS Gen 2011, dengan menggunakan *frame* berupa lapisan insulasi (*styrofoam-plastic sheet* setebal 10 cm) di permukaan dan *formwork* (multiplek setebal 2.5 cm dan styrofoam setebal 10 cm) dengan *thermal expansion coefficient* dari *frame* ( $\alpha$ ) < *thermal expansion coefficient* beton ( $\alpha_c = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ). Sehingga tegangan yang terjadi di umur awal beton adalah tekan.

#### 4.7 Perbandingan *Initial* dan *Peak Temperatur* dengan Variasi Kandungan *Fly Ash*

Perbandingan *initial temperature* dan *peak temperature* yang terjadi pada *mix design* dengan kandungan *fly ash* yang berbeda. Perhitungan *initial temperature* dilakukan pada *raft fondation* Rasuna Tower dan Menteng Residence dengan data-data sebagai berikut :

Tabel 4.11. Mix Desain Rasuna Tower dan Menteng Residence

| Description                                 | Remark       |                   |
|---|--------------|-------------------|
|   | Rasuna Tower | Menteng Residence |
| Type of Concrete (MPa)                      | f'c 35       | f'c 35            |
| Supplier                                    | Pionirbeton  | Pionirbeton       |
| Slump                                       | 14. ± 2      | 13. ± 1           |
| Cement Type                                 | OPC + FA     | OPC + FA          |
| Specified Strength (MPa)                    | 35           | 35                |
| Target Strength at 28 days (Cylinder) (MPa) | 35           | 35                |
| Cement content (kg)                         | 320          | 374               |
| <b>Fly Ash content (kg)</b>                 | <b>138</b>   | <b>66</b>         |
| Free Water content (kg)                     | 165          | 185               |
| Coarse Agg. Max 25mm (kg)                   | 1,050        | 1050              |
| Coarse Agg. Max 12.5mm (kg)                 | 0            | 0                 |
| Fine Aggregate (kg)                         | 420          | 390               |
| M. Sand (kg)                                | 220          | 250               |
| Admixture: Retarder (lt)                    | 0,78         | 1.01              |
| Admixture: Super Plasticizer (lt)           | 2,0          |                   |
| <b>Fly Ash Content (%)</b>                  | <b>30%</b>   | <b>15%</b>        |
| W/C Ratio                                   | 0.36         | 0.42              |
| On site temperature (°C)                    | ± 32         | ± 38              |
| Peak temperature (°C)                       | 80 - 85      | 80 - 85           |
| Ice block (kg/m³)                           | 50           | 50                |

Sumber : (Pionir Beton, telah diolah kembali)

Perhitungan *Peak Temperature* tanpa menggunakan *pre-cooling* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_i = \frac{0.22 (T_a \cdot W_a + T_c \cdot W_c + T_{fa} \cdot W_{fa}) + T_w \cdot W_w + T_{wa} \cdot W_{wa}}{0.22 (W_a + W_c + W_{fa}) + W_w + W_{wa}}$$

dimana,

Tabel 4.12. Data Suhu dan Massa Agregat Tanpa Pre-cooling

| Before Pre-cooling |   | Rasuna | Menteng | Satuan |
|--------------------|---|--------|---------|--------|
| $T_i$              | : <i>Initial Concrete Temperature</i>   |        |         |        |
| $T_a$              | : <i>Aggregate Temperature</i>          | 32     | 32      | °C     |
| $T_c$              | : <i>Cement Temperature</i>             | 80     | 80      | °C     |
| $T_{fa}$           | : <i>Fly Ash Temperature</i>            | 45     | 45      | °C     |
| $T_w$              | : <i>Water Temperature</i>              | 30     | 30      | °C     |
| $T_{wa}$           | : <i>Water in Aggregate Temperature</i> | 31     | 31      | °C     |
| $W_a$              | : <i>Mass of Aggregate</i>              | 1,690  | 1,690   | kg     |
| $W_c$              | : <i>Mass of Cement</i>                 | 320    | 374     | kg     |
| $W_{fa}$           | : <i>Mass of Fly Ash</i>                | 138    | 66      | kg     |
| $W_w$              | : <i>Mass of Water</i>                  | 165    | 168     | kg     |
| $W_{wa}$           | : <i>Mass of Water in Aggregate</i>     | 16     | 17      | kg     |

Sumber : (Pionir Beton, telah diolah kembali)

dan

$$T_{max} = T_i + 12 \left( \frac{W_c}{100} \right) + 6 \left( \frac{W_{scm}}{100} \right)$$

dimana,

Tabel 4.13. Initial Temperature tanpa Pre-cooling

| Prediksi Temperatur Puncak ( $T_{max}$ ) Before Precooling |                     | Rasuna | Menteng |
|--|---------------------|--------|---------|
| $T_i$  | : Temp awal beton   | 38     | 38      |
| $W_c$  | : Kandungan semen   | 320    | 374     |
| $W_{fa}$   | : Kandungan fly ash | 138    | 66      |

Sumber : (Olahan Sendiri)

Sedangkan bila dilakukan *pre-cooling*, *peak temperature* dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_i = \frac{0.22 (T_a \cdot W_a + T_c \cdot W_c + T_{fa} \cdot W_{fa}) + T_w \cdot W_w + T_{wa} \cdot W_{wa} - 112W_i}{0.22 (W_a + W_c + W_{fa}) + W_w + W_{wa} + W_i}$$

dimana,

Tabel 4.14. Data Suhu dan Massa Agregat dengan Pre-cooling

| Pre-cooling |   | Rasuna | Menteng | Satuan |
|-------------|---|--------|---------|--------|
| $T_i$       | : <i>Initial Concrete Temperature</i>   |        |         |        |
| $T_a$       | : <i>Aggregate Temperature</i>          | 32     | 32      | °C     |
| $T_c$       | : <i>Cement Temperature</i>             | 80     | 80      | °C     |
| $T_{fa}$    | : <i>Fly Ash Temperature</i>            | 45     | 45      | °C     |
| $T_w$       | : <i>Water Temperature</i>              | 30     | 30      | °C     |
| $T_{wa}$    | : <i>Water in Aggregate Temperature</i> | 31     | 31      | °C     |
| $W_a$       | : <i>Mass of Aggregate</i>              | 1,690  | 1,690   | kg     |
| $W_c$       | : <i>Mass of Cement</i>                 | 320    | 374     | kg     |
| $W_{fa}$    | : <i>Mass of Fly Ash</i>                | 138    | 66      | kg     |
| $W_w$       | : <i>Mass of Water</i>                  | 115    | 118     | kg     |
| $W_{wa}$    | : <i>Mass of Water in Aggregate</i>     | 16     | 17      | kg     |
| $W_i$       | : <i>Mass of Ice</i>                    | 50     | 50      | kg     |

Sumber : (Pionir Beton, telah diolah kembali)

dan

$$T_{max} = T_i + 12 \left( \frac{W_c}{100} \right) + 6 \left( \frac{W_{scm}}{100} \right)$$

dimana,

Tabel 4.15. Initial Temperature dengan Pre-cooling

| Prediksi Temperatur Puncak ( $T_{max}$ ) After Precooling |                     | Rasuna | Menteng |
|---|---------------------|--------|---------|
| $T_i$   | : Temp awal beton   | 27     | 27      |
| $W_c$   | : Kandungan semen   | 320    | 374     |
| $W_{fa}$  | : Kandungan fly ash | 138    | 66      |

Sumber : (Olahan Sendiri)

Sehingga didapatkan nilai *initial temperature* dan temperatur maksimum untuk Rasuna Tower maupun Menteng Residence sebagai berikut :

Tabel 4.16. Perbandingan Penggunaan *Fly Ash* dan *Pre-cooling* pada *Raft Foundation* Rasuna Tower dan Menteng Residence

| Prediksi Metode PCA                 |                   | Rasuna Tower<br>(° C) | Menteng Residence<br>(° C) |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| Sebelum Precooling<br>(Crushed Ice) | T <sub>i</sub>    | 38                    | 38                         |
|                                     | T <sub>maks</sub> | 85                    | 87                         |
| Setelah Precooling<br>(Crushed Ice) | T <sub>i</sub>    | 27                    | 27                         |
|                                     | T <sub>maks</sub> | 74                    | 76                         |

Sumber : (Olahan Sendiri)

Menurut metode PCA, jumlah penggunaan *fly ash* dapat mempengaruhi temperatur maksimum yang terjadi pada beton massa. Sebagai contoh pada komposisi *raft foundation* Rasuna Tower yang menggunakan kandungan *fly ash* hampir dua kali lebih banyak dari komposisi yang digunakan pada Menteng Residence akan memberikan nilai temperatur maksimum yang sedikit lebih rendah dari perhitungan temperatur maksimum Menteng Residence. Menurut ASTM C-618 *fly ash* tipe F dengan persentase 15%-25% dari total *binder* dapat mereduksi panas hidrasi beton hingga 50% dari semen biasa dan *fly ash* tipe C dengan persentase 25%-35% dari total *binder* dapat mereduksi panas hidrasi hingga 20%.

Namun dengan melihat *peak temperature* yang terjadi pada Rasuna Tower dan Menteng Residence yang memberikan selisih hanya 2 °C, dapat dikatakan *fly ash* bukan faktor utama yang mempengaruhi temperatur beton massa.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, kesimpulan yang didapatkan adalah :

- Temperatur maksimum yang terjadi pada pembacaan lapangan secara berturut-turut untuk masing-masing *thermocouple* yang ditinjau adalah 70 °C (*thermocouple* 2), 62 °C (*thermocouple* 3), 68 °C (*thermocouple* 10), 90 °C (*thermocouple* 11) dan 80 °C (*thermocouple* 12). Temperatur puncak terjadi pada 2-4 hari awal setelah pengecoran selesai.
- Ketebalan *raft fondation* tidak mempengaruhi *peak temperature* yang terjadi. Temperatur puncak dipengaruhi oleh *initial temperature* dan *mix design*. *Mix design* dengan komposisi semen yang tinggi dan *fly ash* yang rendah akan menghasilkan nilai temperatur maksimum yang lebih tinggi. Sebaliknya, *mix design* dengan komposisi semen yang lebih rendah dan *fly ash* yang tinggi dapat menghasilkan temperatur maksimum yang lebih rendah.
- Tegangan yang terjadi merupakan hasil dari distribusi temperatur yang terjadi pada nodal yang ditinjau dan perubahan material akibat temperatur, susut dan rangkai.
- Tegangan tertinggi *thermocouple* 2 terjadi pada lapisan tengah.
- *Peak temperature* yang terjadi pada *thermocouple* 11 yang terjadi sebesar 90 °C yang terjadi pada hari keempat, sedangkan *peak temperature* yang terjadi pada *thermocouple* Menteng Residence yang ditinjau sebesar 86 °C yang terjadi pada hari kedua setelah pengecoran. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh kedalaman bukan faktor yang utama terhadap terjadinya *peak temperature*. Faktor kedalaman hanya mempengaruhi seberapa cepat panas dilepaskan.
- Lapisan insulasi memberikan pengaruh besar terhadap temperatur permukaan yang terjadi. Lapisan insulasi menghambat panas permukaan terlepas dengan mudah ke udara dan mencegah terjadinya pengaruh *ambient*

terhadap temperatur permukaan. Lapisan insulasi dengan *thermal expansion coefficient* yang lebih kecil dari nilai *thermal expansion coefficient* beton menyebabkan tegangan awal yang terjadi berupa tegangan tekan.

- Keretakan pada beton terjadi akibat perbedaan *strain* maksimum melebihi yang diperbolehkan. *Strain* terjadi karena adanya tegangan yang timbul akibat perbedaan temperatur antar lapisan beton.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, dapat dikemukakan beberapa saran antara lain :

- *Mix design* yang akan digunakan harus diperhatikan dengan baik untuk dapat meminimalisasi *initial temperature* yang terjadi. Selain itu, metode pengontrolan suhu harus direncanakan dengan matang untuk menghindari pelepasan panas yang berlebihan
- Metode untuk meminimalisasi peningkatan temperatur yang disebabkan oleh hidrasi semen pada dimensi yang besar adalah :
  - a. Menggunakan low heat cement
  - b. Menggunakan rasio w/c yang rendah
  - c. Menggunakan SCM sehingga dapat mengurangi jumlah semen (contoh *fly ash*)
  - d. Menggunakan es atau air dingin sebagai *pre-cooling* untuk memperkecil nilai *initial concrete temperature*.
- Pembacaan suhu dapat dilakukan lebih mendetail dengan menggunakan sistem pembacaan suhu yang sudah terkomputerisasi.
- Pengukuran suhu dan tegangan manual dapat dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan alat *thermostrain*.
- Permodelan dengan menggunakan program MIDAS Gen harus memperhatikan benar *boundary condition* dan data material yang digunakan pada analisa panas hidrasi.
- Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengetahui lebih detail mengenai seberapa besar lapisan insulator dan *formwork* yang digunakan untuk



menghambat pelepasan panas pada area yang berbatasan dekat dengan lapisan tersebut.

- Pada kondisi iklim di Indonesia, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai batasan *strain* maksimum yang diperbolehkan untuk mencegah keretakan pada beton.



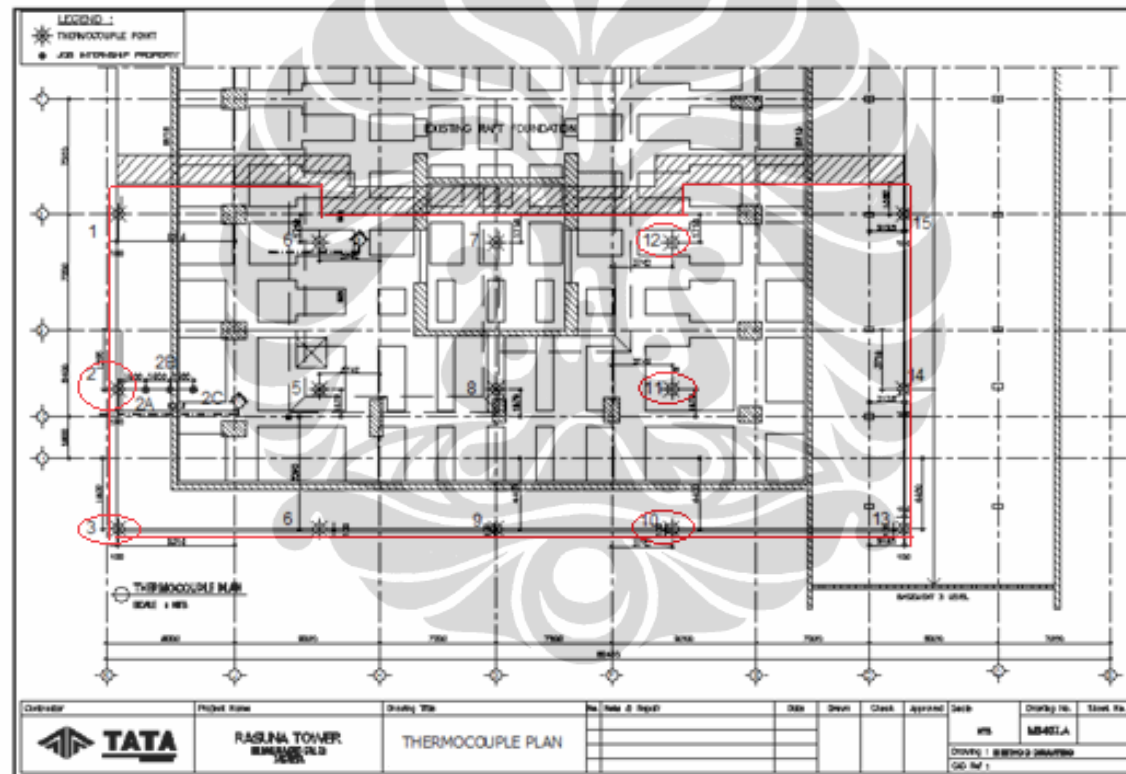
## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 207. (2002). Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete. *ACI 207.2R-95*.
- ACI Committee 207. (1996). Mass Concrete. *ACI 207.1R-96*.
- ACI Committee 209. (1997). Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures. *ACI 209R-92*.
- Amin, M. N., Kim, J. S., Kim, J. K., & Lee, Yun. (2008). Simulation of The Thermal Stress in Mass Concrete Using a Thermal Stress Measuring Device. *Departement of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)*.
- Ardiaz Kanil Nuryadin. (2007). Analisa Panas Hidrasi Pada Pondasi Bored Pile Di Laut Menggunakan Software MIDAS Pada Proyek Jembatan Suramadu.
- Bamforth, P. (1982). Concreting large-volume (mass) pours. In J. Newman, & B. S. Choo, *Advanced Concrete Technology*. ELSEVIER.
- Ir. Nono Dritanti. (1994). Evaluasi Kenaikan Temperatur Pada Struktur Beton Massa. *FTUI*.
- Kyle, Riding A.; Poole, Jonathan L; Schindler, Anton K; Juenger, Maria C.G.; Folliard, Kevin J. (2006). Evaluation of Temperature Prediction Methods for Mass Concrete Members. *ACI MATERIALS JOURNAL TECHNICAL PAPER*
- Newman, John; Ban Seng Choo. (2003). *Advanced Concrete Technology Processes*. ELSEVIER.
- Nuryadin, A. K. (2007). *Analisa Panas Hidrasi Pada Pondasi Bored Pile Di Laut Menggunakan Software MIDAS Pada Proyek Jembatan Suramadu*.
- Suryawijaya, Melky. (2012). Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa Pada Kedalaman 4 Meter.
- Sr. Rinker M.E. (2005). Adiabatic Temperature Rise of Mass Concrete in Florida. *Final Report Submitted to Florida Departement of Transportation*.
- U.S. Departement of The Interior. (1981). *US. Bureau of Reclamation*. Denver.

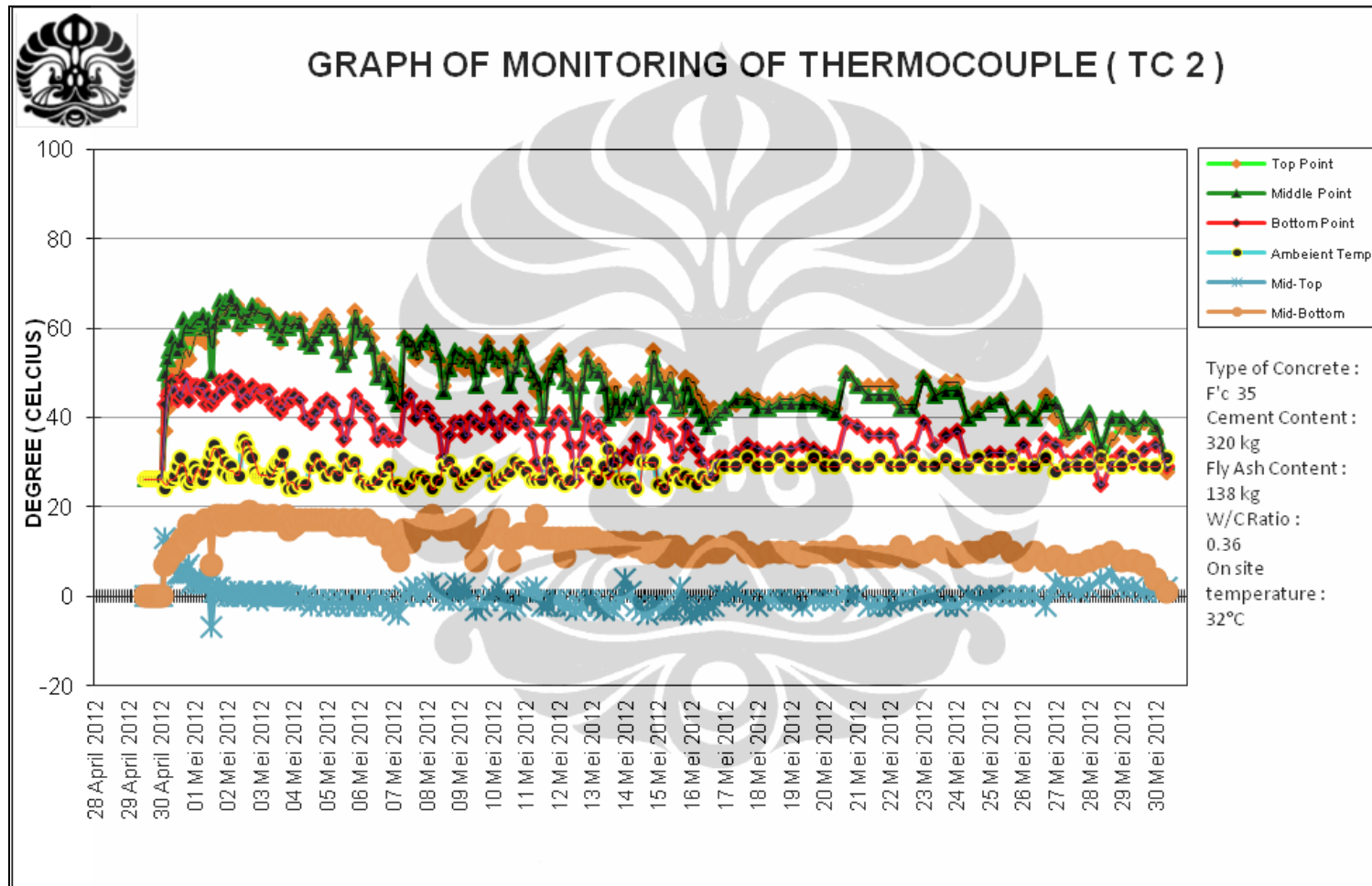
## LAMPIRAN

### Lampiran A. Hasil Pembacaan Lapangan

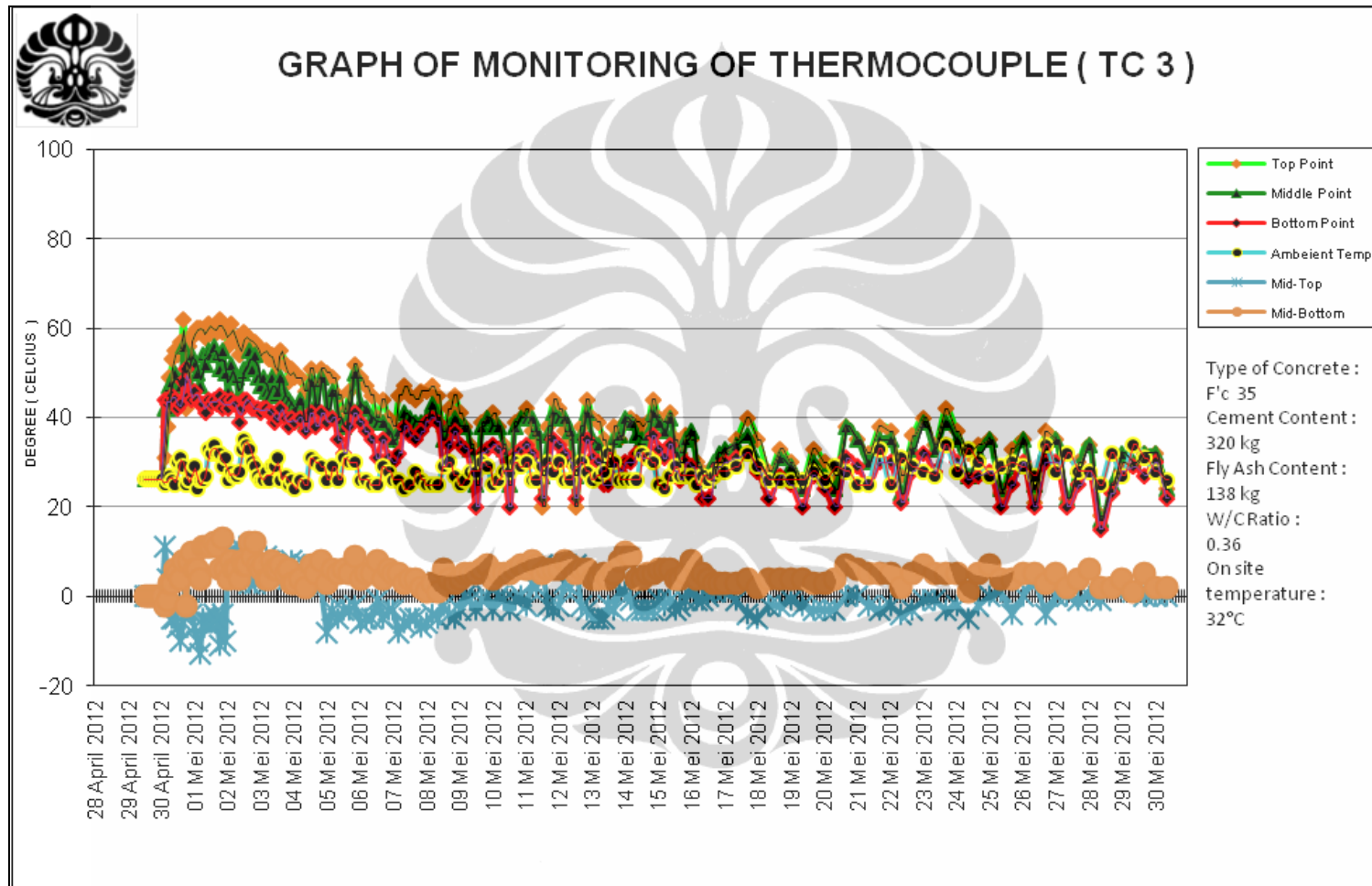
- Titik *thermocouple* yang ditinjau



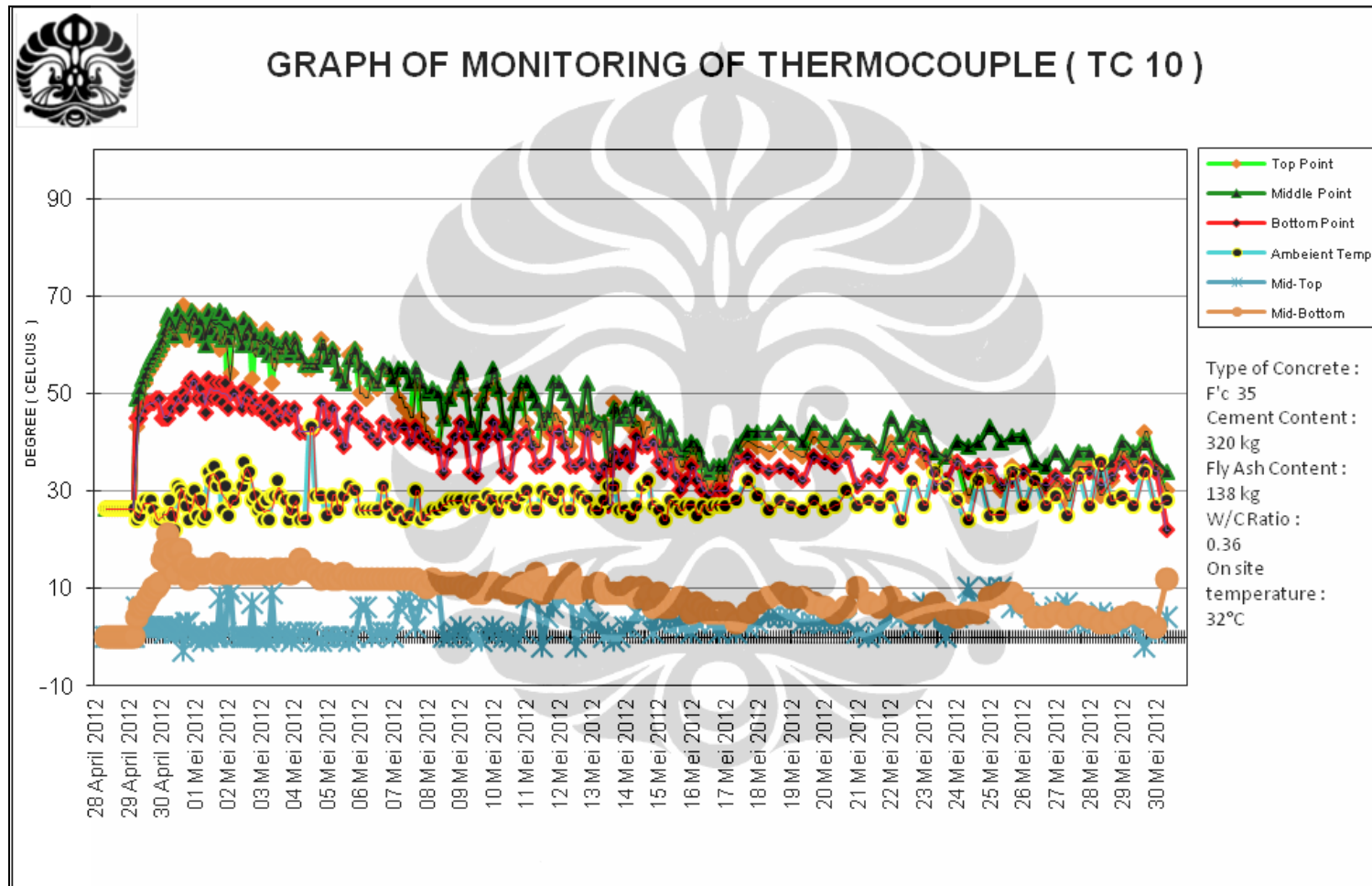
- Grafik *thermocouple 2*



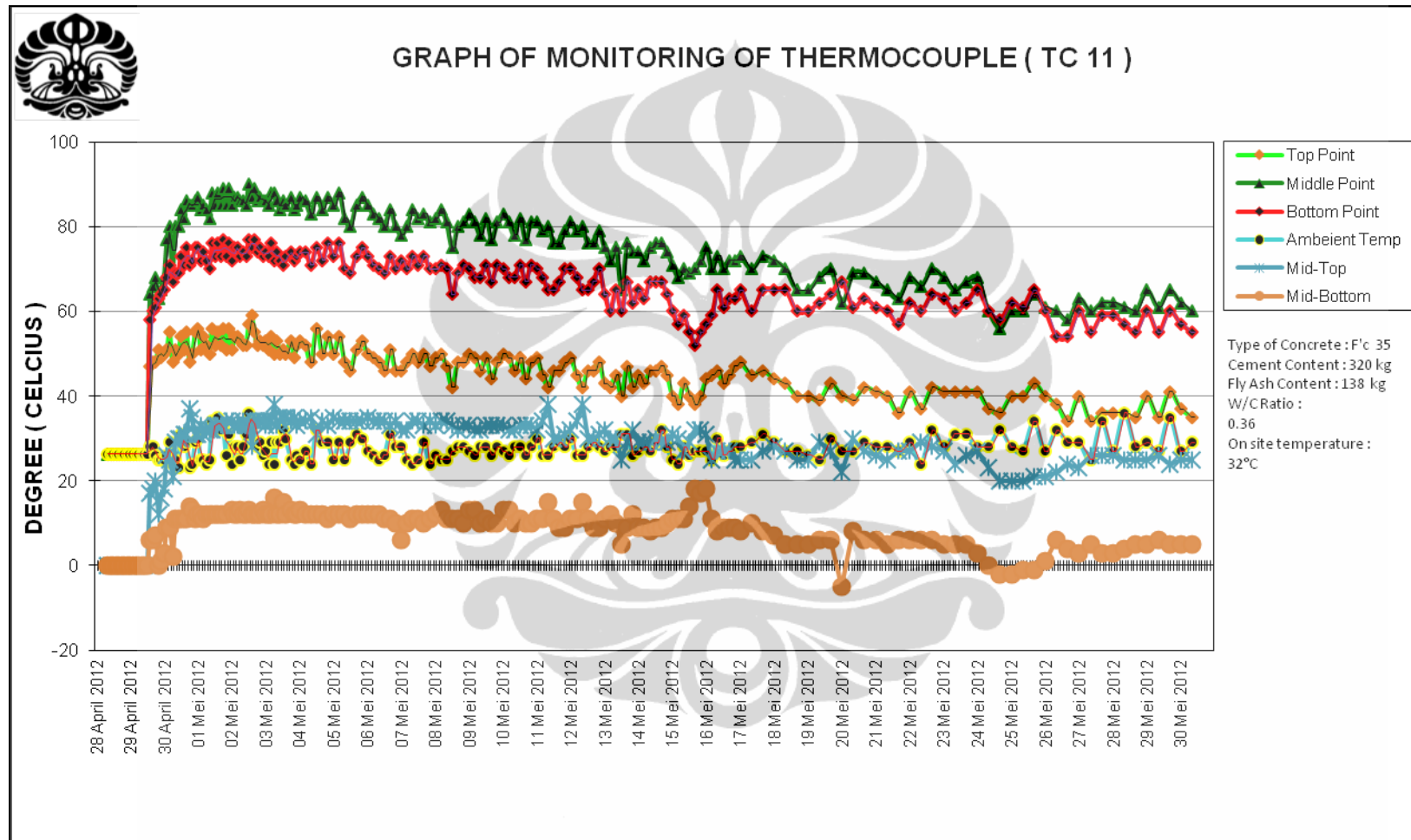
- Grafik *thermocouple* 3



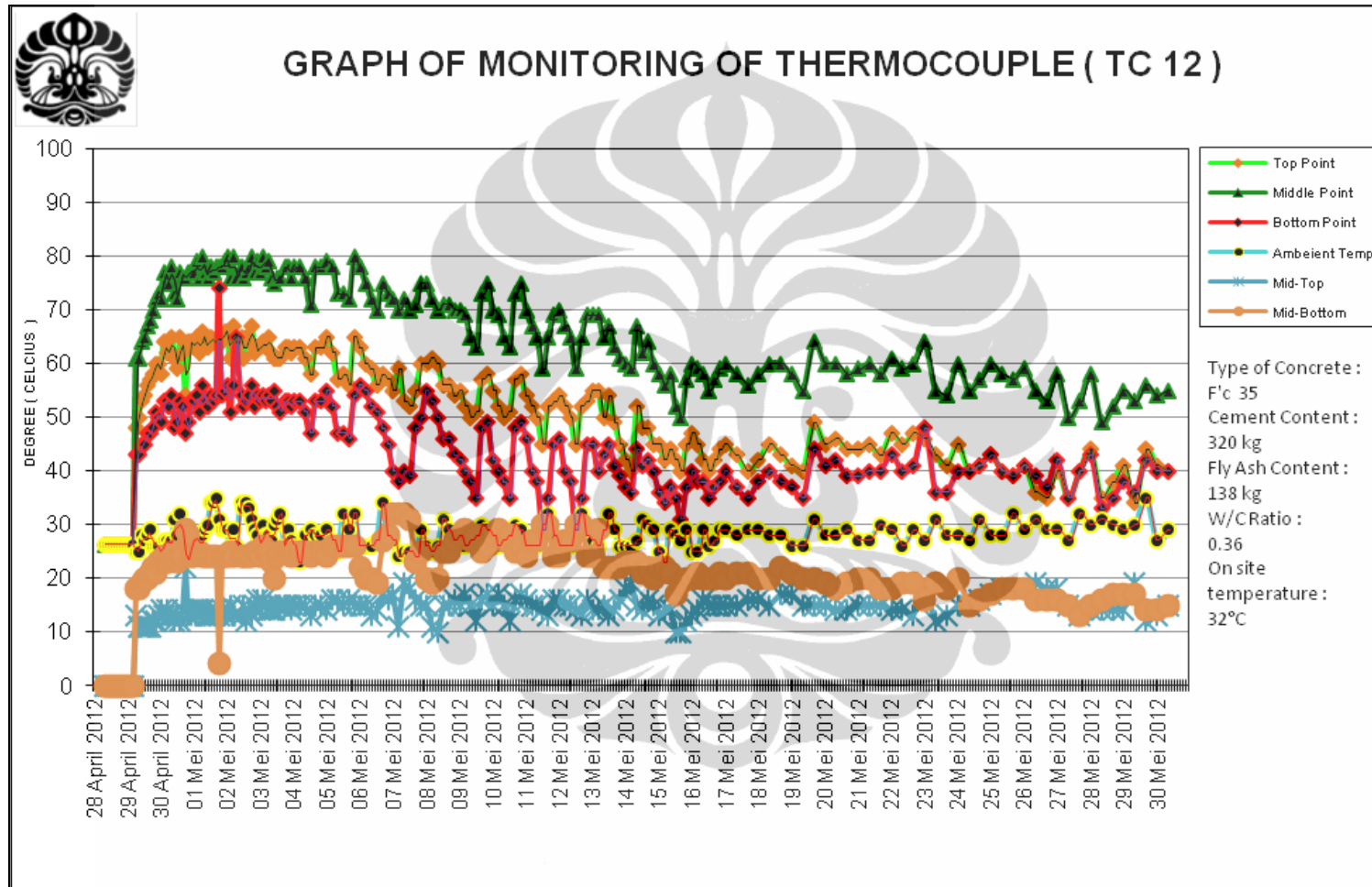
- Grafik *thermocouple* 10



- Grafik *thermocouple* 11

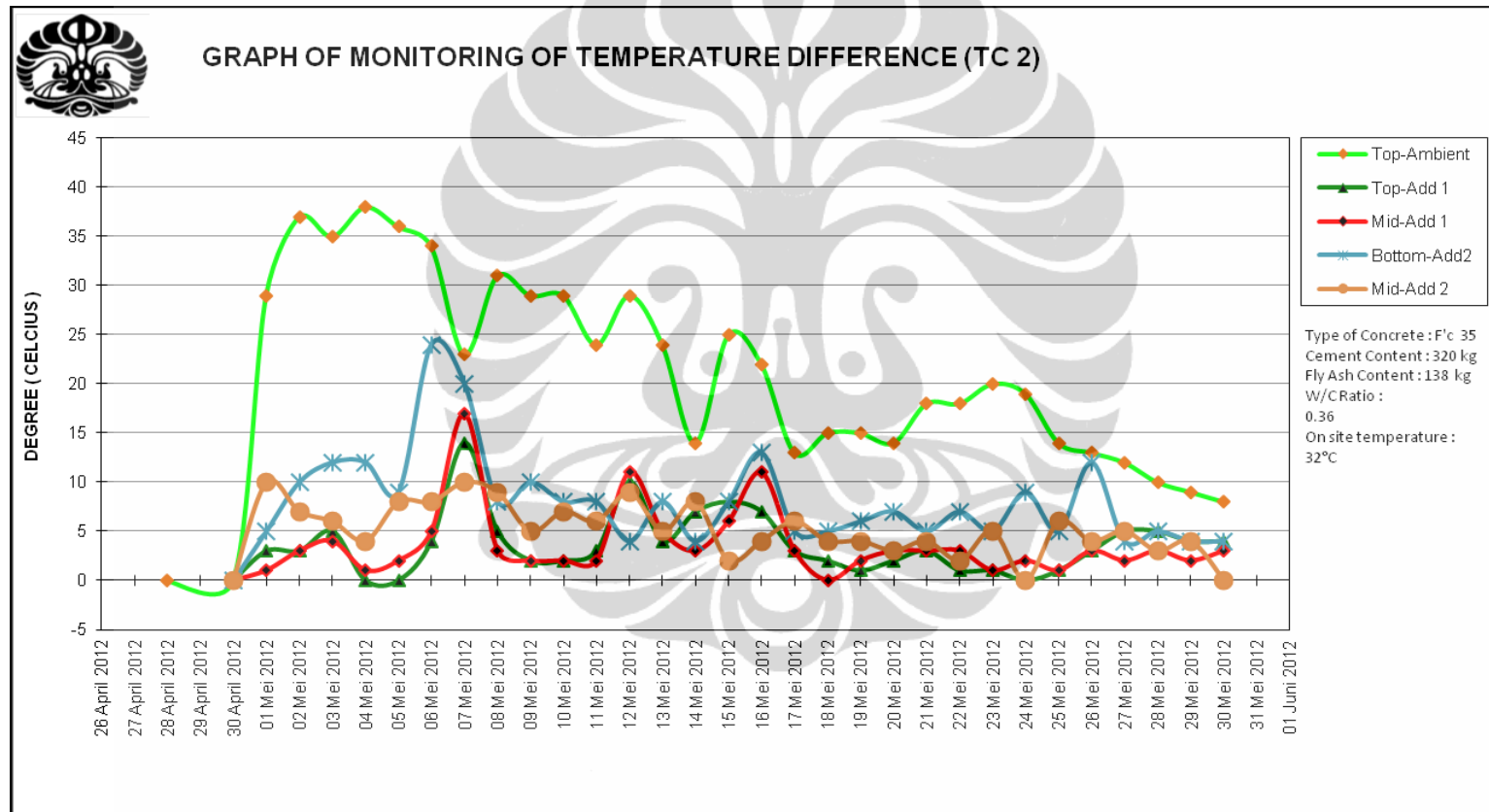


- Grafik *thermocouple* 12



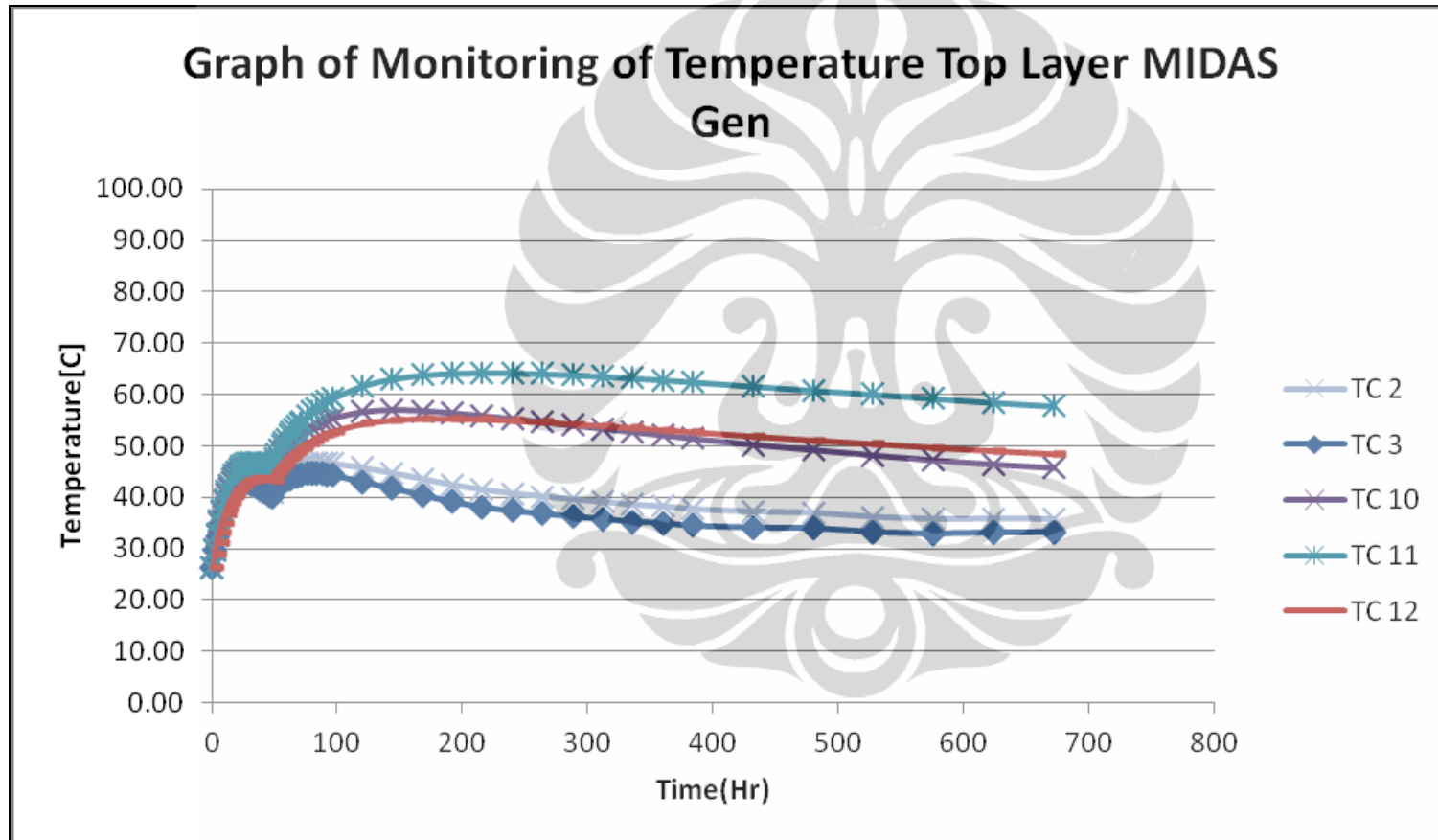


- Grafik perbedaan temperatur pada *thermocouple 2*

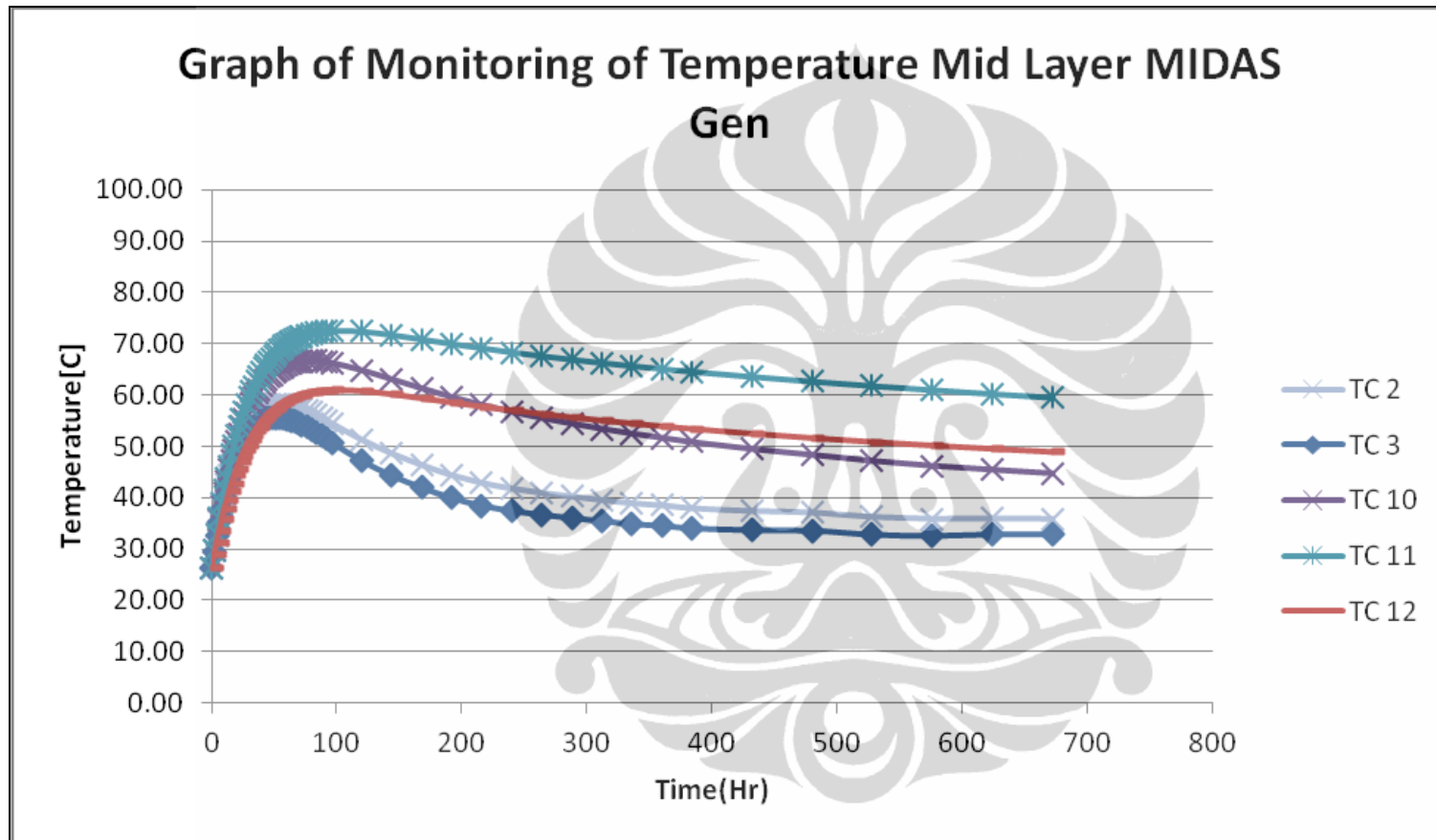


### Lampiran B. Hasil Analisa MIDAS Gen 2011

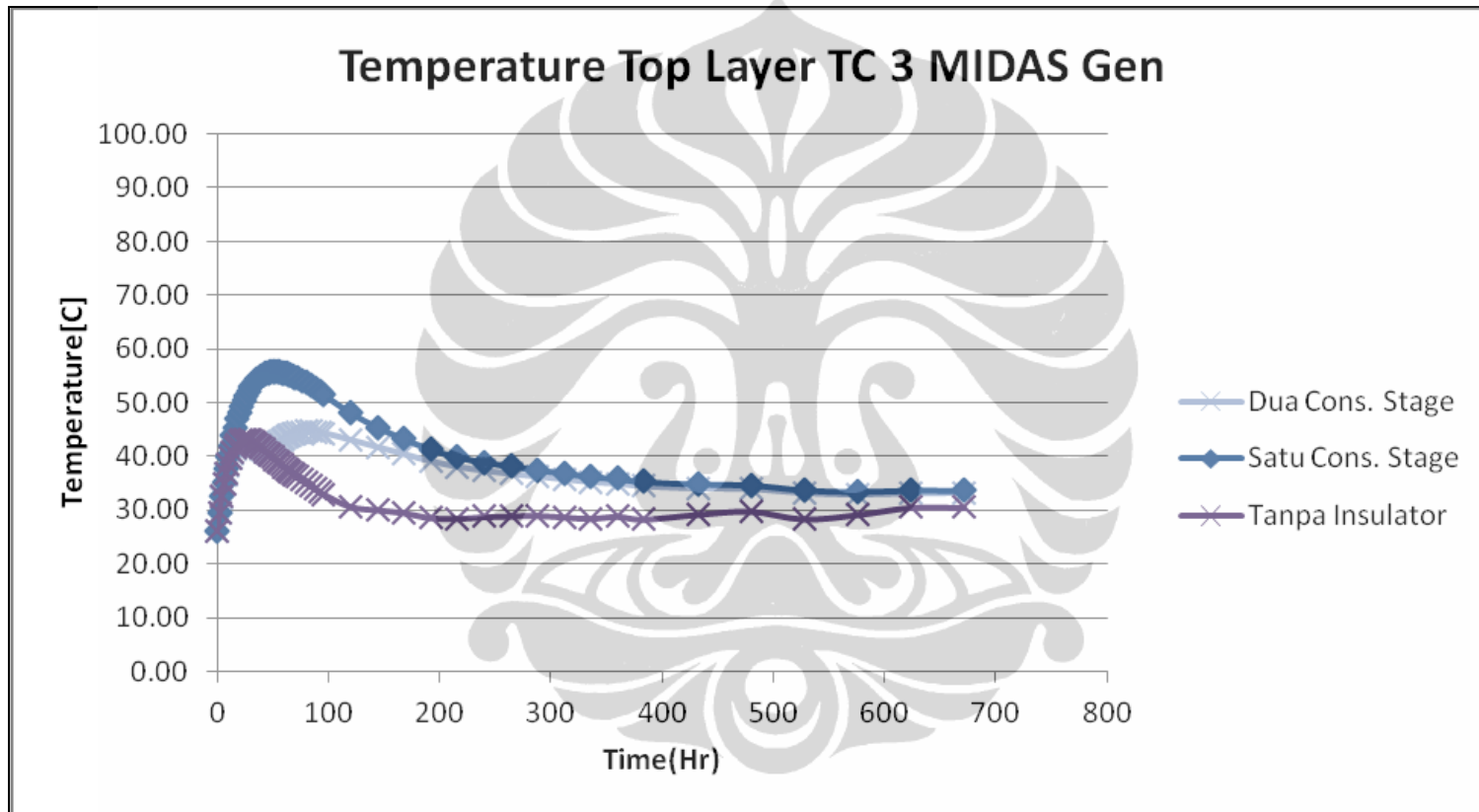
- Top layer permodelan *raft* penuh



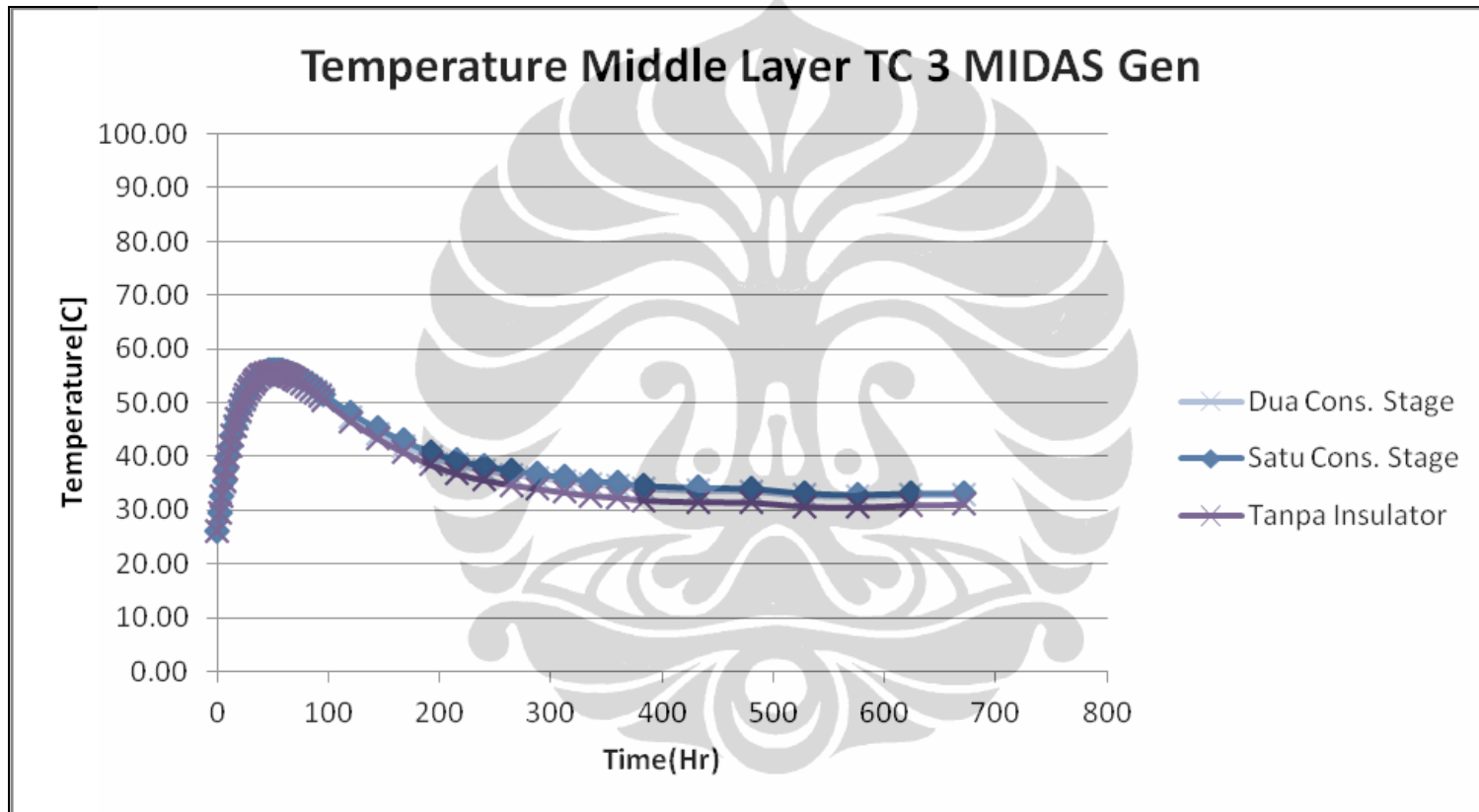
- Middle layer permodelan *raft* penuh



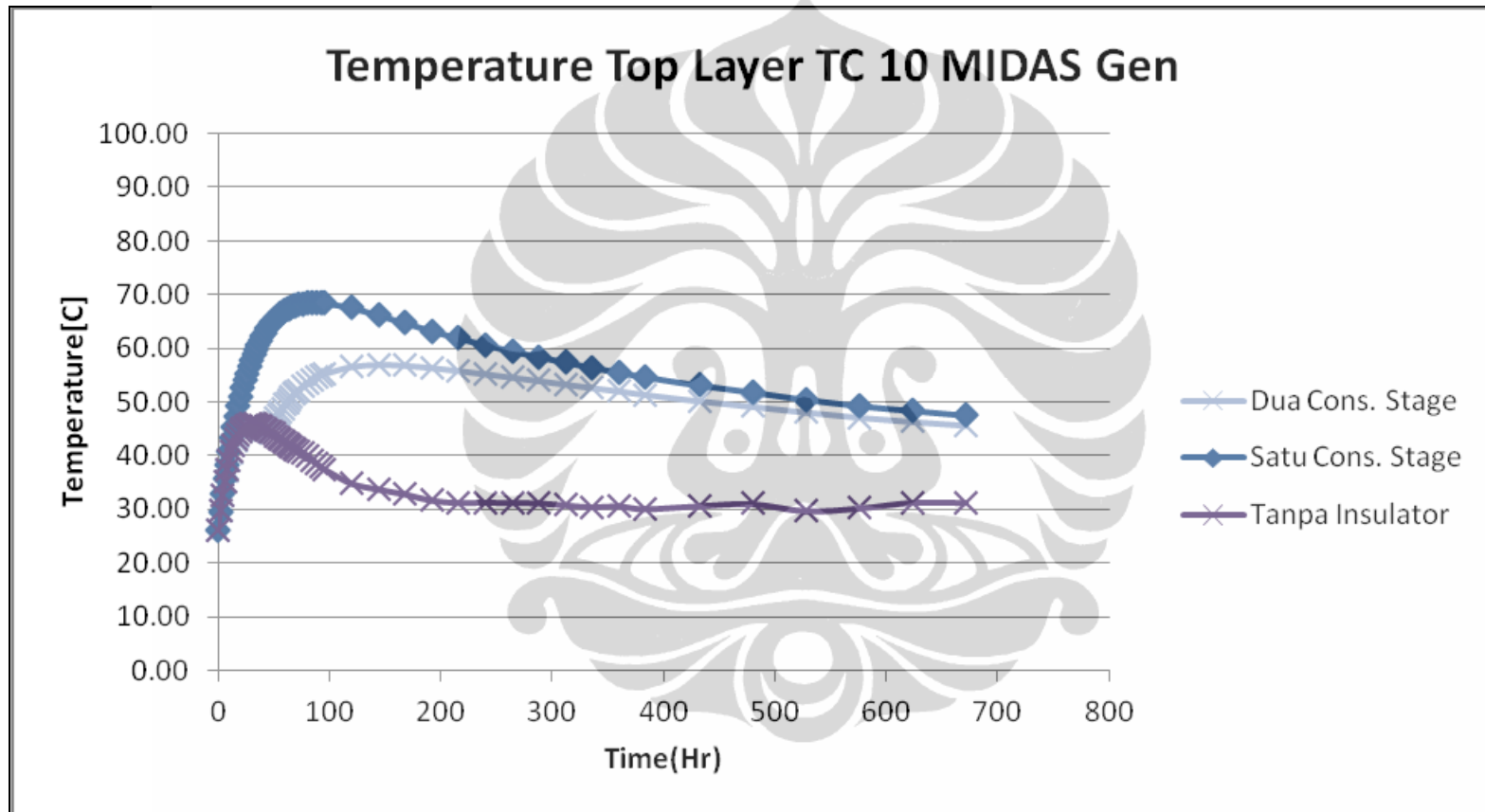
- Top layer *thermocouple* 3 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



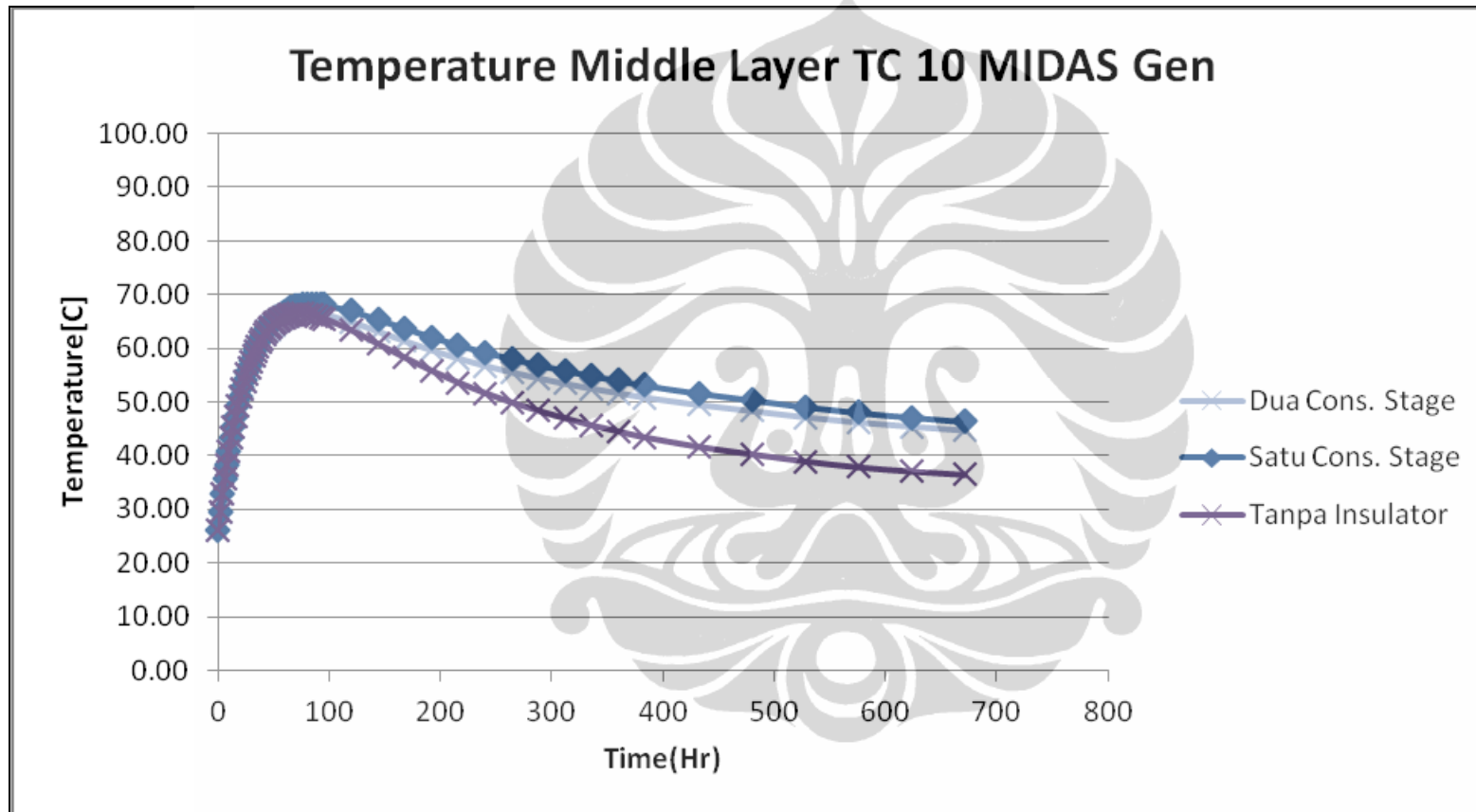
- Middle layer *thermocouple 3* dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



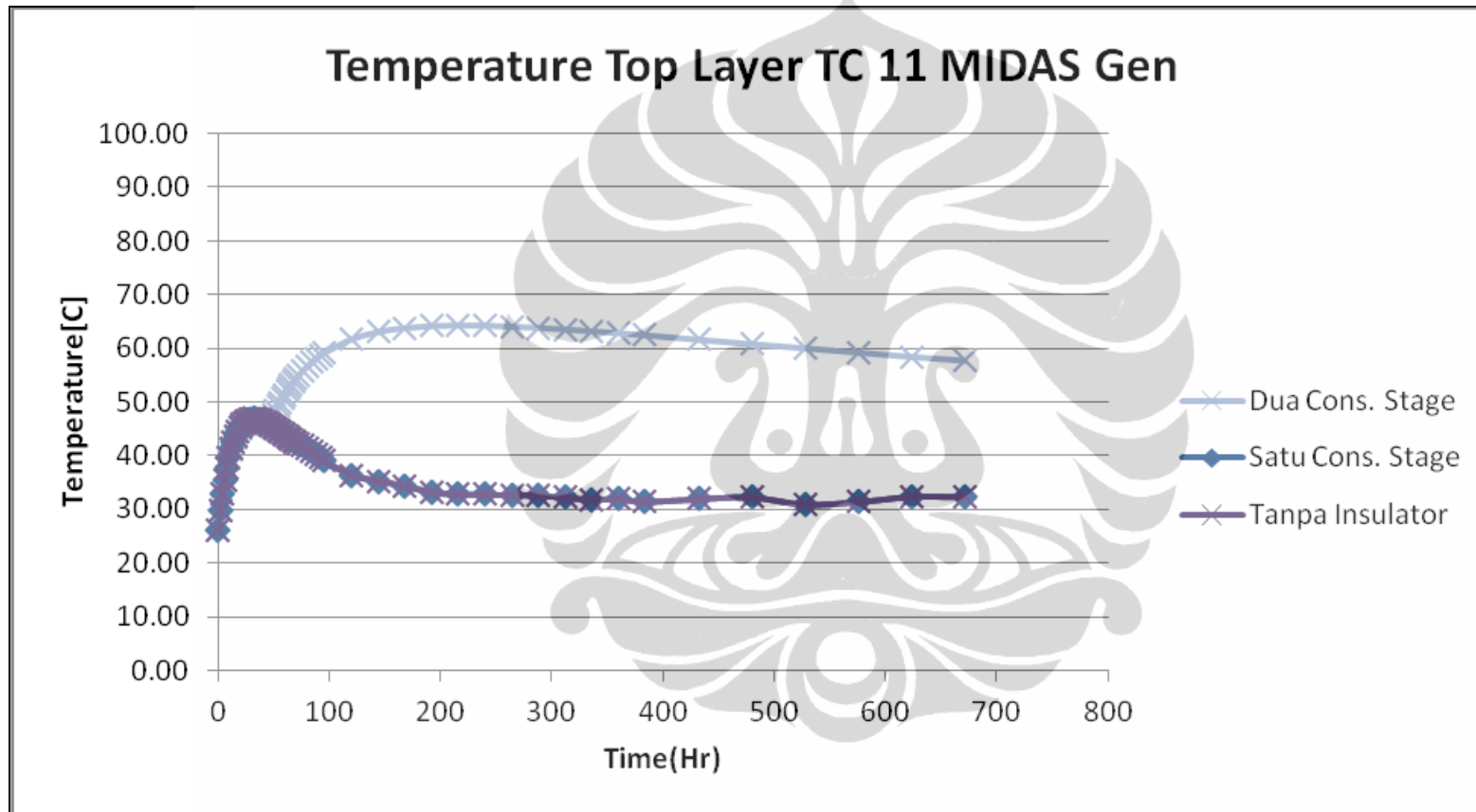
- Top layer *thermocouple* 10 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



- Middle layer *thermocouple* 10 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh

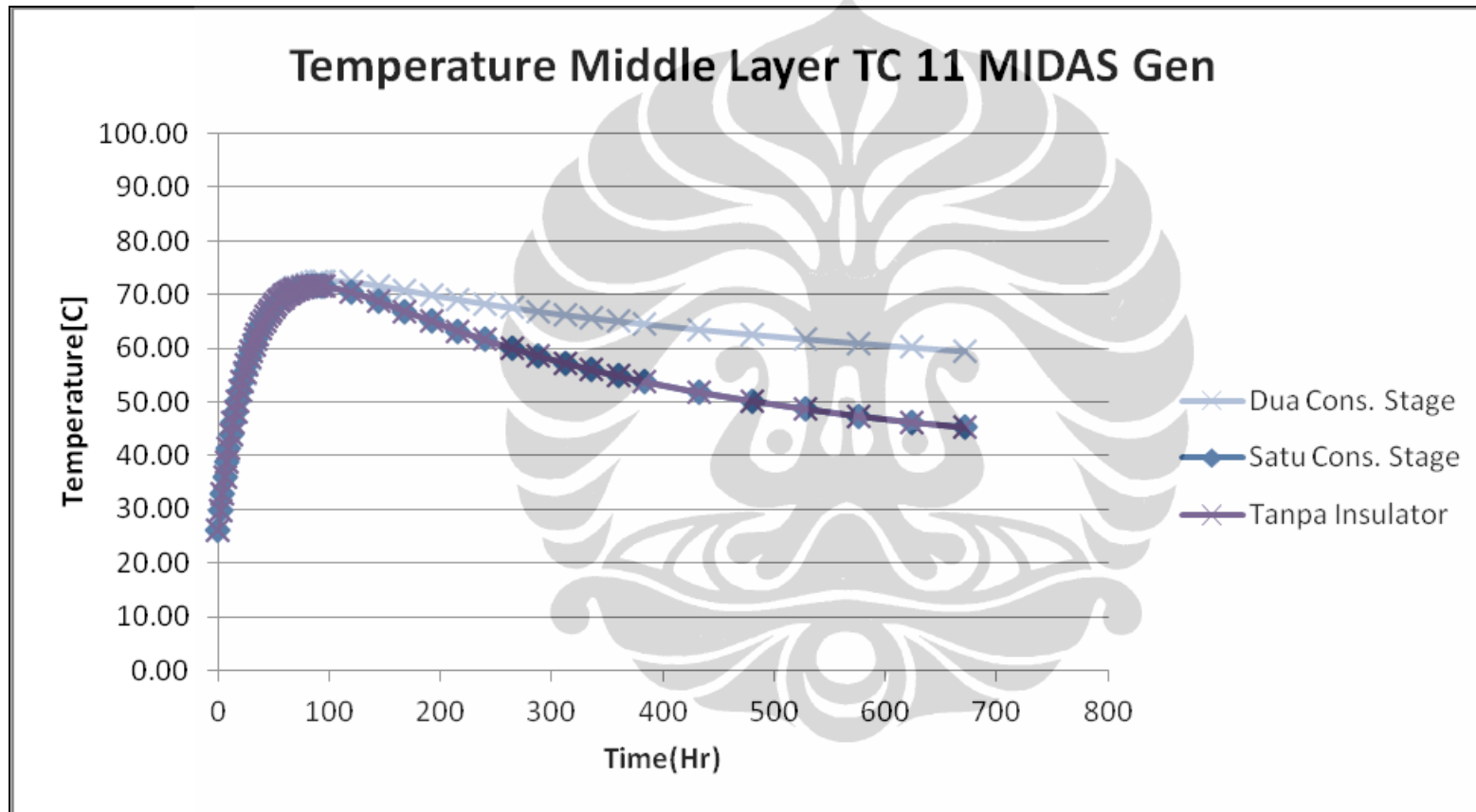


- Top layer *thermocouple* 11 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh

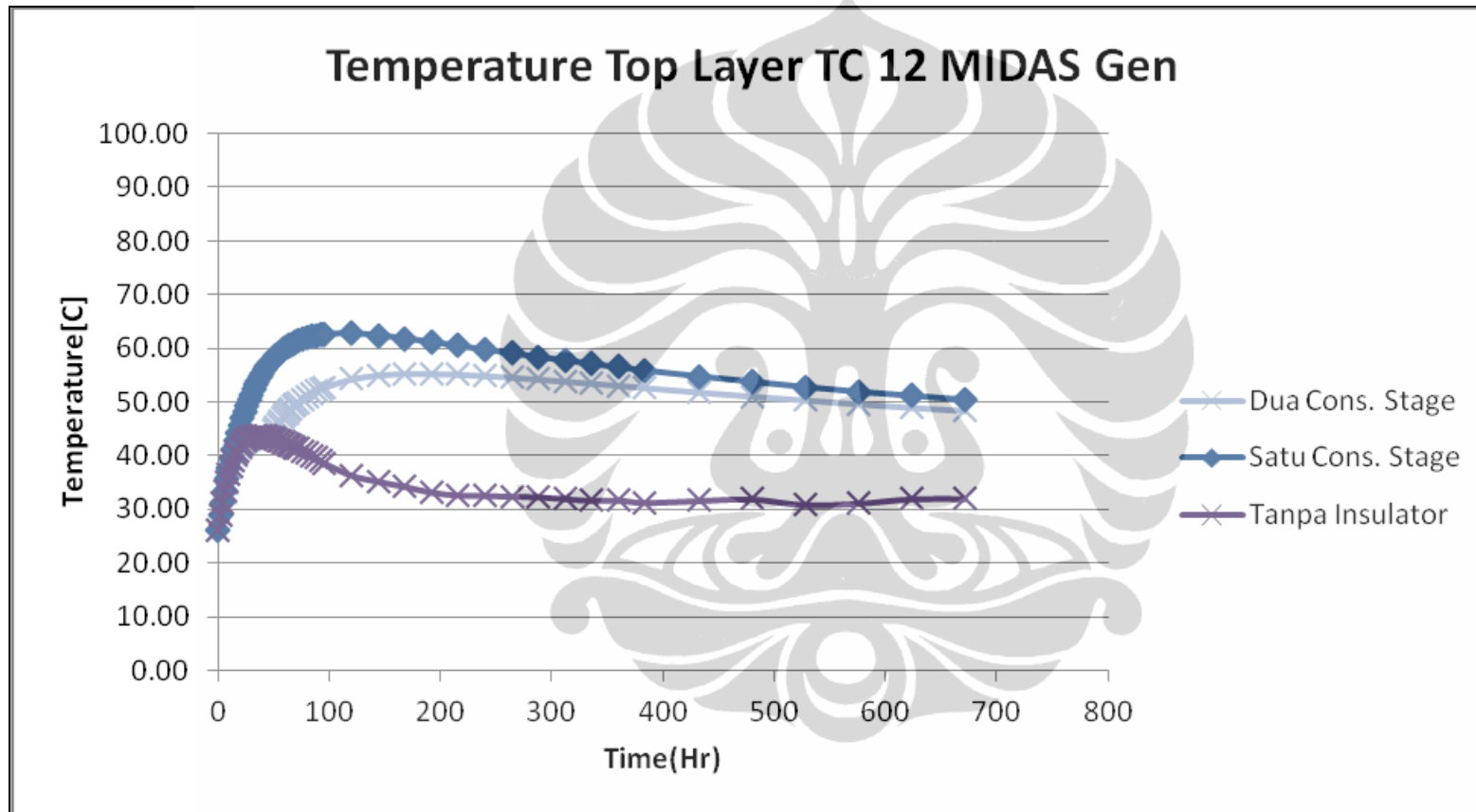




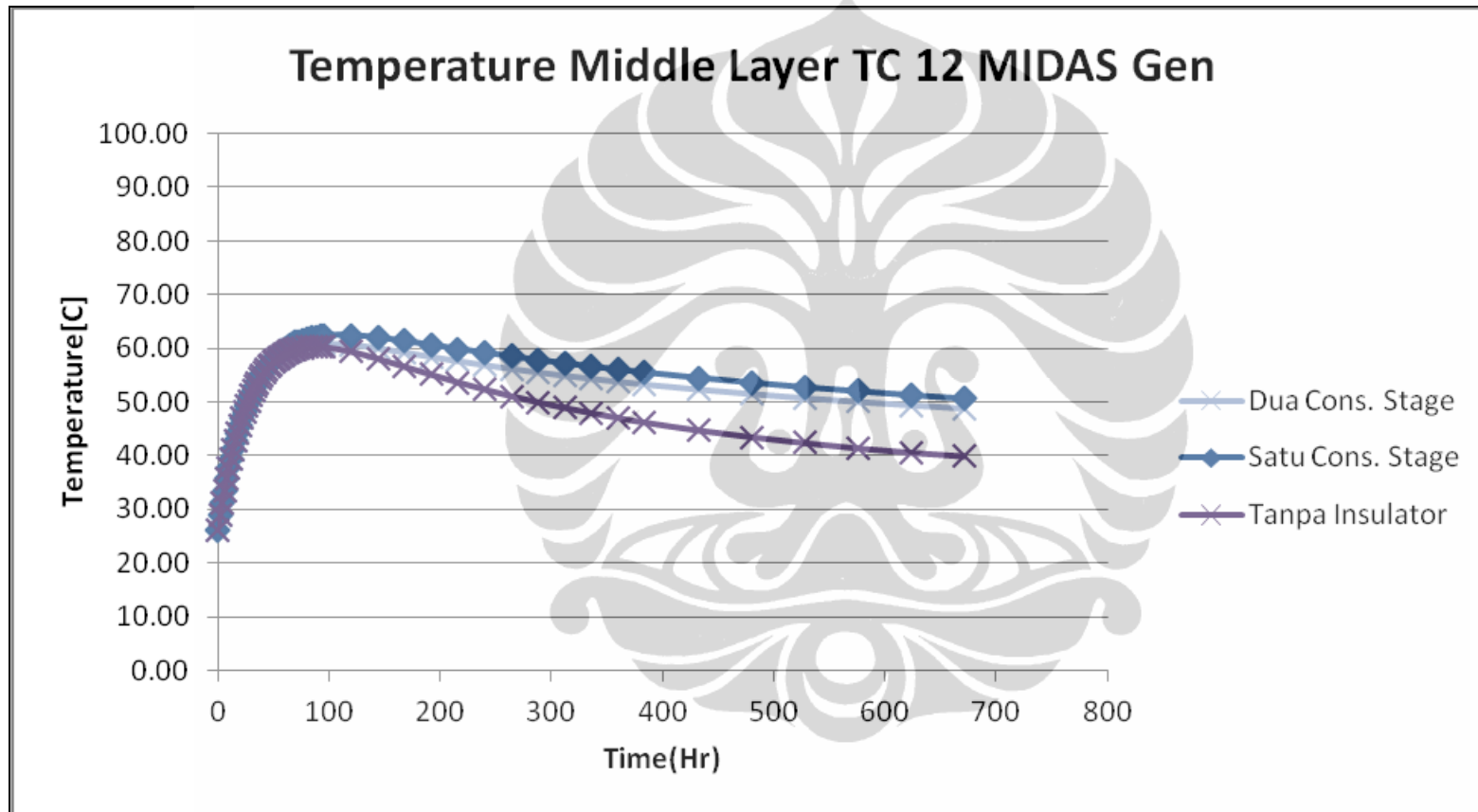
- Middle layer *thermocouple* 11 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



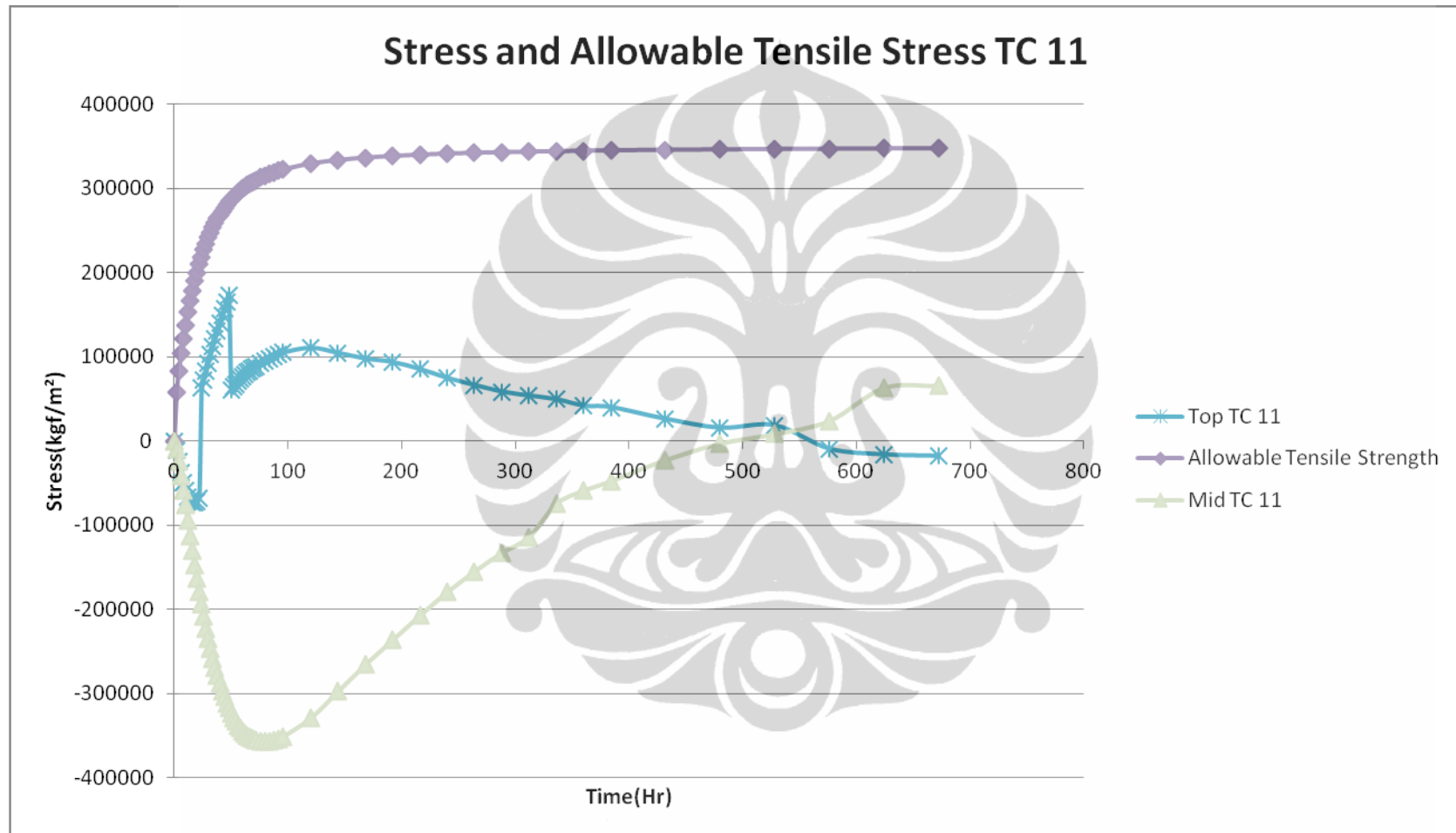
- Top layer *thermocouple* 12 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



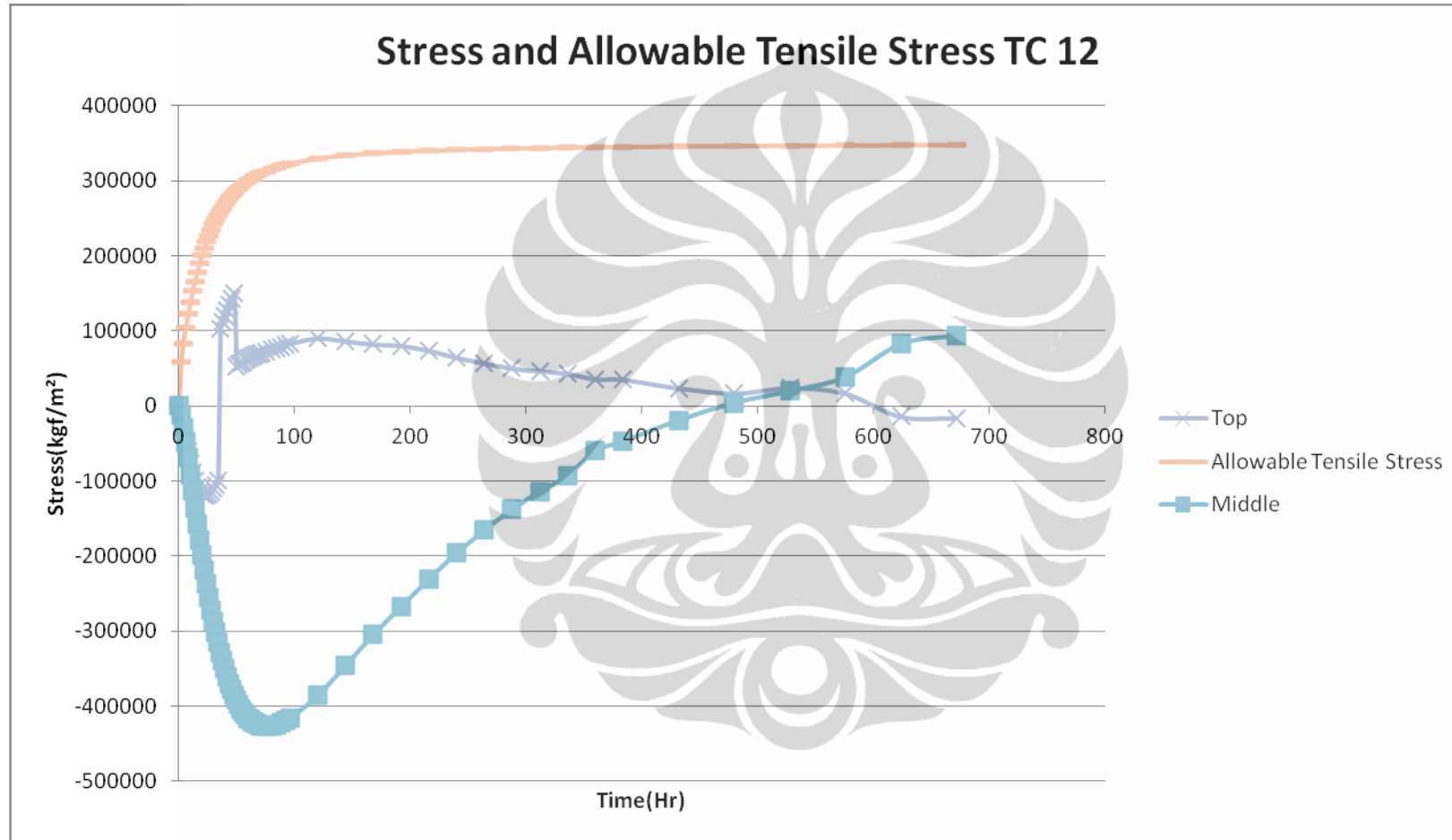
- Middle layer *thermocouple* 12 dengan tiga tipe permodelan *raft* penuh



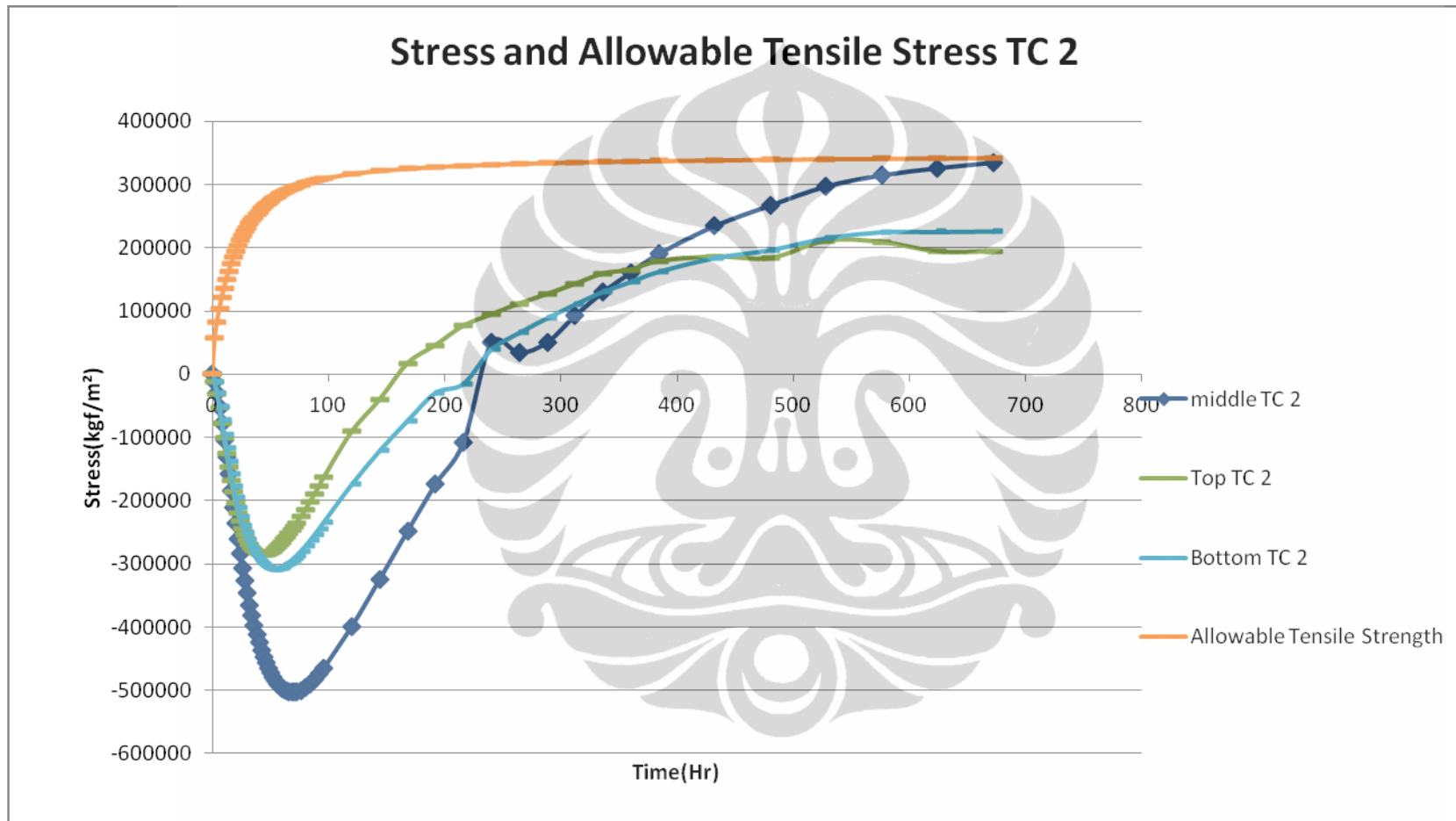
- Tegangan pada *thermocouple* 11



- Tegangan pada *thermocouple* 12



- Tegangan pada *thermocouple 2*



Lampian C. Foto-foto Pengecoran *Raft Foundation*



Concrete Pump pada Pengecoran *Raft Foundation* Rasuna Tower



Insulasi dengan Pasir pada Area Kolom dan *Rib Beam*



Pencatatan Suhu pada dengan *Thermocouple*



Penutupan Kolom dan Rib Beam dengan Plastik