

TUGAS AKHIR

**ANALISIS BETON *MASS CONCRETE* PADA *PILE HEAD*
DENGAN *COOLING PIPE SYSTEM*
(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL
SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

**Dina Novianti
NIM: 30202300243**

**Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

TUGAS AKHIR

**ANALISIS BETON *MASS CONCRETE* PADA *PILE HEAD*
DENGAN *COOLING PIPE SYSTEM*
(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL
SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

**Dina Novianti
NIM: 30202300243**

**Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS BETON *MASS CONCRETE* PADA *PILE HEAD* DENGAN
COOLING PIPE SYSTEM (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)

Diajukan Oleh:



Dina Novianti
NIM: 30202300243



Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
2. **Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**
NIDN: 0631128901

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No. 34 / A.2 / SA - T / IV / 2025

Pada hari ini tanggal 25 Juli 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Dina Novianti
NIM: 30202300243

Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253

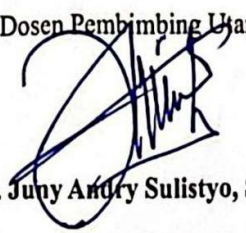
Judul : Analisis Beton *Mass Concrete* Pada *Pile Head* Dengan *Cooling Pipe System*
(Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 1A STA 8+314 – STA 10+394)

Dengan tahapan sebagai berikut :

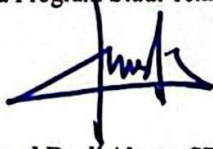
No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	14 April 2025	ACC
2	Seminar Proposal	07 Juni 2025	ACC
3	Pengumpulan Data	12 Juni 2025	ACC
4	Analisis Data	05 Juli 2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	21 Juli 2025	ACC
6	Selesai Laporan	24 Juli 2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama


Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : Dina Novianti
NIM : 30202300243
2. Nama : Rayhan Maulana Prakusya
NIM : 30202300253

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:
ANALISIS BETON MASS CONCRETE PADA PILE HEAD DENGAN COOLING PIPE SYSTEM (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)

Benar bebas dari plagiasi, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

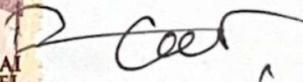
Semarang,.....

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Dina Novianti
NIM: 30202300243



Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : Dina Novianti
NIM : 30202300243
2. Nama : Rayhan Maulana Prakusya
NIM : 30202300253

JUDUL TUGAS AKHIR: ANALISIS BETON *MASS CONCRETE* PADA *PILE HEAD* DENGAN *COOLING PIPE SYSTEM* (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 – STA 10+394)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya yang bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat,

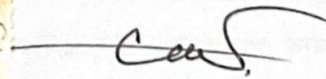
Semarang,.....

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Dina Novianti
NIM: 30202300243



Rayhan Maulana Prakusya
NIM: 30202300253

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik" (Qs. Ali Imran :110)

وَلَنَبْلُوَنَّكُمْ بِشَيْءٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ مِّنَ الْأَمْوَالِ وَالْأَنْفُسِ وَالثَّمَرَاتِ وَبَشِّرِ الصَّابِرِينَ ۝١٥٥ الَّذِينَ إِذَا أَصَابَتْهُمُ مُصِيبَةٌ قَالُوا إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ ۝١٥٦

"Tidak ada satu pun perjuangan yang tidak melelahkan. Dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar, yaitu yang ketika ditimpa musibah mereka mengucapkan: Sungguh kita semua ini milik Allah dan sungguh kepada-Nya lah kita kembali." (QS. Al Baqarah: 155-156)

لَهُ مُعَقِّبَاتٌ مِّنْ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ ۚ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ ۚ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ ۚ وَمَا لَهُمْ مِنْ دُونِهِ مِنْ وَالٍ

"Bagi manusia ada malaikat-malaikat yang selalu mengikutinya bergiliran, di muka dan di belakangnya, mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia." (QS. Ar-Ra'd: 11)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi)

"Waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu" (HR. Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil.
2. Kakak-Kakakku tersayang, yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus sahabat Rayhan Maulana Prakusya, yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terimakasih selalu ada dan mendukung saya.
5. Site Engineering Manager (SEM) yaitu Rahmat Fitriani Noor, Asisten Quality Control yaitu Shania Lusiantini dan juga teman-teman pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2023 yang turut memberikan semangat.
7. Terakhir, untuk diri saya sendiri Dina Novianti terimakasih sudah berjuang sejauh ini dan mampu mengendalikan diri dari tekanan diluar keadaan dalam proses skripsi ini dan menyelesaikannya dengan baik.

Dina Novianti

30202300243

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil.
2. Kakak-Kakakku tersayang, yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus sahabat Dina Novianti, yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terimakasih selalu ada dan mendukung saya.
5. Site Engineering Manager (SEM) yaitu Rahmat Fitriani Noor, Asisten Quality Control yaitu Shania Lusiantini dan juga teman-teman pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2023 yang turut memberikan semangat.
7. Terakhir, untuk diri saya sendiri Rayhan Maulana Prakusya terimakasih sudah berjuang sejauh ini dan mampu mengendalikan diri dari tekanan diluar keadaan dalam proses skripsi ini dan menyelesaikannya dengan baik.

Rayhan Maulana Prakusya

30202300253

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum W. W.,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Beton *Mass Concrete* Pada *Pile Head* Dengan *Cooling Pipe System* (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 1a Sta 8+314 – Sta 10+394)” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak, dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam kegiatan akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST.,MT. selaku Dosen Pendamping yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang,

2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAK.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Struktur <i>Slab On Pile</i>	6
2.1.1. Tiang Pancang	6
2.1.2. <i>Pile Head Treatment</i>	8
2.1.3. <i>Pile Head</i>	8
2.1.4. <i>Slab</i> (Pelat).....	9

2.2.	Beton	10
2.2.1.	Beton Kinerja Tinggi	10
2.2.2.	Beton Bervolume Besar (<i>Mass Concrete</i>).....	11
2.3.	Perancangan Komposisi Campuran Beton (<i>Mix Design Beton</i>)	12
2.4.	Bahan Penyusun Beton	13
2.4.1.	Agregat.....	13
2.4.2.	Gradasi Agregat	14
2.4.3.	Semen.....	15
2.4.4.	Air	19
2.4.5.	Faktor Air Semen	19
2.4.6.	<i>Pozzolan</i>	20
2.4.7.	Bahan Tambah (<i>Additive</i>)	21
2.5.	Uji <i>Slump</i> Beton	22
2.6.	Uji Kuat Tekan Beton.....	22
2.7.	Perawatan Beton	23
2.8.	Sistem Pendingin Mekanis.....	24
2.9.	<i>Thermocouple</i>	25
2.10.	Penelitian Terdahulu Yang Sejenis.....	26
BAB III METODOLOGI.....		28
3.1.	Metode Penelitian	28
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian	28
3.2.1.	Bahan Penelitian	28
3.2.2.	Alat Penelitian.....	29
3.3.	Pengumpulan Data	30
3.4.	Pemeriksaan Karakteristik Material	30
3.4.1.	Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus.....	30
3.4.2.	Pemeriksaan Karakteristik Semen <i>Portland</i>	31
3.4.3.	Pemeriksaan Karakteristik Bahan Tambah.....	31
3.4.4.	Pemeriksaan Karakteristik Air Bersih	32
3.4.5.	Pemeriksaan Suhu Material dan Beton.....	32
3.4.5.1.	Pemeriksaan suhu material.....	32

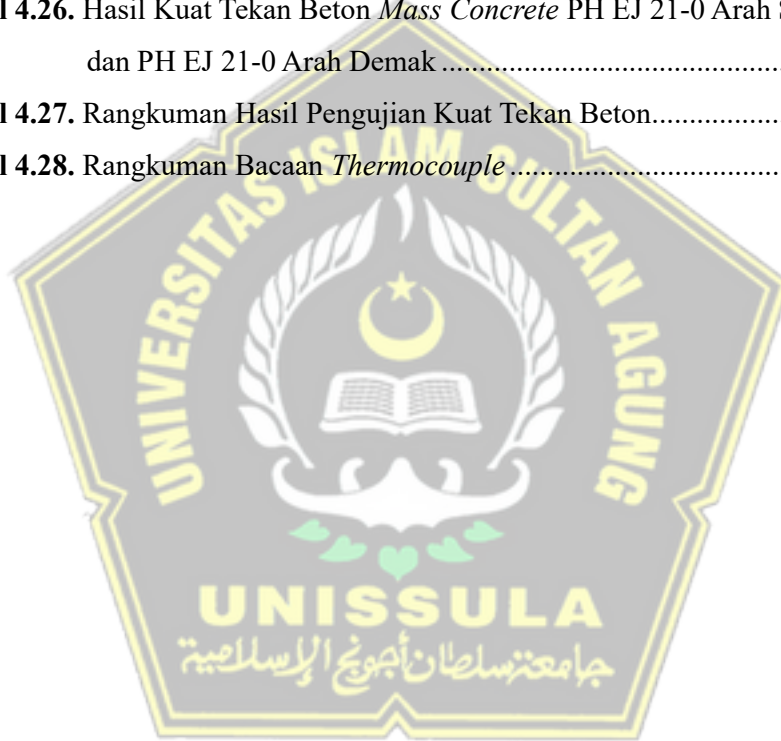
3.4.5.2.	Pemeriksaan suhu beton.....	32
3.5.	Rancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	33
3.6.	Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	34
3.7.	Metode Analisis	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1.	Pendahuluan	40
4.2.	Penyediaan Bahan	43
4.2.1.	Agregat Halus	42
4.2.2.	Agregat Kasar	42
4.2.3.	Semen <i>Portland</i>	43
4.2.4.	<i>Fly Ash</i>	43
4.2.5.	<i>Admixture</i>	44
4.3.	Pengujian Material	44
4.3.1.	Agregat Halus	44
4.3.1.1.	Lolos saringan nomor 200.....	44
4.3.1.2.	Berat jenis dan penyerapan air	45
4.3.1.3.	Gradasi agregat halus dan <i>fine modulus</i>	46
4.3.2.	Agregat Kasar	47
4.3.2.1.	Lolos saringan nomor 200.....	47
4.3.2.2.	Berat jenis dan penyerapan air	48
4.3.2.3.	Gradasi agregat.....	50
4.3.3.	Semen	51
4.3.4.	<i>Fly Ash</i>	52
4.3.5.	<i>Admixture</i>	53
4.3.6.	Air	53
4.4.	Pengujian <i>Job Mix Design</i>	54
4.4.1.	Pembuatan Benda Uji <i>Job Mix Design</i>	54
4.4.2.	Hasil Uji Kuat Tekan dan <i>Job Mix Design</i>	56
4.5.	Pengujian <i>Job Mix Formula</i> dan <i>Mock Up</i>	57
4.5.1.	Model <i>Mock Up</i>	57
4.5.2.	Material <i>Treatment Mock Up</i>	59

4.5.3. Pencampuran Beton dan Pengecoran Beton <i>Job Mix Formula</i>	59
4.5.4. Hasil <i>Mock Up</i>	62
4.5.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Job Mix Formula</i>	72
4.6. Metode Pekerjaan Beton <i>Mass Concrete</i>	73
4.6.1. Pengukuran dan Persiapan Kerja	73
4.6.2. Pemasangan <i>Ring Bracket</i> dan <i>Platform</i> Kerja	74
4.6.3. Pemotongan <i>Spun Pile</i> dan Pembobokan Beton.....	75
4.6.4. Pekerjaan Isian Kepala Tiang Pancang (<i>Pile Head Treatment</i>)	76
4.6.5. Pembesian <i>Pile Head</i>	77
4.6.6. Pekerjaan Pemasangan Pipa Pendingin Mekanis / <i>Cooling Pipe System</i> ..	77
4.6.7. Pemasangan Bekisting <i>Pile Head</i>	78
4.6.8. <i>Material Treatment</i>	79
4.6.9. Pengecoran <i>Pile Head</i>	80
4.6.10. Pengamatan Suhu Beton <i>Mass Concrete</i>	83
4.6.11. Pembongkaran Bekisting dan <i>Curing</i>	89
4.6.12. Hasil Kuat Tekan Beton <i>Mass Concrete Pile Head</i>	91
4.7. Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	92
4.8. Rangkuman Bacaan <i>Thermocouple</i>	94
BAB V KESIMPULAN	97
5.1. Kesimpulan	97
5.2. Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA	xxv
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Ketentuan Mutu Agregat.....	14
Tabel 2.2.	Ketentuan Gradasi Agregat.....	15
Tabel 2.3.	Syarat Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum ..	18
Tabel 2.4.	Ketentuan Untuk Beton yang Berhubungan Dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat.....	18
Tabel 2.5.	Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air	19
Tabel 2.6.	Jumlah Tertentu <i>Pozzolan</i> dan Bahan Lain.....	21
Tabel 2.7.	Nilai <i>Slump</i> yang Dianjurkan.....	22
Tabel 2.8.	Keaslian Tugas Akhir.....	26
Tabel 3.1.	Komposisi Campuran Beton.....	33
Tabel 4.1.	Hasil Persentase Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton.....	44
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material Pasir Beton	45
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat dan <i>Fine Modulus</i>	47
Tabel 4.4.	Hasil Lolos Saringan Nomor 200 Material <i>Split</i>	48
Tabel 4.5.	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material <i>Split</i>	49
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Material <i>Split</i>	50
Tabel 4.7.	Hasil Pengujian Material Semen	51
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Material <i>Fly Ash</i>	52
Tabel 4.9.	Hasil Pengujian Material <i>Additive Type D</i>	53
Tabel 4.10.	Hasil Pengujian Material <i>Additive Type F</i>	53
Tabel 4.11.	Hasil Pengujian Material Air	53
Tabel 4.12.	Komposisi Campuran Beton <i>Job Mix Design</i>	54
Tabel 4.13.	Tabel <i>Slump Job Mix Design</i>	55
Tabel 4.14.	Hasil Kuat Tekan Beton <i>Job Mix Design</i>	57
Tabel 4.15.	Pengukuran Suhu Material <i>Mock Up</i>	59
Tabel 4.16.	Komposisi Campuran Beton <i>Job Mix Formula</i>	60
Tabel 4.17.	Monitoring Bacaan <i>Thermocouple</i> Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari.....	63

Tabel 4.18. Monitoring Bacaan <i>Thermocouple</i> Dengan Air Es Selama 7 Hari.....	66
Tabel 4.19. Monitoring Bacaan <i>Thermocouple</i> Dengan Air Biasa Selama 7 Hari.....	69
Tabel 4.20. Hasil Kuat Tekan Beton <i>Job Mix Formula</i> dan <i>Mock Up</i>	72
Tabel 4.21. Suhu Material Beton <i>Mass Concrete</i>	80
Tabel 4.22. Komposisi Campuran Beton <i>Mass Concrete Pile Head</i>	81
Tabel 4.23. Monitoring Bacaan <i>Thermocouple</i> PH EJ 21-0 Arah Demak	83
Tabel 4.24. Monitoring Bacaan <i>Thermocouple</i> PH EJ 21-0 Arah Semarang.....	87
Tabel 4.25. Jumlah Hari Minimum Untuk Pembongkaran Bekisting	90
Tabel 4.26. Hasil Kuat Tekan Beton <i>Mass Concrete</i> PH EJ 21-0 Arah Semarang dan PH EJ 21-0 Arah Demak	91
Tabel 4.27. Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	92
Tabel 4.28. Rangkuman Bacaan <i>Thermocouple</i>	94



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Potongan Melintang <i>Slab On Pile</i>	6
Gambar 2.2.	Detail <i>Spun Pile</i> Dia. 80 cm	7
Gambar 2.3.	Detail <i>Pile Head Treatment</i>	8
Gambar 2.4.	Detail <i>Pile Head</i>	9
Gambar 2.5.	Detail <i>Slab</i>	9
Gambar 2.6.	<i>Poor Thermal Conductivity</i>	11
Gambar 3.1.	Bagan Alir Penelitian	35
Gambar 4.1.	<i>Master Plan</i> Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak ..	40
Gambar 4.2.	<i>CRBC-BUCG Batching Plant</i>	41
Gambar 4.3.	Pengambilan Sampel Material Pasir Beton	42
Gambar 4.4.	Pengambilan Sampel Material <i>Split</i> 10/20	42
Gambar 4.5.	Pengambilan Sampel Material Semen <i>Portland</i>	43
Gambar 4.6.	Pengambilan Sampel <i>Fly Ash</i>	43
Gambar 4.7.	Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton Ex. Klaten	45
Gambar 4.8.	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Beton Ex. Klaten	46
Gambar 4.9.	Pengujian Gradasi Agregat Pasir Beton Ex. Klaten	47
Gambar 4.10.	Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Material <i>Split</i> Ex. Batang	48
Gambar 4.11.	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material <i>Split</i> Ex. Batang	50
Gambar 4.12.	Pengujian Gradasi Agregat Material <i>Split</i> Ex. Batang	51
Gambar 4.13.	Pengujian Kehalusan <i>Fly Ash</i> Ex. PT. Hongfa Jaya International	52
Gambar 4.14.	Pengujian <i>Slump Job Mix Design</i>	55
Gambar 4.15.	Proses Pembuatan Sampel Benda Uji Beton <i>Job Mix Design</i>	56
Gambar 4.16.	Pelaksanaan Perawatan Beton Dengan Bak <i>Curing</i>	56
Gambar 4.17.	Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Untuk Beton <i>Job Mix Design</i>	57
Gambar 4.18.	Model <i>Mock Up</i> Beton Mass Concrete $f_c' 35$ MPa	58
Gambar 4.19.	Rencana Pemasangan <i>Cooling Pipe</i>	58
Gambar 4.20.	Pengukuran Suhu Material	59

Gambar 4.21. <i>Slump</i> 16 cm	60
Gambar 4.22. <i>Mock Up</i> Untuk <i>Cooling Pipe System</i>	61
Gambar 4.23. Pencampuran Beton Untuk <i>Mock Up</i>	61
Gambar 4.24. Posisi Penempatan <i>Thermocouple</i>	62
Gambar 4.25. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari	64
Gambar 4.26. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari.....	65
Gambar 4.27. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> Dengan Air Es Selama 7 Hari.....	67
Gambar 4.28. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 7 Hari.....	68
Gambar 4.29. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> Dengan Air Biasa Selama 7 Hari.....	70
Gambar 4.30. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Biasa Selama 7 Hari.....	71
Gambar 4.31. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Job Mix Formula</i>	73
Gambar 4.32. Pengukuran dan Penandaan Tiang Pancang	73
Gambar 4.33. Skema Pemasangan <i>Ring Bracket</i>	74
Gambar 4.34. Pemasangan <i>Bracket, Main Beam, Secondary Beam</i> , dan Bekisting <i>Bottom</i>	74
Gambar 4.35. Sketsa Pemasangan <i>Platform Kerja</i>	75
Gambar 4.36. Sketsa Pemotongan <i>Spun Pile</i> dan Pembobokan Beton	75
Gambar 4.37. Sketsa Pekerjaan <i>Pile Head Treatment</i>	76
Gambar 4.38. Sketsa Pekerjaan Pembesian <i>Pile Head</i>	77
Gambar 4.39. Sketsa Sistem Pipa Pendingin Mekanis (<i>Cooling Pipe System</i>) ...	78
Gambar 4.40. Sketsa Pemasangan Bekisting <i>Pile Head</i>	79
Gambar 4.41. Pengecekan Suhu Material Sebelum Pencampuran Beton <i>Mass</i> <i>Concrete</i>	80
Gambar 4.42. Sketsa Pengecoran <i>Pile Head</i>	81
Gambar 4.43. <i>Slump</i> 16 cm	82
Gambar 4.44. Pengecoran <i>Mass Concrete Pile Head</i>	82

Gambar 4.45. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> PH EJ 21-0 Arah Demak	85
Gambar 4.46. Pembacaan Alat Pengukur Suhu PH EJ 21-0 Arah Demak Pada Jam Ke-28	86
Gambar 4.47. Grafik Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> PH EJ 21-0 Arah Semarang.....	88
Gambar 4.48. Pembacaan Suhu <i>Thermocouple</i> PH EJ 21-0 Arah Semarang Pada Jam Ke-16	89
Gambar 4.49. Sketsa Pekerjaan Pembongkaran Bekisting.....	90
Gambar 4.50. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Untuk Beton $F_c' 35 \text{ MPa}$ PH EJ 21-0 Arah Demak dan PH EJ 21-0 Arah Semarang	92
Gambar 4.51. Grafik Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	94
Gambar 4.52. Grafik Rangkuman Hasil Pembacaan Suhu Alat <i>Thermocouple</i> ...	96



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I DOKUMENTASI ALAT PENELITIAN

- Gambar 1.1.** Timbangan Digital
- Gambar 1.2.** Gelas Ukur
- Gambar 1.3.** Kuas
- Gambar 1.4.** Sekop
- Gambar 1.5.** Alat Perata Raskam
- Gambar 1.6.** *Mixer Beton Manual 0,33 m³*
- Gambar 1.7.** *Alat Slump*
- Gambar 1.8.** Cetakan Silinder
- Gambar 1.9.** *Vibrator Beton*
- Gambar 1.10.** *Compression Testing Machine*
- Gambar 1.11.** *Batching Plant*
- Gambar 1.12.** *Truck Mixer*
- Gambar 1.13.** *Crane Servise*
- Gambar 1.14.** *Bucket/Tremi*
- Gambar 1.15.** *Thermohygrometer Digital*
- Gambar 1.16.** *Laser Thermometer*
- Gambar 1.17.** *Thermocouple*

LAMPIRAN II DOKUMENTASI BAHAN PENELITIAN

- Gambar 2.1.** Agregat Halus
- Gambar 2.2.** Agregat Kasar 10/20
- Gambar 2.3.** Semen *Portland*
- Gambar 2.4.** *Fly Ash*
- Gambar 2.5.** *Additive Beton*
- Gambar 2.6.** *Air Sumur*
- Gambar 2.7.** *Es Batu*

LAMPIRAN III DOKUMENTASI PENELITIAN

- Gambar 3.1.** Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton Ex. Klaten
- Gambar 3.2.** Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Beton Ex. Klaten
- Gambar 3.3.** Pengujian Gradasi Agregat Pasir Beton Ex. Klaten
- Gambar 3.4.** Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Material *Split* Ex. Batang
- Gambar 3.5.** Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material *Split* Ex. Batang
- Gambar 3.6.** Pengujian Gradasi Agregat Material *Split* Ex. Batang
- Gambar 3.7.** Pengujian Kehalusan *Fly Ash* Ex. PT. Hongfa Jaya International
- Gambar 3.8.** Pengujian *Slump Job Mix Design*
- Gambar 3.9.** Proses Pembuatan Sampel Benda Uji Beton *Job Mix Design*
- Gambar 3.10.** Pelaksanaan Perawatan Beton Dengan Bak *Curing*
- Gambar 3.11.** Pengukuran Suhu Material Sebelum *Mock Up*
- Gambar 3.12.** Pengujian *Slump* Tahap JMF dan *Mock Up*
- Gambar 3.13.** *Mock Up* Untuk *Cooling Pipe System*
- Gambar 3.14.** Pencampuran Beton Untuk *Mock Up*
- Gambar 3.15.** Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari
- Gambar 3.16.** Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 7 Hari
- Gambar 3.17.** Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Biasa Selama 7 Hari
- Gambar 3.18.** Pengecekan Suhu Material Sebelum Pencampuran Beton *Mass Concrete*
- Gambar 3.19.** Pemasangan *Cooling Pipe*
- Gambar 3.20.** Pemasangan Sensor *Thermocouple*
- Gambar 3.21.** Pengujian *Slump* Pencampuran Beton *Mass Concrete*
- Gambar 3.22.** Pengecoran *Mass Concrete Pile Head*
- Gambar 3.23.** Pembacaan Alat Pengukur Suhu PH EJ 21-0 Arah Demak Pada Jam Ke-28
- Gambar 3.24.** Pembacaan Alat Pengukur Suhu PH EJ 21-0 Arah Semarang Pada Jam Ke-16

LAMPIRAN IV DATA PENGUJIAN BAHAN

- Tabel 4.1.** Hasil Persentase Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton Ex. Klaten
- Tabel 4.2.** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material Pasir Beton
- Tabel 4.3.** Hasil Pengujian Gradasi Agregat dan *Fine Modulus*
- Tabel 4.4.** Hasil Lolos Saringan Nomor 200 Material *Split* Ex. Batang
- Tabel 4.5.** Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material *Split*
- Tabel 4.6.** Hasil Pengujian Gradasi Agregat Material *Split* Ex. Batang
- Tabel 4.7.** Hasil Pengujian Material Semen
- Tabel 4.8.** Hasil Pengujian Material *Fly Ash*
- Tabel 4.9.** Hasil Pengujian Material *Additive Type D*
- Tabel 4.10.** Hasil Pengujian Material *Additive Type F*
- Tabel 4.11.** Hasil Pengujian Material Air

LAMPIRAN V DATA PENGUJIAN *JOB MIX DESIGN*

- Tabel 5.1.** Tabel *Slump Job Mix Design*
- Tabel 5.2.** Hasil Kuat Tekan Beton *Job Mix Design*
- Gambar 5.1.** Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Untuk Beton *Job Mix Design*

LAMPIRAN VI DATA PENGUJIAN *JOB MIX FOMULA* DAN *MOCK UP*

- Tabel 6.1.** Pengukuran Suhu Material *Mock Up*
- Tabel 6.2.** Monitoring Bacaan *Thormocouple* Dengan Air Es Selama 3 Hari
Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari
- Tabel 6.3.** Monitoring Bacaan *Thormocouple* Dengan Air Es Selama 7 Hari
- Tabel 6.4.** Monitoring Bacaan *Thormocouple* Dengan Air Biasa Selama 7 Hari
- Gambar 6.1.** Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari
- Gambar 6.2.** Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 7 Hari

Gambar 6.3. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Biasa Selama 7 Hari

Tabel 6.5. Hasil Kuat Tekan Beton *Job Mix Formula dan Mock Up*

Gambar 6.4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Job Mix Formula*

LAMPIRAN VII DATA PENGUJIAN *JOB MIX FOMULA* DAN *MOCK UP*

Tabel 7.1. Suhu Material Beton *Mass Concrete*

Tabel 7.2. Monitoring Bacaan *Thormocouple* PH EJ 21-0 Arah Demak

Tabel 7.3. Monitoring Bacaan *Thormocouple* PH EJ 21-0 Arah Semarang

Gambar 7.1. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Demak

Gambar 7.2. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Semarang

Tabel 7.4. Hasil Kuat Tekan Beton Pencampuran Beton *Mass Concrete* PH EJ 21-0 Arah Demak dan PH EJ 21-0 Arah Semarang

Gambar 7.3. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Untuk Beton $f_c' 35$ MPa PH EJ 21-0 Arah Demak dan PH EJ 21-0 Arah Semarang

LAMPIRAN VIII REKAPITULASI DATA PENGUJIAN

Tabel 8.1. Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Gambar 8.1. Grafik Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 8.2. Rangkuman Bacaan *Thermocouple*

Gambar 8.2. Grafik Rangkuman Hasil Pembacaan Suhu Alat *Thermocouple*

**ANALISIS BETON *MASS CONCRETE* PADA *PILE HEAD*
DENGAN *COOLING PIPE SYSTEM*
(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL
SEMARANG - DEMAK SEKSI 1A STA 8+314 - STA 10+394)**

Abstrak

Beton *mass concrete* merupakan konstruksi yang memerlukan perhatian khusus karena ketebalan dan jumlah dari pencampuran beton yang dilakukan. Semakin besar dan tebal ukuran elemen beton, maka penggunaan semen semakin tinggi sehingga diperlukan pengontrolan terhadap panas hidrasi. Perawatan beton yang dilakukan berbeda dengan beton biasa, pada beton *mass concrete* kenaikan suhu beton harus bisa dikendalikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi terkait pengaruh perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* untuk pengendalian suhu pada beton *mass concrete* serta mendapatkan hasil perawatan beton menggunakan *cooling pipe system*.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan perbandingan variasi benda uji (*mock up*) pada perawatan beton *mass concrete* menggunakan *cooling pile system* dengan pengaliran air es batu selama 7 hari, pengaliran air biasa selama 7 hari, dan pengaliran air es batu selama 3 hari kemudian dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari.

Pada hasil penelitian ini didapatkan perbandingan perawatan beton *mass concrete* dengan *cooling pipe system* yang paling efektif dan efisien untuk pencampuran beton *mass concrete* menggunakan pengaliran air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari. Suhu optimum yang didapatkan pada jam ke-24 di inti beton (T1) adalah 69,2°C, pada jam ke-18 di tepi beton (T6) adalah 60,3°C dan suhu rata-rata optimum pada jam ke-24 adalah 63,0°C.

Kata Kunci: Beton; *Mass Concrete*; *Cooling Pipe System*; Perawatan; Suhu

**ANALYSIS OF MASS CONCRETE ON PILE HEAD WITH
COOLING PIPE SYSTEM
(CASE STUDY: CONSTRUCTION PROJECT OF SEMARANG -
DEMAK TOLL ROAD SECTION 1A STA 8+314 - STA 10+394)**

Abstract

Mass concrete is a type of construction that requires special attention due to its thickness and the large volume of concrete involved. As the size and thickness of concrete elements increase, the amount of cement used also rises, which in turn leads to greater heat generation from hydration. Therefore, controlling the heat produced during hydration is essential. The curing process for mass concrete differs from that of ordinary concrete; in mass concrete, the temperature rise must be managed carefully. This study aims to examine the effect of using a cooling-pipe system for temperature control in mass concrete and to assess the outcomes of curing concrete with this system.

The method used in this study is an experimental approach that compares different mock-up specimens of mass concrete cured using a cooling-pipe system: ice water circulation for 7 days, ordinary water circulation for 7 days, ice water for 3 days followed by ordinary water for 4 days.

In this research, the most effective and efficient cooling pipe system method for curing mass concrete was achieved by using ice water circulation for 3 days followed by regular water for 4 days. The optimum temperature recorded at the concrete core (T1) at the 24th hour was 69.2°C, at the concrete edge (T6) at the 18th hour was 60.3°C, and the average optimum temperature at the 24th hour was 63.0°C.

Keywords: Concrete; Mass Concrete; Cooling Pipe System; Curing; Temperature

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2015 Tentang Kerja sama Pemerintah dengan Badan Usaha Dalam Penyediaan Infrastruktur, infrastruktur adalah fasilitas teknik, fisik, sistem, perangkat keras dan lunak yang diperlukan untuk melakukan pelayanan kepada masyarakat dan mendukung jaringan struktur agar pertumbuhan ekonomi dan sosial masyarakat dapat berjalan dengan baik. Pada saat ini, salah satu infrastruktur yang sedang berkembang pesat yaitu pembangunan jalan tol atau jalan bebas hambatan. Jalan tol adalah jalan umum untuk lalu lintas dengan pengendalian jalan masuk secara penuh dan tanpa adanya persimpangan sebidang serta dilengkapi dengan pagar ruang milik jalan (Undang - Undang Republik Indonesia, 2022). Jalan tol ini merupakan salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan konektivitas antar wilayah dan memperlancar kebutuhan ekonomi masyarakat, salah satunya yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A.

Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A ini dikelola oleh *Beijing Urban Construction Group-Hutama Karya Joint Operation*. Tujuan dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak adalah untuk menghubungkan Kota Semarang dengan Kabupaten Demak dan wilayah sekitarnya untuk mempercepat mobilitas orang dan barang, yang menjadi bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Jawa yang memperkuat konektivitas regional dan nasional. Serta menjadi alternatif jalur Pantura (Pantai Utara Jawa) yang sering mengalami kepadatan lalu lintas, khususnya di kawasan Kaligawe dan Genuk yang rawan macet. Khusus untuk Proyek Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1 (Kaligawe – Sayung), jalan tol ini dirancang juga sebagai tanggul laut atau *sea dike*, sehingga berfungsi ganda sebagai infrastruktur transportasi dan pelindung kawasan pesisir dari banjir rob yang selama ini kerap melanda wilayah pesisir Semarang.

Pada tugas akhir kali ini membahas mengenai perawatan beton, sering dijumpai pelaksanaan struktur beton dengan volume pekerjaan yang besar atau dikenal dengan beton massa (*mass concrete*). Pekerjaan beton massa ini juga digunakan pada Proyek Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A. Beton massa ini memiliki sifat khusus, yaitu selama proses pengerasan, beton tersebut mengalami kenaikan temperatur (suhu) sampai batas tertentu sebagai akibat dari pelepasan panas hidrasi semen *portland*. Kenaikan suhu beton tersebut bisa mencapai 85°C pada bagian dalamnya. Ukuran beton yang cukup besar/tebal dan karena beton mempunyai sifat “*Poor Thermal Conductivity*”, maka suhu ini tidak cepat turun, sehingga akan terjadi perbedaan suhu yang cukup besar antara bagian dalam dan bagian permukaan beton, apabila hal ini tidak dapat diantisipasi atau dikendalikan akan mengakibatkan retakan-retakan pada permukaan beton yang dapat berlanjut kebagian dalam beton sehingga dapat mempengaruhi kekuatan dari konstruksi beton tersebut. Maksimum perubahan suhu (*thermal shock*) yang dapat menyebabkan terjadinya kontraksi dan mengakibatkan retak adalah 40° C/jam (ACI.207, 2022;ACI 207, 1997).

Maka dari itu konstruksi beton massa (*mass concrete*) memerlukan perhatian khusus karena ketebalan dan jumlah dari pengecoran beton yang dilakukan. Semakin besar dan tebal ukuran elemen beton, maka penggunaan semen semakin tinggi sehingga diperlukan pengontrolan terhadap panas hidrasi. Perawatan beton yang dilakukan berbeda dengan beton biasa, pada beton massa kenaikan suhu beton harus bisa dikendalikan, salah satu metode yang bisa diterapkan adalah dengan menggunakan sistem pendingin mekanis. Sistem pendingin mekanis atau *cooling pipe system* adalah metode perawatan dimana pipa-pipa pendingin ditanam didalam beton dengan tujuan supaya dapat mengalirkan sirkulasi air untuk mengontrol kenaikan suhu pada beton massa. Untuk monitoring suhu pada metode sistem pendingin mekanis ini menggunakan sensor yang terhubung pada alat *thermocouple*.

Berdasarkan hal tersebut, muncul ketertarikan penulis untuk menganalisis metode sistem pipa pendingin mekanis dalam perawatan beton massa tersebut. Dengan judul penelitian “**Analisis Beton Mass Concrete Pada Pile Head Dengan Cooling Pipe System (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang**

- Demak Seksi 1A STA 8+314 – STA 10+394)”. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui metode sistem pipa pendingin mekanis dapat mengendalikan suhu untuk mengurangi keretakan pada beton bervolume besar (*mass concrete*) dan dapat menjadi pembelajaran serta acuan dalam menentukan metode pengendalian suhu *mass concrete* pada setiap proyek konstruksi yang ada.

1.2. Rumusan Masalah

Bersumber pada latar belakang yang telah dijabarkan di atas, dapat dihasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perawatan beton pada beton bervolume besar (*mass concrete*) menggunakan *cooling pipe system*?
2. Bagaimana hasil perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* untuk pengendalian suhu pada beton bervolume besar (*mass concrete*)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dihasilkan berdasarkan rumusan masalah adalah:

1. Mengidentifikasi perawatan beton pada beton bervolume besar (*mass concrete*) menggunakan *cooling pipe system*.
2. Mendapatkan hasil perawatan beton menggunakan *cooling pipe system* untuk pengendalian suhu pada beton bervolume besar (*mass concrete*).

1.4. Manfaat Penelitian

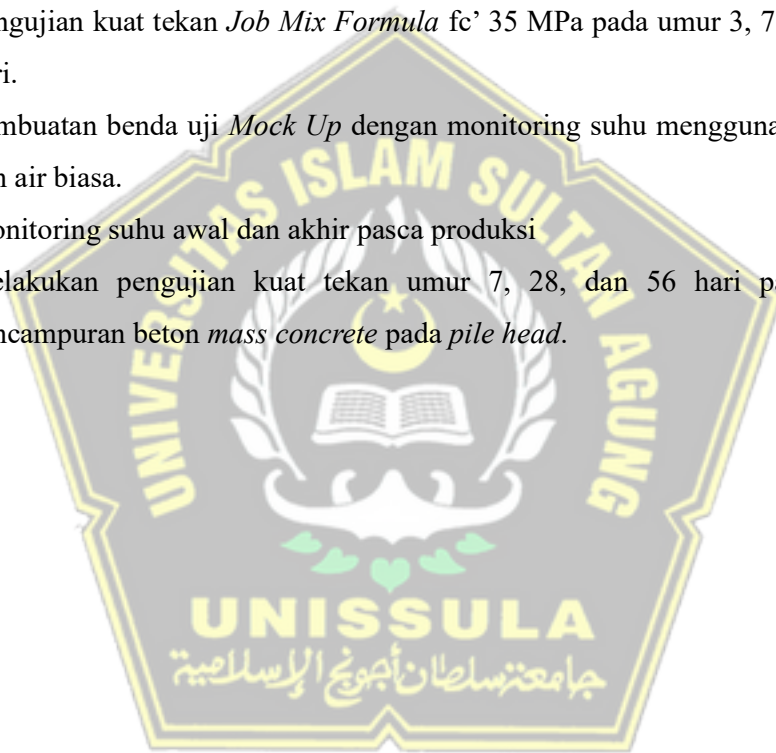
Manfaat dalam penelitian ini antara lain:

1. Manfaat bagi peneliti yaitu dapat meningkatkan pemahaman dan menjadi bekal dalam penggunaan metode sistem pendingin mekanis untuk pengendalian suhu terhadap penggunaan *mass concrete*.
2. Manfaat bagi penyedia jasa yaitu dapat dijadikan sebagai media pembelajaran serta dapat dijadikan rujukan apabila terdapat permasalahan yang serupa.
3. Manfaat bagi institusi pendidikan yaitu dapat dijadikan sebagai media pembelajaran.
4. Manfaat bagi masyarakat yaitu mendapatkan informasi umum dan wawasan terkait metode *mass concrete* dan penggunaan *cooling pipe system*.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini harus dibatasi untuk menghindari penyimpangan atau pelebaran pokok permasalahan, sehingga menjadikan penelitian lebih fokus dan mudah dibahas agar mencapai tujuan penelitian. Beberapa batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian berfokus pada pekerjaan beton bervolume besar (*mass concrete*) pada struktur *pile head* dengan perawatan beton menggunakan metode sistem pipa pendingin (*cooling pipe system*).
2. Pengujian kuat tekan *Job Mix Design* $f_c' 35$ MPa pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari.
3. Pengujian kuat tekan *Job Mix Formula* $f_c' 35$ MPa pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.
4. Pembuatan benda uji *Mock Up* dengan monitoring suhu menggunakan es batu dan air biasa.
5. Monitoring suhu awal dan akhir pasca produksi
6. Melakukan pengujian kuat tekan umur 7, 28, dan 56 hari pada sampel pencampuran beton *mass concrete* pada *pile head*.



1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun dengan tujuan untuk memberikan pedoman yang jelas dan terstruktur dalam menyusun Tugas Akhir ini. Sistematika penulisan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Menjabarkan gambaran mengenai topik yang akan diteliti ke dalam latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Meyajikan beberapa aspek validitas dan teknis yang berkaitan dengan analisis dalam penelitian ini. Penjelasan dan uraian teori yang diterapkan dalam penelitian ini akan menjadi sumber untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjabarkan metode yang diterapkan pada penelitian dimulai tahap penelitian, lokasi penelitian, bahan penelitian, waktu dan proses penelitian serta proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai *output* penelitian dan kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

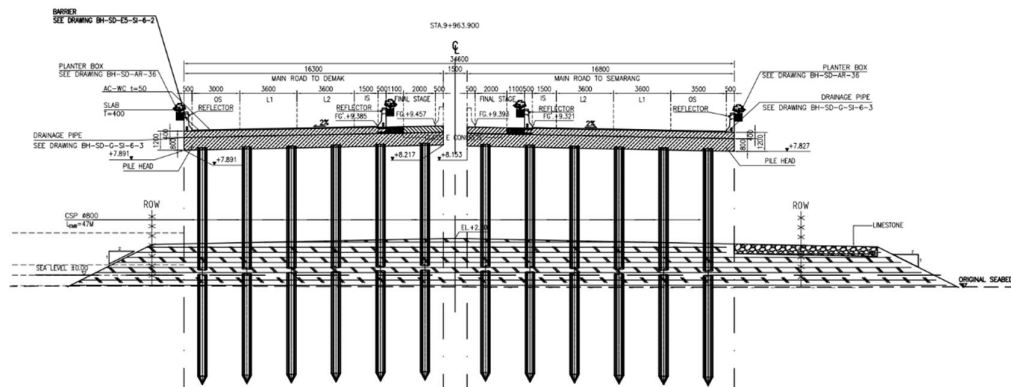
Menjabarkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan serta mengusulkan kemungkinan saran guna mendukung penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur *Slab On Pile*

Slab On Pile merupakan struktur yang terdiri dari *slab* (pelat), *pile head*, dan tiang pancang. Konsep perencanaan struktur jembatan harus tahan terhadap gempa, sehingga diharapkan struktur tidak mengalami kegagalan struktur apabila terjadi gempa ringan, sedang, ataupun kuat.



Gambar 2.1. Potongan Melintang *Slab On Pile*
(Sumber : Shop Drawing BUCG-HK JO)

2.1.1. Tiang Pancang

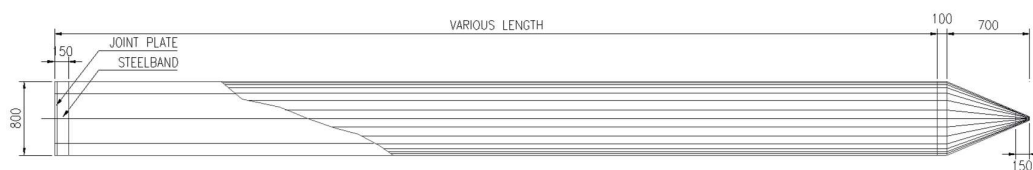
Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah (Bowles, 1991). Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai posisi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya (Sardjono HS, 1988). Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman > 8 m (Bowles, 1991). Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk

memindahkan atau mentrasfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam.

Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja. Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga dimana terdapat tekanan kesamping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Tiang Pancang umumnya digunakan :

1. Untuk mengangkat beban-beban konstruksi di atas tanah ke dalam atau melalui sebuah lapisan tanah. Di dalam hal ini beban vertikal dan beban lateral boleh jadi terlibat.
2. Untuk menentang gaya desakan keatas dan gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bawah bidang batas air jenuh atau untuk menopang kaki-kaki menara terhadap guling.
3. Memampatkan endapan-endapan tak berkohesi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan getaran dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
4. Mengontrol lendutan/penurunan bila kaki-kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah tepi atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
5. Sebagai faktor keamanan tambahan di bawah tumpuan jembatan dan atau kepala pilar, khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
6. Dalam konstruksi lepas pantai ntuk meneruskan beban-beban diatas permukaan air melalui air dan kedalam tanah yang mendasari air tersebut.

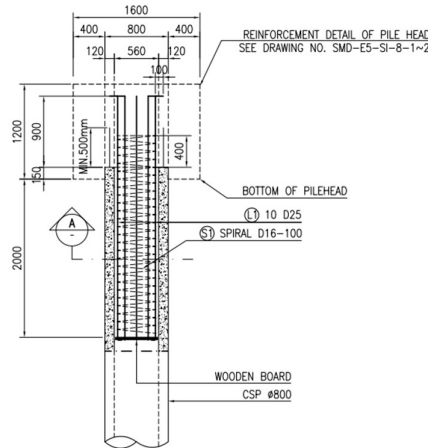


Gambar 2.2. Detail *Spun Pile* Dia. 80 cm

(Sumber : *Shop Drawing* BUCG-HK JO)

2.1.2. Pile Head Treatment

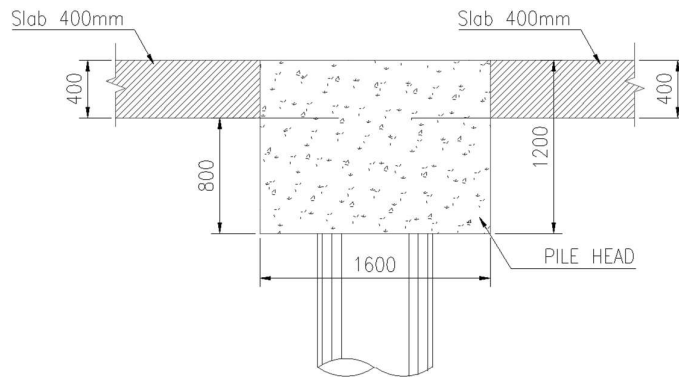
Secara struktur, untuk menyatukan penyatuan antara *pile head* dan tiang pancang serta untuk menambah integritas tiang pada bagian *freestanding*, maka rongga di dalam tiang pancang perlu diisi beton bertulang. Mutu beton isian tiang pancang adalah sama seperti mutu beton *pile head*, yakni mutu beton kelas A Fc' 35 MPa untuk mendapatkan kesatuan beton yang monolit.



Gambar 2.3. Detail *Pile Head Treatment*
(Sumber : *Shop Drawing* BUCG-HK JO)

2.1.3. Pile Head

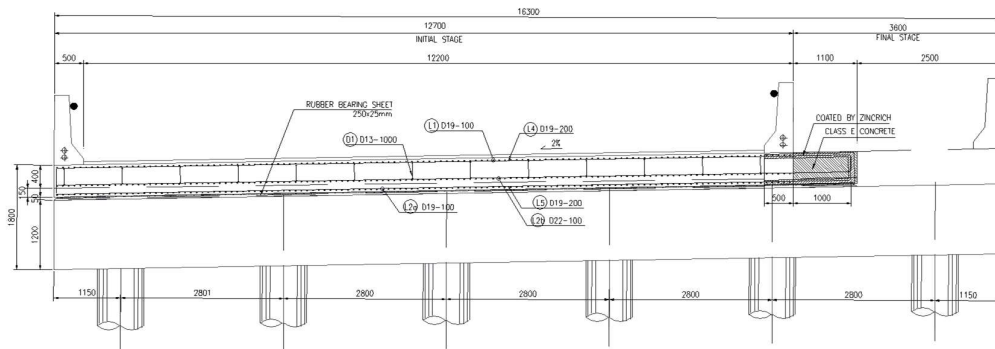
Pile head berfungsi sebagai tumpuan struktur di atasnya (*upper structure*) seperti *slab*, parapet, dan bangunan pelengkap jalan lainnya. *Pile head* terbagi 2 tipe, yaitu *pile head* menerus dan *pile head expansion joint*. *Expansion joint* merupakan bahan yang dipasang di antara dua bidang lantai beton untuk kendaraan atau pada perkerasan kaku dan merupakan pertemuan antara konstruksi jalan pendekat sebagai media lalu lintas yang berfungsi untuk mengakomodasi gerakan yang terjadi pada bagian *upper structure*. Gerakan ini berasal dari beban hidup, perubahan suhu, dan sifat fisik.



Gambar 2.4. Detail *Pile Head*
(Sumber : *Shop Drawing* BUCG-HK JO)

2.1.4. Slab (Pelat)

Slab adalah elemen struktural yang memiliki ketebalan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensi lainnya. Biasanya, *slab* digunakan sebagai lantai atau atap dalam bangunan dan umumnya terbuat dari beton bertulang. *Slab* dapat berbentuk *solid*, jenis *wafel* atau bergaris, dan dapat dikategorikan menjadi *slab* satu arah dan dua arah tergantung pada cara *slab* tersebut menanggung beban. Struktur *slab* memberikan keuntungan dalam hal ketahanan dan fleksibilitas desain pada bangunan beton bertulang (Sancheti et al., 2021).



Gambar 2.5. Detail *Slab*
(Sumber : *Shop Drawing* BUCG-HK JO)

2.2. Beton

Beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu, beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan, dan jalan. Ada berbagai macam jenis pekerjaan beton, antara lain beton bertulang, beton tidak bertulang, beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*), beton kinerja tinggi, beton bervolume besar (*mass concrete*), beton pratekan, beton pracetak, serta beton untuk struktur baja komposit.

Pada zaman sekarang ini beton sangat banyak dipakai di banyak proyek konstruksi. Hal itu dikarenakan beton memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya. Kelebihan tersebut antara lain harganya relatif murah, mempunyai kekuatan yang baik, bahan baku penyusun yang mudah didapat, tahan lama, tahan api, serta tidak mengalami pembusukan. Oleh karena minat yang tinggi terhadap penggunaan beton ini, maka inovasi terhadap beton ini selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan beton yang semakin tinggi. Inovasi tersebut harus menghasilkan kualitas beton yang tinggi dengan memperhitungkan nilai ekonomis dari beton itu.

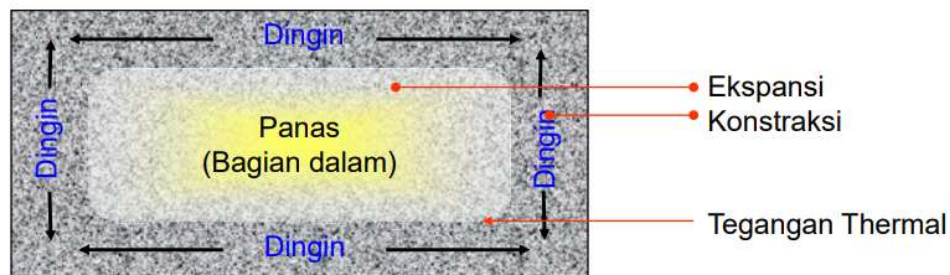
2.2.1. Beton Kinerja Tinggi

Beton kinerja tinggi adalah beton yang memiliki kinerja khusus dan persyaratan keseragaman (*uniformity*) yang tidak selalu dapat dicapai hanya oleh material, pencampuran (*mixing*) normal, penempatan (*placing*), dan perawatan (*curing*) konvensional. Persyaratan kinerja tersebut meliputi penempatan dan pemadatan tanpa segregasi. Kekuatan awal (*early age strength*), keteguhan (*toughness*), stabilitas volume (*volume stability*), serta masa layan (*service life*) seperti beton memadat sendiri (*self compacting concrete*, SCC).

2.2.2. Beton Bervolume Besar (Mass Concrete)

Beton bervolume besar (*mass concrete*) adalah beton dengan ukuran relatif besar dengan dimensi terkecil sama atau lebih besar dari satu meter atau komponen struktur dengan ukuran lebih kecil dari satu meter tetapi mempunyai potensi menghasilkan temperatur maksimum atau puncak melebihi batas temperatur yang diizinkan. Dimensi khusus ini mengharuskan langkah – langkah yang diambil untuk mengatasi panas yang ditimbulkan oleh hidrasi semen dan perubahan volume yang ada untuk mengurangi retak. Salah satu karakteristik yang membedakan beton memadat sendiri dari pekerjaan beton lainnya adalah perilaku termal.

Desain beton massa (*mass concrete*) berdasarkan perubahan temperatur, *durability* dan ekonomis. Kekuatan tidak menjadi perhatian utama dalam desain beton massa. Perubahan temperatur menjadi perhatian utama karena perbedaan temperatur yang terlalu besar antara inti dengan permukaan dan dasar dapat menimbulkan tegangan internal beton. Beton memiliki sifat “*Poor Thermal Conductivity*” sehingga beton dengan volume yang besar memerlukan waktu yang relatif lebih 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.



Gambar 2.6 *Poor Thermal Conductivity*

(Sumber : *Mock Up Report Beton Mass Concrete BUCG-HK JO*)

Menurut Spesifikasi Umum Jalan Tol 2020 beton dengan volume besar harus memenuhi kriteria :

1. Temperatur suhu maksimum beton sebesar 71°C
2. Bila tidak dinyatakan pada Rencana Pengendalian Temperatur, perbedaan temperatur maksimum yang diizinkan 21°C

2.3. Perancangan Komposisi Campuran Beton (*Mix Design* Beton)

Mix design beton merupakan suatu metode untuk membuat suatu campuran beton dengan bahan dasar semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (*split* atau batu pecah), air, serta bahan tambah (*admixture*). Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan *mix design* beton adalah asal material, kekuatan, serta nilai ekonomisnya. *Mix design* beton banyak dilakukan untuk mengetahui berapa campuran beton yang akan digunakan pada saat pembuatan beton pada pekerjaan konstruksi. Proporsi campuran beton harus menghasilkan beton yang memenuhi persyaratan yaitu kekentalan memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan, dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara sama (homogen), keawetan, kuat tekan, dan nilai ekonomis juga merupakan syarat umum dalam pelaksanaan *mix design* beton.

Kekuatan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur beton 28 hari dan setelah itu peningkatan kekuatannya akan semakin kecil. Selain itu kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain proporsi unsur-unsur penyusunnya, metode perancangan (*mix design*), perawatan, dan keadaan saat pelaksanaan pengecoran. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kekuatan beton adalah faktor air semen (FAS), jumlah semen, umur beton, sifat agregat, dan bahan tambah lainnya serta penggunaan *admixture*. Menurut Neville (2011) dalam buku "*Properties of Concrete*", *mix design* adalah upaya untuk memilih bahan penyusun beton dan menentukan proporsinya sehingga beton yang dihasilkan memenuhi kriteria kerja (*workability*), kekuatan, ketahanan (*durability*), dan biaya optimum.

2.4. Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari agregat, semen, air, serta bahan tambah apabila diperlukan. Agregat terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Bahan penyusun beton tersebut memiliki spesifikasi tertentu sehingga dapat dikatakan layak dan dapat digunakan dalam campuran beton.

2.4.1. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Agregat dapat mengisi kurang lebih 60% - 70% dari berat campuran beton. Meskipun hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton atau mortarnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton/mortar. Untuk membedakan jenis agregat yang sering dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya.

Agregat dengan ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedang yang berbutir kecil disebut agregat halus. Sebagai batas antara ukuran butiran yang kasar dan yang halus adalah 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM) disebut agregat kasar, dan agregat yang lebih kecil dari 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM) disebut agregat halus. Agregat dengan ukuran yang lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua yaitu yang berdiameter antara 4,80 mm – 40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar (Mulyono, 2003).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya pekerjaan jalan, tanggul, bronjong, dan bendungan. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan krikil, *split*, dan kricak (Mulyono, 2003).

Tabel 2.1. Ketentuan Mutu Agregat

Sifat-Sifat	Metode Pengujian	Batas Maksimum yang Diizinkan	
		Agregat Halus	Agregat Kasar
Keausan agregat dengan mesin Los Angeles	AASHTO T96-02(2015) atau SNI 2417:2008	-	40%
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat, kehilangan setelah 5 siklus	AASHTO T104-99(2011) atau SNI 3407:2008	10% untuk natrium sulfat	12% untuk natrium sulfat
		15% untuk magnesium sulfat	18% untuk magnesium sulfat
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah	AASHTO T112-00(2012) atau SNI 4141:2015	3%	2%
Bahan yang lolos saringan no.200	AASHTO T11-05(2013) atau SNI ASTM C117:2012	5% untuk kondisi umum, 3% untuk kondisi permukaan terabrasi	1%
Kotoran organik	AASHTO T21-15 atau SNI 2816:2014	Plat organik no.3	-

Sumber : Spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Tahun 2020

2.4.2. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir – butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir – butiranya bervariasi, akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori – porinya menjadi sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi.

Pada agregat untuk pembuatan beton diupayakan suatu butiran yang kemampatannya tinggi, karena volume porinya tinggi, sehingga hanya membutuhkan bahan ikat sedikit. Sebagai pernyataan dalam perhitungan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau terlewat dalam suatu ayakan. Secara teoritis gradasi agregat yang terbaik adalah yang didasarkan pada karakteristik butir – butir agregatnya. Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, gradasi pasir di bagi menjadi empat kelompok yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar.

Tabel 2.2. Ketentuan Gradasi Agregat

Ukuran Saringan		Persen Bahan Yang Lolos Untuk Agregat					
ASTM	(mm)	Halus*	Kasar				
			Ukuran Nominal Maksimum				
			37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm
2"	50,8	-	100	-	-	-	-
1 1/2"	38,1	-	90-100	100	-	-	-
1"	25,4	-	-	95-100	100	-	-
3/4"	19	-	35-70	-	90-100	100	-
1/2"	12,7	-	-	25-60	-	90-100	100
3/8"	9,5	100	10-30	-	30-65	40-75	90-100
No.4	4,75	95-100	0-5	0-10	5-25	5-25	20-55
No.8	2,36	80-100	-	0-5	0-10	0-10	5-30
No.16	1,18	50-85	-	-	0-5	0-5	0-10
No.50	0,3	10-30	-	-	-	-	0-5
No.100	0,15	2-10	-	-	-	-	-
Catatan :							
* : Tidak merujuk gradasi agregat halus dalam SNI 03-2834-2000							

Sumber : Spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Tahun 2020

2.4.3. Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, definisi semen adalah bahan perekat atau lem yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata atau batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat (Bonardo Pangaribuan, 2013).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, *semen portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO}.\text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dengan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih batu kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4.x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen *portland* bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO}.\text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4.x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat

cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara *irreversible*, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Ada beberapa jenis semen menurut SNI antara lain :

1. *Portland Cement*

Adalah jenis paling umum dari semen dalam penggunaan umum di seluruh dunia karena merupakan bahan dasar beton dan plesteran semen.

2. *Super Masonry Cement*

Semen ini lebih tepat digunakan untuk konstruksi perumahan gedung, jalan, dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. Dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng beton, *hollow brick*, *paving block*, tegel, dan bahan bangunan lainnya.

3. *Oil Well Cement*

Merupakan semen khusus yang lebih tepat digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi dan gas alam dengan konstruksi sumur minyak bawah permukaan laut dan bumi. Untuk saat ini jenis OWC yang telah diproduksi adalah *class G* dan HSR (*High Sulfat Resistance*) disebut juga “*basic OWC*”. Bahan *additive* atau bahan tambah dapat ditambahkan hingga menghasilkan kombinasi produk OWC untuk pemakaian pada berbagai kedalaman dan temperatur.

4. *Portland Pozzolan Cement*

Adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling *clinker*, *gypsum*, dan bahan *pozzolan*. Produk ini lebih tepat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi, dan pondasi pelat penuh.

5. Semen Putih

Digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*) dan sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.

6. *Portland Composite Cement*

Digunakan untuk bangunan – bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan OPC dengan kuat tekan yang sama. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC

sehingga dalam pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton atau plester yang lebih rapat dan lebih rapi.

Menurut SK-SNI T-15-1990-03 semen *portland* / *Ordinary Portland Cement* (OPC) dibedakan menjadi beberapa, yaitu :

1. *Portland Cement Type I*

Merupakan jenis semen yang paling banyak dibutuhkan oleh masyarakat luas dan dapat digunakan untuk seluruh aplikasi yang tidak membutuhkan persyaratan khusus.

2. *Portland Cement Type II (Moderate sulfat resistance)*

Merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen *portland* tipe I serta tahan terhadap sulfat. Semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen *portland* tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga, dan landasan berat yang ditandai adanya kolom – kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

3. *Portland Cement Type III (High Early Strength Portland Cement)*

Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera di lepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin.

4. *Portland Cement Type IV (Low Heat Of Hydration)*

Tipe semen dengan panas hidrasi rendah. Semen tipe digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang *portland* tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses *curing* merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah bersuhu panas.

5. *Portland Cement Type V (Sulfat Resistance Cement)*

Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang

tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga listrik.

Tabel 2.3. Syarat Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		lihat tabel 2.4.
Beton yang kontinyu berhubungan :		
a. Air tawar		lihat tabel 2.5.
b. Air laut		

Sumber : SNI 03-2834-1993

Tabel 2.4. Ketentuan Untuk Beton yang Berhubungan Dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₂			Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum Ukuran Nominal Agregat Maksimum (Kg/m ³)			Faktor Air Semen
	Dalam Tanah	Sulfat (SO ₂) Dalam Air Tanah g/l			40 mm	20 mm	10 mm	
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa <i>pozzolan</i> (15-40%)	80	300	350	0,50
2	0,2 - 0,5	1,0 - 1,9	0,3 - 1,2	Tipe I dengan atau tanpa <i>pozzolan</i> (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe I <i>pozzolan</i> (15-40%) atau semen <i>portland pozzolan</i>	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5-1,0	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I <i>pozzolan</i> (15-40%) atau semen <i>portland pozzolan</i>	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe V lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Sumber : SNI 03-2834-1993

Tabel 2.5. Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan yang Berhubungan Dengan	Faktor Air Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen	
				Ukuran Nominal	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra-tegang	Air tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + <i>pozzolan</i> (15-40%) atau semen <i>portland pozzolan</i>	340	380
	Air laut	0,50	Tipe II atau Tipe V		
		0,45	Tipe II atau Tipe V		

Sumber : SNI 03-2834-1993

2.4.4. Air

Dalam suatu adukan beton, air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting, namun harganya paling murah. Air digunakan untuk menjadi bahan pelincir antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air diperlukan hanya sekitar 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air-semen yang dipakai jarang sekali kurang dari 30 %, selebihnya digunakan sebagai pelincir. Secara umum, air dapat digunakan sebagai bahan pancampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang memakai air suling. Syarat-syarat air yang dapat digunakan sebagai pencampur beton adalah sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/ liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik, dan sebagainya lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dri 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.4.5. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen (FAS) atau *Water Cement Ratio* (WCR) adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton karena FAS merupakan perbandingan jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Jadi dapat dikatakan fungsi FAS yaitu :

1. Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan berlangsungnya pengerasan.

2. Memberikan pengerjaan beton.

Peningkatan kemudahan jumlah air dan dalam akan meningkatkan kemudahan pengerjaan dan pemadatan, tetapi akan mereduksi kekuatan beton, menimbulkan segregasi dan *bleeding*. Pada umumnya tiap partikel membutuhkan air supaya plastis sehingga dapat dengan mudah dikerjakan. Harus ada cukup air terserap pada permukaan partikel, yang kemudian air tersebut akan mengisi ruang antar partikel. Partikel halus memiliki luas permukaan yang besar sehingga butuh air yang banyak. Dilain pihak tanpa partikel halus beton tidak akan mencapai plastisitas. Jadi Faktor Air Semen (FAS) tidak dapat dipisahkan dengan *grading* agregat.

2.4.6. *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa *silica* dan alumina dimana bahan *pozzolan* itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen, akan tetapi dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa – senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu kamar membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat yang mempunyai sifat seperti semen.

Standar mutu *pozzolan* telah diatur dalam ASTM C 618-86 (Aman Subakti, 1994), yang dibedakan menjadi tiga kelas :

1. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran *pozzolan* alam, yang dapat digolongkan ke dalam jenis seperti : tanah *diatomic*, *opaline cherts*, *shales*, *tuff*, dan abu terbang vulkanik atau *pumicite*. Semuanya bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa melalui pembakaran.

2. Kelas C

Fly ash mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara.

3. Kelas F

Fly ash mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

Menurut ASTM C 593-82 (Aman Subakti, 1994) dilihat dari proses pembentukannya, bahan *pozzolan* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu

pozzolan buatan dan *pozzolan* alam. *Pozzolan* buatan berasal dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*) dan mikro silika (*silica fume*). Sedangkan *pozzolan* alam adalah bahan alam yang merupakan timbunan – timbunan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif dan bila dicampur dengan kapur padam akan terjadi proses sedimentasi.

Salah satu contoh *pozzolan* alam adalah batu apung. Batu apung adalah salah satu contoh dari *pozzolan* alam, yang terjadi disebabkan oleh lemparan lava dan pendinginan yang cepat di udara sehingga terbentuk pori – pori, kaya dengan dengan kandungan gelas / silikat dan umumnya berwarna terang, oleh karena itu batu apung ringan dan memiliki berat jenis lebih kecil dari satu (Anonimus, 2004).

Tabel 2.6. Jumlah Tertentu *Pozzolan* dan Bahan Lain

Bahan dan Kelas Bahan	Persentase Banyaknya Volume Absolut Bahan Pengikat	
	Beton Terlindung / Tak Terpapar (<i>Unexposed</i>)	Beton Tak Terlindung / Terpapar (<i>Exposed</i>)
<i>Pozzolan</i> (ASTM C 618) :		
Kelas F	35	25
Kelas N, semua tipe kecuali tanah diatomae tidak dibakar	30	20
Bahan-bahan lainnya :		
Terak atau semen alami	35	25

Sumber : SNI 7656:2012

2.4.7. *Bahan Tambah (Additive)*

Additive digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kinerja beton, dapat berupa bahan kimia, bahan mineral, serta hasil limbah yang berupa serbuk pozzolanik sebagai bahan pengisi pori dalam campuran beton. Secara umum, bahan tambah terbagi menjadi dua kategori utama:

1. Bahan tambah kimia (*chemical admixtures*) – seperti *superplasticizer*, *retarder*, *accelerator*, *air-entraining agent*.
2. Bahan tambah mineral (*mineral admixtures*) – seperti *fly ash*, *silica fume*, *slag*, *metakaolin*.

2.5. Uji *Slump* Beton

Tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton yang dinyatakan dalam nilai tertentu. *Slump* didefinisikan sebagai besarnya penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat (SNI 03-1972-2008). Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk kerucut terpancung yang memiliki diameter lubang atas 10 cm, diameter lubang bawah 20 cm, tinggi 30 cm serta dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat berdiameter 1,6 cm sepanjang 60 cm. Nilai *slump* dipengaruhi oleh faktor air semen. Semakin tinggi fas maka nilai *slump* akan semakin tinggi yakni menggunakan banyak air dan sedikit semen, sehingga pasta semen lebih encer dan mengakibatkan nilai *slump* lebih tinggi. Semakin besar nilai *slump test* berarti adukan beton semakin mudah dikerjakan. *Slump* beton ada tiga jenis :

1. *True slump* (*slump* normal) : beton turun secara merata.
2. *Shear slump* : beton miring ke satu sisi.
3. *Collapse slump* : beton benar-benar runtuh, biasanya karena terlalu banyak air.

Tabel 2.7. Nilai *Slump* yang Dianjurkan

Tipe Konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dan dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI 7656:2012

2.6. Uji Kuat Tekan Beton

Pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per-satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan

oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang dan Salmon, 1990).

2.7. Perawatan Beton

Perawatan beton, bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai. Tujuan pelaksanaan perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam, sehingga dapat menyebabkan retak. Pelaksanaan perawatan beton dilakukan segera setelah beton mengalami atau memasuki fase *hardening* (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/acuan/bekisting, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton.

Ada beberapa metode perawatan beton antara lain :

1. Metode air

Seluruh permukaan yang terbuka selain *slab*, harus dilindungi dari sinar matahari dan seluruh struktur harus dilapisi atau ditutup kain goni, plastik, atau kain lain yang dibasahi sekurang – kurangnya tujuh hari. Material – material harus tetap basah selama jangka waktu tersebut. *Kerb*, dinding, dan permukaan lain yang harus di-*finishing* dengan digosok bisa dibuka dahulu penutupnya sementara, tetapi harus segera ditutup lagi setelah *finishing* selesai. Seluruh *concrete slab* harus secepat mungkin ditutupi dengan pasir, tanah, atau material lain yang memadai dan harus selalu basah sekurang – kurangnya selama tujuh hari. Material penutup ini tidak boleh dibersihkan dari permukaan *concrete slab* sebelum beton mencapai umur 21 hari. Bila cetakan dari kayu, boleh tetap di

tempat selama jangka waktu perawatan, maka harus dibuat selalu basah agar tidak menyusut.

2. Selaput pengawet (*membrane – forming curing compound*)

Seluruh permukaan harus di-*finishing* dulu sebelum dirawat dengan dilapisi dengan bahan ini. Selama masa *finishing* beton harus dilindungi dengan metode perawatan air. Bahan pengawet selaput harus digunakan setelah cetakan dibongkar atau bila air permukaan sudah hilang. Bahan ini harus disemprotkan pada permukaan beton satu kali lapisan atau lebih dengan kecepatan sesuai instruksi dari pabrik pembuatnya. Bila bahan pengawet pecah atau rusak sebelum berakhirnya periode perawatan, daerah yang rusak harus diperbaiki dengan memberikan bahan material pengawet selaput.

3. Perawatan dengan uap (*Steam curing*)

Steam curing adalah proses perawatan beton dengan menggunakan uap air panas, di mana beton dimasukkan ke dalam ruang tertutup (seperti *curing tank*) setelah pengecoran. Dalam ruang ini, beton dikenai tekanan uap, suhu, dan waktu tertentu untuk mempercepat proses hidrasi semen. Tujuan utamanya adalah untuk mempercepat pengembangan kekuatan awal beton, memungkinkan pelepasan cetakan lebih cepat, dan meningkatkan efisiensi produksi, terutama dalam industri pracetak.

2.8. Sistem Pendingin Mekanis

Sistem Pendingin Mekanis dalam Beton adalah metode yang digunakan untuk mengendalikan suhu beton selama proses hidrasi, terutama pada struktur beton massal. Tujuannya adalah untuk mencegah retak termal akibat perbedaan suhu antara bagian dalam dan permukaan beton. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah sistem pipa pendingin (*pipe cooling system*), di mana pipa-pipa ditanam di dalam beton dan dialiri air dingin untuk menyerap panas yang dihasilkan selama hidrasi semen.

2.9. Thermocouple

Thermocouple merupakan alat ukur suhu yang sangat penting dalam proses pengecoran beton, terutama untuk pengecoran berskala besar. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip termoelektrik, di mana perbedaan suhu antara dua logam berbeda jenis akan menghasilkan tegangan listrik. Tegangan listrik ini kemudian diukur dan dikonversi menjadi nilai suhu oleh alat ukur. *Thermocouple* dapat berperan dalam menjaga kualitas beton. Seperti yang tertuang dalam standar ACI 301, pengendalian suhu beton merupakan hal yang sangat penting untuk mencegah terjadinya berbagai masalah seperti retak, penurunan kekuatan, atau bahkan kegagalan struktur. Batasan suhu maksimum 160°F (70°C) dan perbedaan suhu maksimum antara pusat dan permukaan pengecoran tidak boleh melebihi 35°F (19°C) (Standard, 2011). Batas suhu maksimum 160°F (70°C) ditetapkan untuk mencegah terjadinya serangan *ettringite* tertunda (DEF), sebuah proses di mana kristal *ettringite* terbentuk secara lambat dan menyebabkan retak serta penurunan kekuatan beton. Sementara itu, batasan perbedaan suhu maksimum 35°F (19°C) bertujuan untuk mencegah terjadinya retak akibat perubahan suhu yang terlalu besar. Perubahan suhu yang signifikan dapat memicu tegangan termal dalam beton, yang jika diabaikan dapat menyebabkan retak. Dengan menggunakan *thermocouple*, kita dapat memantau suhu beton secara kontinu dan mengambil tindakan pencegahan jika suhu mulai melampaui batas yang telah ditentukan. Hal ini memungkinkan beton mengeras secara merata dan mencapai kekuatan optimal, sehingga meningkatkan daya tahan struktur. Penggunaan *thermocouple* dalam pemantauan suhu beton merupakan salah satu Langkah penting dalam memastikan kualitas dan daya tahan struktur beton.

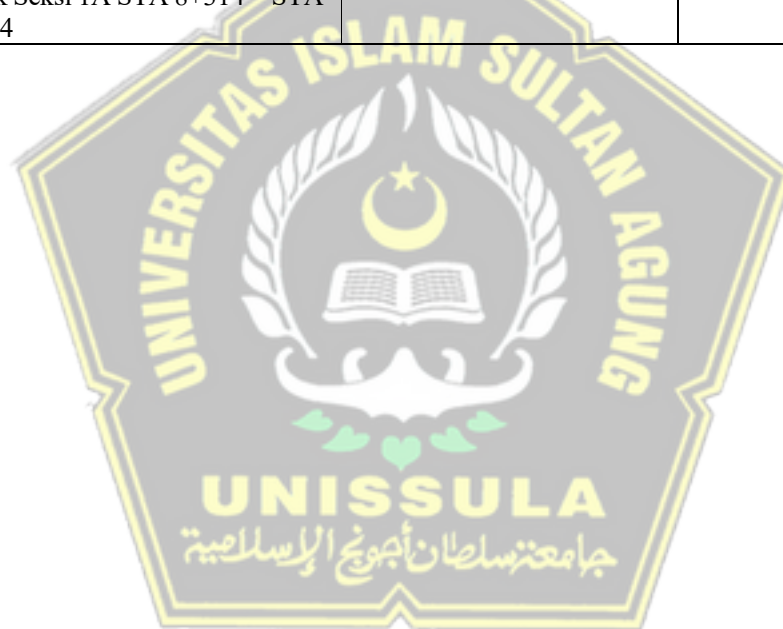
Terdapat berbagai jenis *thermocouple* dengan berbagai macam kriteria. Pemilihan jenis *thermocouple* yang tepat sangat bergantung pada kebutuhan, seperti rentang suhu yang ingin diukur, kondisi lingkungan kerja, dan tingkat akurasi yang diperlukan. Beberapa jenis *thermocouple* yang umum digunakan antara lain Tipe K yang paling populer karena fleksibilitasnya, Tipe J dan T untuk pengukuran suhu rendah, Tipe E dengan sensitivitas tinggi, Tipe N yang tahan korosi, serta Tipe R, S, dan B yang digunakan untuk suhu sangat tinggi dengan akurasi tinggi.

2.10. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

Tabel 2.8. Keaslian Tugas Akhir

NO	PENULIS	JUDUL	METODE	HASIL
1.	M. Dede Pardede, Fatmawati Oemar (2020)	Pengendalian Suhu Beton Massa 3500 m ³ Menggunakan Balok Es Dan Pengaruhnya Terhadap Beton (Studi Kasus : Pondasi Raft Gedung PPAG2)	Bersifat analitis. Kegiatan penelitian dilaksanakan melalui studi lapangan dan studi kepustakaan.	Suhu beton segar tertinggi adalah 29°C, <i>Workability</i> tercapai dengan <i>slump</i> rata-rata 16±2, Temperatur puncak mencapai 79,5°C, Temperatur antar lapisan beton dengan suhu tertinggi 19,2°C, Test kuat tekan beton umur 7 hari mencapai 37 MPa.
2.	Gerardus Mayella Benny Darmawan (2021)	Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Beton Dalam Skala Besar (<i>Mass Concrete</i>)	Metode penelitian yang ini adalah metode penelitian kuantitatif eksperimen.	Metode pendinginan yang dilakukan berpengaruh pada penurunan suhu, yaitu berkisar 2 – 5 °C, dan dilaksanakan kurang lebih 12 jam.
3.	Rochaeti, Jul Endawati, Lilian Diasti Dessi Widuri dan Moeljono (2021)	Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type II Terhadap Ketebalan Elemen Beton	Pelaksanaan penelitian ini berdasarkan Kajian Laboratorium.	Perbedaan suhu antara bagian inti dan bagian atas pada <i>thermocouple</i> 13, 16, 17, 21 dan 23 melebihi 20 °C dapat menjadi pemicu terjadinya retak mikro di bagian dalam beton.
4.	Siti Abadiyah, Basirun, Jamaludin Harits Nur Hafidz (2021)	Studi Perbedaan Temperatur Beton Massa Pada Pekerjaan <i>Raft Foundation</i> Dengan Ketebalan 2,5 Meter	Metode penelitian yang diterapkan adalah metode penelitian kuantitatif eksperimen.	Didapatkan temperatur puncak terjadi pada hari ke-2 dan ke-3 setelah pengecoran selesai. Temperaur yang terdapat paling tinggi secara keseluruhan terjadi pada bagian tengah atau inti beton.
5.	Akbar Wicaksono, Naufal Musyrif Dzaki (2024)	Metode Sistem Pendingin Mekanis (<i>Cooling System</i>) Untuk <i>Mass Concrete</i> Pada <i>Abutment Slab On Pile (Sop)</i> 8 dan <i>Overpass</i> Di Jalan Bebas Hambatan Ikn Seksi 5B	Metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan pengujian eksperimental.	Penggunaan sistem pendingin mekanis menggunakan sistem bak tertutup lebih efektif dibandingkan penggunaan sistem pendingin mekanis menggunakan sistem bak terbuka.

6.	Yusuf Suranto , Olvi Pamadya (2024)	Analisis Metode Pendinginan Pengecoran <i>Pile Cap</i> Pada Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek	Jenis penelitian ini adalah penelitian observasional dengan pendekatan kuantitatif.	Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian suhu beton massa sangat penting untuk mencegah retak termal dan memastikan kualitas struktural yang baik..
7.	Dina Novianti, Rayhan Maulana Prakusya (2025)	Analisis Beton <i>Mass Concrete</i> pada <i>Pile Head</i> dengan <i>Cooling Pipe</i> <i>System</i> (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1A STA 8+314 – STA 10+394	Metode penelitian yang dilakukan yaitu pengujian eksperimental.	-



BAB III

METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan yaitu pengujian eksperimental. Menurut Sugiyono (2019: 111), metode penelitian eksperimen merupakan metode kuantitatif yang dilakukan untuk mengendalikan pengaruh variabel bebas (perlakuan) terhadap variabel terikat (hasil). Dan menurut Kerlinger (2006:315), menyatakan bahwa metode penelitian eksperimen sebagai suatu penelitian ilmiah dimana peneliti memanipulasi dan mengontrol satu atau lebih variabel bebas dan melakukan pengamatan terhadap variabel-variabel terkait untuk menentukan variasi yang muncul bersamaan dengan manipulasi terhadap variabel bebas tersebut. Jadi metode penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dari satu atau lebih variabel terkait dengan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu keadaan yang terkendali. Pada beberapa definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian eksperimental adalah metode penelitian yang digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara satu variabel atau lebih secara sistematis. Pada penelitian yang dilakukan sekarang, maka peneliti berperan aktif dalam memanipulasi satu variabel (variabel bebas) untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel lain (variabel terikat). Dengan mengendalikan variabel lain yang dapat memengaruhi hasil, peneliti dapat menarik kesimpulan yang lebih kuat tentang hubungan sebab-akibat.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan selama penelitian diantaranya yaitu:

- a. Material agregat halus Ex. Klaten.
- b. Material agregat kasar berukuran 10-20 mm Ex. Batang.
- c. Semen yang dipakai selama pembahasan ini yaitu semen *portland* Jenis I dari PT. Semen Imasco Asiatic.
- d. Beton bervolume besar (*mass concrete*) ini menggunakan campuran bahan tambah *fly ash* tipe f dari PT. Hongfa Jaya Internasional.

- e. Beton bervolume besar (*mass concrete*) ini menggunakan campuran bahan tambah *Additive* beton tipe d dari PT. Auk New Material.
- f. Beton bervolume besar (*mass concrete*) ini menggunakan campuran bahan tambah *Additive* beton tipe f dari PT. Auk New Material.
- g. Beton bervolume besar (*mass concrete*) ini menggunakan air bersih dari sumur bor *CRBC-BUCG Batcing Plant*.

3.2.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan selama pembahasan berlangsung yaitu:

a. Alat Material *Treatment*

Peralatan yang dipakai untuk material *treatment* adalah termometer digital beton.

b. Alat *Job Mix Design*

Peralatan yang dipakai untuk *job mix design* adalah:

1. Alat pengukuran menggunakan timbangan digital dan gelas ukur.
2. Alat pengadukan menggunakan *mixer* beton dan sekop/cangkul.
3. Alat pengujian menggunakan alat uji *slump*, cetakan silinder, alat penumbuk, *vibrator* beton, dan *compression testing machine*.
4. Alat tambahan untuk membantu pelaksanaan adalah talam atau ember, sekop atau cetok, kuas, dan alat perata.

c. Alat *Job Mix Formula* dan Pembuatan benda Uji *Mock Up*

Alat-alat yang dipakai untuk *job mix formula* adalah *batching plant*, *truck mixer*, bekisting multiplek, *vibrator* engin, *hollow 50 x 50*, *steel formwork*, *thermocouple*, *hottemp*, alat uji *slump*, cetakan silinder, alat penumbuk, *vibrator* beton, dan *compression testing machine*. Selain alat-alat di atas, ada juga alat pendukung seperti talam atau ember, sekop atau cetok, kuas, alat perata, karung.

d. Alat Pencampuran Beton Bervolume Besar (*Mass Concrete*)

Alat-alat yang dipakai untuk *job mix formula* adalah *batching plant*, *crane service*, alat ukur, *truck mixer*, *concrete pump*, *bucket/tremi*, *termocouple*, *hottemp*, alat uji *slump*, cetakan silinder, alat penumbuk, vibrator beton, *compression testing machine*. Selain alat-alat di atas, ada juga alat pendukung seperti talam atau ember, sekop atau cetok, kuas, dan alat perata.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang peneliti lakukan terdapat dua jenis yaitu:

a. Data Sekunder

Pengumpulan data dari beberapa literatur yang membahas tentang konstruksi jalan serta beberapa literatur mengenai spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Materials* (ASTM) dalam dunia konstruksi jalan yang dapat menunjang keberhasilan penelitian. Selain itu, data sekunder diperoleh dari konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

b. Data Primer

Hasil dari pembahasan yang dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A akan mendapatkan data primer yang terdiri dari:

- Uji *Properties* Material
- Data *Job Mix Design* (JMD)
- Data *Job Mix Formula* (JMF)
- Laporan Hasil Pembuatan Benda Uji Mock Up

3.4. Pemeriksaan Karakteristik Material

3.4.1. Pemeriksaan Agregat Halus dan Agregat Kasar

Setiap agregat halus maupun agregat kasar harus sesuai standar agregat agar dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sehingga konstruksi perkerasan jalan lebih baik dan awet. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan agregat kasar dan halus yang terdiri dari:

- a. Pengujian analisa ayak agregat halus dan agregat kasar sesuai dengan pedoman SNI ASTM C136:2012
- b. Pengujian kadar air agregat halus dan agregat kasar sesuai dengan pedoman SNI 03-1971-1990.
- c. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai dengan pedoman SNI 03-1970-1990.
- d. Pengujian kadar butir halus lewat saringan no. 200 agregat halus dan agregat kasar sesuai dengan pedoman SNI 03-4142-1996.

3.4.2. Pemeriksaan Karakteristik Semen Protland

Pada pembahasan ini akan digunakan semen protland jenis 1 serta akan dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik yang terdiri dari:

- a. Pemeriksaan uji kehalusan dengan pesawat *blaine* sesuai dengan pedoman SNI 2049-5:2021.
- b. Pemeriksaan uji waktu alat pengikat dengan alat *vicat* SNI 2049-8:2021.
- c. Pemeriksaan uji kekekalan sesuai dengan pedoman SNI 2049-6:2021.
- d. Pemeriksaan uji kuat tekan sesuai dengan pedoman SNI 2049-7:2021.
- e. Pemeriksaan uji pengikat semu sesuai dengan pedoman SNI 2049-9:2021.
- f. Pemeriksaan uji kandungan udara dalam mortar sesuai dengan pedoman SNI 2049-4:2021.
- g. Pemeriksaan uji berat jenis sesuai dengan pedoman ASTM C 188:2018.

3.4.3. Pemeriksaan Karakteristik Bahan Tambah

Pada pembahasan ini akan digunakan bahan tambah yaitu *fly ash* dan *additive* beton serta akan dilakukan pemeriksaan karakteristik. Untuk bahan tambah *fly ash* dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik yang terdiri dari:

- a. Pengujian kadar butir halus lewat saringan no. 325 *fly ash* sesuai dengan pedoman ASTM D 4749-87(2019)e1.
- b. Pengujian kepadatan relatif *fly ash* menggunakan metode pengujian gas *pycnometer*.

Sedangkan bahan tambah *additive* beton dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik yang terdiri dari:

- a. Pengujian pH larutan 10% pada *additive* beton menggunakan metode pengujian pHmeter.
- b. Pengujian berat jenis *additive* beton sesuai dengan pedoman ASTM D4052.
- c. Pengujian viskositas kinematik *additive* beton sesuai dengan pedoman ASTM D445.
- d. Pengujian volatile matter pada *additive* beton menggunakan metode pengujian gravimetri.

3.4.4. Pemeriksaan Karakteristik Air Bersih

Pada pembahasan ini akan digunakan air bersih dari air sumur bor serta akan dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik yang terdiri dari:

- a. Pemeriksaan uji bau dengan sesuai dengan pedoman SNI 3554:2015 bagian 3.2.2.
- b. Pemeriksaan uji warna dengan sesuai dengan pedoman SNI 6989.80:2011.
- c. Pemeriksaan uji jumlah zat padat terlarut (TDS) sesuai dengan pedoman SNI 6989.27:2019.
- d. Pemeriksaan uji kekeruhan sesuai dengan pedoman SNI 06-6989.25-2005.
- e. Pemeriksaan uji rasa sesuai dengan pedoman SNI 3554:2015 bagian 3.2.1.
- f. Pemeriksaan uji suhu sesuai dengan pedoman SNI 06-6989.23-2004.

3.4.5. Pemeriksaan Suhu Material dan Beton

3.4.5.1. Pemeriksaan suhu material

Temperatur semua material dijaga, terutama agregat kasar, dengan temperatur pada tingkat yang serendah mungkin dan harus dijaga agar selalu di bawah 30 derajat *celcius* sepanjang waktu pengecoran. Pada kondisi ekstrim, di mana pengecoran terpaksa dilakukan pada suhu di atas 30 derajat *celcius*, maka metode pelaksanaan pekerjaan pengecoran harus mengacu pada *ACI 305R-14 Specification for Hot Weather Concreting*.

3.4.5.2 Pemeriksaan suhu beton

Pembacaan temperatur harus secara otomatis tercatat pada setiap jam atau lebih cepat. Satu set sensor cadangan harus dipasang dekat sensor utama. Sensor cadangan harus dapat dicatat, tapi pencatatan tidak perlu dilakukan bila sensor

utama bekerja dengan baik. Pembacaan temperatur dapat dihentikan bila, perbedaan temperatur di dalam beton dengan temperatur udara harian rata-rata kurang dari perbedaan temperatur yang diizinkan selama tiga hari berturut-turut dan tidak terdapat pengecoran beton bervolume besar yang berdekatan.

Pekerjaan beton bervolume besar harus memenuhi kriteria persyaratan penerimaan dan persyaratan temperatur berikut ini :

(1) Temperatur maksimum yang diizinkan 71°C ;

(2) Perbedaan temperatur maksimum yang diizinkan 21°C ,

kecuali bisa dibuktikan dengan analisis bahwa struktur beton mampu mengakomodasi perbedaan temperatur yang lebih besar dari 21°C .

3.5. Rancangan Campuran Beton (Mix Design)

Pada Tabel 3.1. dijabarkan komposisi beton untuk *mass concrete* dengan f_c' 35 MPa.

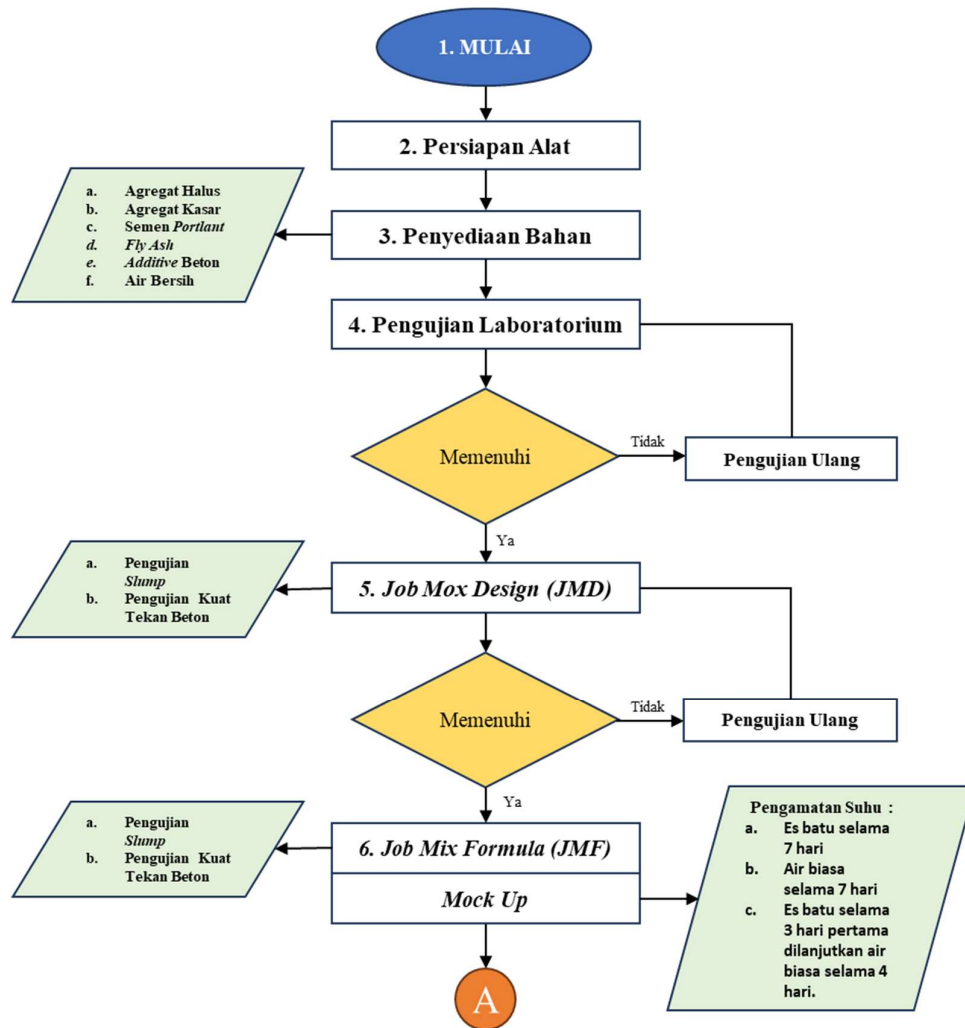
Tabel 3.1. Komposisi Campuran Beton

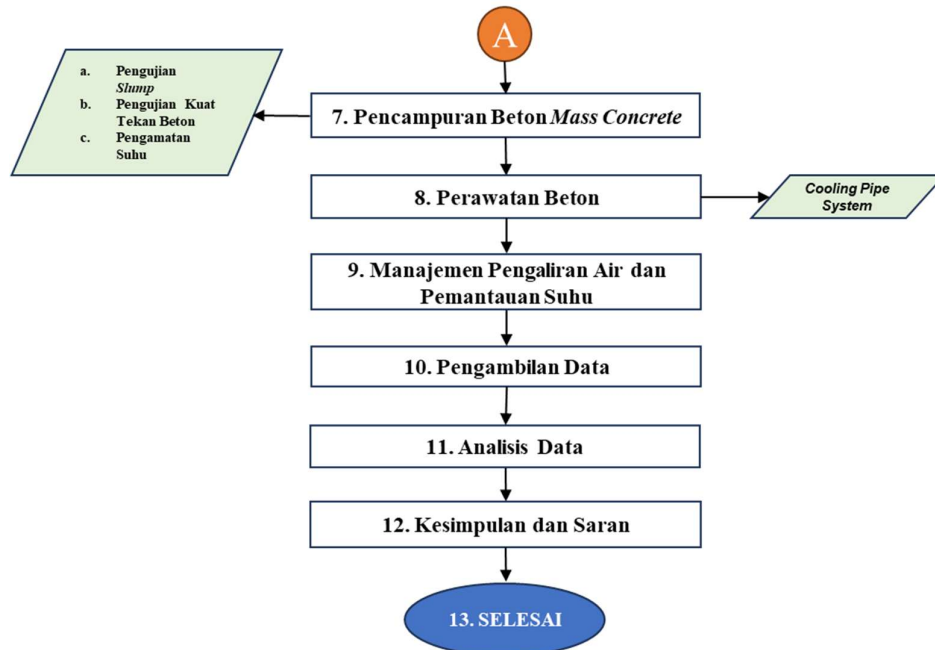
No	Material	Satuan	Volume
1.	Semen Portlant Jenis 1	kg/m^3	288
2.	<i>Fly ash</i> tipe F	kg/m^3	192
3.	Agregat halus	kg/m^3	866
4.	Agregat kasar	kg/m^3	900
5.	Air	kg/m^3	154
6.	<i>Additive</i> Beton tipe D	ltr/m^3	0.97
7.	<i>Additive</i> Beton tipe F	ltr/m^3	3.71

Sumber : Data Komposisi Campuran Beton BUCG-HK JO

3.6. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir adalah diagram yang menggambarkan langkah-langkah yang diambil pada pembahasan ini. Bagan alir digambarkan pada **Gambar 3.1**.





Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.7. Metode Analisis

Bagan alir yang telah digambarkan pada **Gambar 3.1.** dapat dijelaskan bahwa langkah pada proses penelitian ini antara lain yaitu:

1. Mulai

Mempersiapkan segala sesuatu dari data sampai literatur untuk penelitian ini.

2. Persiapan Alat

- a. Peralatan untuk pengamatan suhu material menggunakan alat termometer digital.
- b. Peralatan untuk pengamatan suhu beton menggunakan alat *thermocouple* dan alat pencatat suhu *hottemp*.
- c. Peralatan untuk pengukuran *slump* menggunakan meteran dan alat *slump test*.
- d. Peralatan untuk pengujian kuat tekan beton menggunakan *compression testing machine*.
- e. Peralatan untuk pencampuran beton menggunakan *truck mixer*, bekesting multiplek, *hollow 50 x 50*, *vibrator engine*, karung, dan *steel formwork*.

3. Penyediaan Bahan

a. Penyediaan Agregat Halus

Pengambilan agregat halus diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant* Ex. Klaten, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

b. Penyediaan Agregat Kasar

Penyediaan agregat kasar diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant* Ex. Batang, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

c. Penyediaan Semen Portlant Jenis I

Penyediaan Semen Portlant Jenis I diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant* PT. Semen Imasco Asiatic, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

d. Penyediaan *Fly Ash*

Penyediaan bahan tambah *fly ash* diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant* PT. Hongfa Jaya Internasional, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

e. Penyediaan *Additive* Beton

Penyediaan bahan tambah *additive* beton yang menggunakan *additive* beton tipe D dan tipe F diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant* PT. Auk New Material, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

f. Penyediaan Air Bersih

Penyediaan air bersih yang menggunakan adalah air sumur bor yang diambil dari *CRBC-BUCG Batching Plant*, bahan yang nanti akan digunakan sebagai bahan material saat penelitian.

4. Pengujian Laboratorium

Pengujian dilakukan sesuai dengan standar dan mengacu pada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Jika bahan yang telah diuji laboratorium memenuhi standar maka tahap selanjutnya yaitu *Job Mix Design (JMD)*. Namun, jika bahan yang diuji tidak memenuhi standar yang telah ditentukan, maka dilakukan pengujian ulang di laboratorium.

5. *Job Mix Design (JMD)*

Pada *job mix design* ini ialah proses pembuatan benda uji beton untuk memastikan campuran beton yang dihasilkan memenuhi nilai kuat tekan sesuai spesifikasi yang disyaratkan. *Job mix design* ini merupakan desain campuran bahan dalam skala kecil hanya untuk pembuatan benda uji yang diuji secara manual yang biasanya pencampuran menggunakan concrete mixer di laboratorium, berfungsi sebagai acuan awal untuk pembuatan *Job Mix Formula*. Pada tahap *job mix design* ini dilakukan pengujian meliputi :

- a. Pengujian *slump*
- b. Pengujian kuat tekan beton

Jika benda uji mendapatkan hasil yang memenuhi standar maka tahap selanjutnya. Namun, jika sampel benda uji yang diuji tidak memenuhi standar yang ditentukan, maka dilakukan pengujian *Job Mix Design* ulang.

6. *Job Mix Formula (JMF)* dan *Mock Up*

Pada penelitian ini *job mix formula* bersamaan dengan pembuatan benda uji *mock up*. *Job mix formula* adalah formula yang dibuat berdasarkan *job mix design* dan digunakan dalam produksi skala besar yang pencampurannya menggunakan *batching plant* untuk memastikan konsistensi kualitas. Sedangkan *mock up* adalah pengendalian komposisi material beton untuk menghasilkan temperatur beton maksimum yang disyaratkan harus dibuktikan dengan pengukuran temperatur dengan ukuran dimensi panjang 2 m, lebar 1,6 m dan tinggi 1,2 m. Pada tahap ini, dilakukan penelitian dengan *cooling pipe system* menggunakan 3 variasi penelitian yaitu dengan pengaliran air es batu selama 7 hari, pengaliran air biasa selama 7 hari dan pengaliran air es batu selama 3 hari pertama dilanjutkan air biasa selama 4 hari. Dari ketiga variasi ini diambil yang paling efisien dan efektif untuk ke tahap selanjutnya. Pada tahap ini dilakukan dilakukan pengujian :

- a. Pengujian *slump*
- b. Pengujian kuat tekan beton
- c. Pengamatan suhu

7. Pencampuran Beton Bervolume Besar (*Mass Concrete*) pada *Pile Head*

Pencampuran beton bervolume besar membutuhkan perencanaan dan pelaksanaan yang cermat, termasuk pengendalian suhu untuk menghindari retak. Pada tahap ini menggunakan dimensi panjang 16,3 m, lebar 1,6 m dan tinggi 1,2 m. Untuk komposisi beton sesuai dengan *job mix design* dan *job mix formula* yang telah dilaksanakan. Prosesnya melibatkan pengujian dengan sistem sensor temperatur, serta pelaporan harian proses pencampuran pada struktur *pile head*. Sama halnya seperti *job mix formula* dan pembuatan benda uji *mock up*, tahap ini dilakukan pengujian :

- a. Pengujian *slump*
 - b. Pengujian kuat tekan beton
 - c. Pengamatan suhu
8. Perawatan Beton

Perawatan beton pada beton biasa juga dikenal sebagai *curing*, adalah serangkaian tindakan untuk menjaga kelembapan beton setelah pencampuran selesai. Tujuan utama adalah memastikan beton mengeras dan mengeras dengan baik untuk mencapai kekuatan dan ketahanan yang optimal. Perawatan beton penting untuk mencegah pengeringan cepat yang dapat menyebabkan beton retak atau kehilangan kekuatan.

Pada pekerjaan beton *mass concrete* pada *pile head* dalam penelitian ini, dipilih sistem pipa pendingin mekanis yang disebut juga dengan *cooling pipe system*. Metode *cooling pipe system* secara prinsip cara bekerjanya sama dengan radiator, dimana air berputar terus menerus untuk menurunkan suhu pada suatu benda tertentu. Sirkulasi air ini membantu menghilangkan panas yang dihasilkan, mencegah retakan termal, dan memastikan beton mencapai kekuatan yang diinginkan. Penggunaan metode *mass concrete* ini harus menghasilkan temperatur maksimum yaitu sebesar 71 °C dari batas temperatur yang diizinkan, akibat dari reaksi hidrasi semen. Maka dari itu, harus membutuhkan pengendalian suhu akibat dari hidrasi tersebut untuk mengurangi keretakan atau *cracking* akibat suhu.

9. Manajemen Pengaliran Air dan Pemantauan Suhu Beton pada Struktur *Pile Head*

Pemeriksaan suhu dilakukan selama 2 jam sekali dengan batas suhu maksimal 71° C dan margin antara sensor maksimal 30%. Jika ketuntasan tersebut dapat dipenuhi maka *mass concrete* dianggap berhasil, sementara itu margin tersebut diadakan agar beton mengeras secara bersama-sama.

10. Pengambilan Data

Saat penelitian beton bervolume besar ini data yang didapatkan yaitu hasil pengujian *properties material*, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up* dan hasil pengujian pencampuran beton bervolume besar (*mass concrete*).

11. Analisis Data

Melakukan analisa data penelitian beton bervolume besar (hasil pengujian *properties material*, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up*, dan hasil pengujian pencampuran beton bervolume besar (*mass concrete*).

12. Kesimpulan dan Saran

Penjabaran kesimpulan dan saran pada hasil pembahasan apakah memenuhi terhadap Spesifikasi Umum Untuk Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Tahun 2020 serta menampilkan data hasil pengujian *properties material*, *job mix design*, *job mix formula*, *mock up* dan hasil pengujian beton bervolume besar (*mass concrete*).

13. Selesai

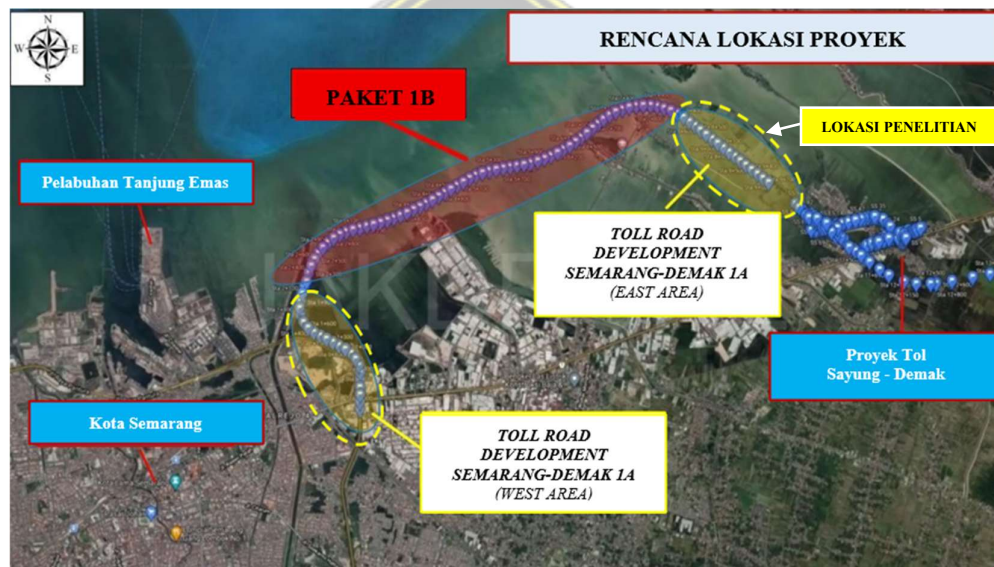
Penelitian selesai dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A terbagi menjadi dua area yang berbeda. Area pertama (area barat) pada STA 0+250 sampai dengan STA 1+578 yang berada di Kaligawe, Kota Semarang dengan pekerjaan *elevated freeway*. Area kedua (area timur) pada STA 8+314 sampai dengan STA 10+394 yang berada di Sayung, Kabupaten Demak dengan pekerjaan *slab on pile*, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Master Plan Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

Pada pembahasan kali ini mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A STA 8+314 sampai dengan STA 10+395 (area timur) yaitu menggunakan *pile head* sebagai struktur atas *slab on pile*. Struktur yang menjadi penyalur gaya antara beban pada struktur atas menuju ke pondasi adalah *pile head*. Sedangkan *slab* berfungsi sebagai permukaan lantai atau jalan. *Pile Head* berperan dalam mendistribusikan beban hidup dan mati menuju ke *spun pile*. *Spun pile* sendiri berfungsi sebagai penyalur beban ke tanah yang lebih dalam.

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A STA 8+314 sampai dengan STA 10+395 struktur *pile head* ada yang menjadi monolit dengan slabnya dan ada yang tidak. Struktur non-monolit bertujuan mengakomodir pergerakan yang ada pada *slab*. Sedangkan struktur monolit bertujuan untuk mengurangi beban momen maksimum yang terjadi.

Pekerjaan *pile head* dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 1 m menggunakan beton *mass concrete* atau beton massa dalam pengecorannya. Pada beton *mass concrete* ini suhu sangat berperan penting terhadap beton itu sendiri. Oleh karena itu, perawatan beton yang digunakan adalah sistem pipa pendingin mekanis atau *cooling pipe system*.

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang terdiri dari tahap persiapan alat, penyediaan bahan, pembuatan benda uji, metode yang digunakan, dan pengujian di lapangan maupun di laboratorium. Pada tahapan metode yang digunakan, persiapan alat, dan penyediaan bahan diambil dari *Beijing Urban Group Construction - Hutama Karya Joint Operation* selaku kontraktor Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 1A. Proses pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dan di lapangan. Serta semua pengujian material dan kuat tekan beton selanjutnya akan dilaksanakan di laboratorium *CRBC-BUCG Batching Plant*, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2. *CRBC-BUCG Batching Plant*

4.2. Penyediaan Bahan

4.2.1. Agregat Halus

Material agregat halus yang digunakan sebagai bahan campuran beton pada penelitian ini menggunakan pasir beton yang berasal dari Klaten. Untuk pengambilan sampel material pasir beton ex. Klaten ini diambil di lokasi *CRBC-BUCG Batching Plant*, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3. Pengambilan Sampel Material Pasir Beton

4.2.2. Agregat Kasar

Material agregat kasar yang digunakan sebagai bahan campuran beton pada penelitian ini menggunakan *split* ukuran 10/20 yang berasal dari Batang. Untuk pengambilan sampel material *split* ex. Batang ini di ambil di lokasi *CRBC-BUCG Batching Plant*, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4. Pengambilan Sampel Material *Split* 10/20

4.2.3. Semen *Portland*

Pada penelitian ini penulis menggunakan material semen *portland* jenis I yang berasal dari PT. Semen Imasco Asia TIC yang berlokasi di Samping Gunung Sadeng, Desa Puger Wetan, Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. Untuk pengambilan sampel material semen *portland* ex. PT. Semen Imasco Asia TIC ini di ambil di lokasi *CRBC-BUCG Batching Plant*, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5. Pengambilan Sampel Material Semen *Portland*

4.2.4. *Fly Ash*

Pada penelitian ini penulis menggunakan material *fly ash* tipe F yang digunakan untuk mengurangi panas yang dihasilkan semen berasal dari PT. Hongfa Jaya International. Untuk pengambilan sampel material *fly ash* tipe F ex. PT. Hongfa Jaya International ini diambil di lokasi *CRBC-BUCG Bathcing Plant*, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6. Pengambilan Sampel *Fly Ash*

4.2.5. Admixture

Pada penelitian ini penulis menggunakan material *additive beton* tipe D dan tipe F (*water reducer*) yang berasal dari PT. AUK New Material. Untuk pengambilan sampel material *additive beton* tipe D dan tipe F (*water reducer*) ex. PT. AUK New Material ini diambil di lokasi *CRBC-BUCG Bathcing Plant*, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak.

4.3. Pengujian Material

4.3.1. Agregat Halus

4.3.1.1. Lolos saringan nomor 200 agregat halus

Pengujian lolos saringan nomor 200 dilakukan untuk mengetahui kadar material berukuran 0,075 mm atau biasa disebut kadar lumpur. Kadar lumpur yang berlebihan dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat yang menyebabkan kekuatan beton menurun. Berikut merupakan hasil pengujian lolos saringan nomor 200 untuk material pasir beton ex. Klaten pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Hasil Persentase Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton

Sampel	Satuan		I	II
Berat Sampel Sebelum di Saring	(gr)	X	1000,0	1000,0
Berat Sampel Sesudah di Saring	(gr)	Y	970,0	966,0
Berat Material Yang Lolos Saringan	(gr)	$Z=X-Y$	30,0	34,0
Persen Material Lolos Saringan	(%)	$(Z/X)*100$	3,00	3,40
Rata - Rata	(%)		3,20	

Pada pengujian saringan nomor 200 ini menggunakan dua benda uji pasir beton untuk berat kedua benda uji sebelum disaring 1000 gram. Untuk berat benda uji pertama sesudah disaring 970 gram dan berat benda uji kedua sesudah disaring 966 gram. Kemudian dengan data tersebut berat material yang lolos saringan nomor 200 pada benda uji pertama 30 gram dan pada benda uji kedua 34 gram didapat dari berat benda uji sebelum disaring dikurang berat benda uji sesudah disaring. Sehingga didapatkan persentase material yang lolos saringan pada benda uji pertama sebesar 3,00%, pada benda uji kedua sebesar 3,40% dan rata-rata persentase material yang lolos saringan sebesar 3,20%. Pengujian lolos saringan nomor 200 pasir beton ex. Klaten, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7. Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Pasir Beton Ex. Klaten

4.3.1.2. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih besar akan memberikan kepadatan beton yang lebih tinggi sehingga akan meningkatkan kekuatan tekan beton. Selain itu, berat jenis agregat juga mempengaruhi kandungan air dan jumlah semen yang dibutuhkan dalam campuran beton. Sedangkan untuk penyerapan air dapat berpengaruh terhadap kekuatan beton, semakin tinggi tingkat penyerapan akan dapat meningkatkan penyusutan beton dan dapat mengurangi kekuatan beton. Berikut merupakan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan material pasir beton ex. Klaten pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material Pasir Beton

Uraian		I	II	Rata-Rata
Berat benda Uji kering permukaan jenuh (Ssd)		500	500	
Berat Piknometer + air (B)		658,4	632	
Berat piknometer + air + benda uji (Bt)		984,5	954	
Berat benda uji kering oven (Bk)		470,5	478	
Berat Jenis (bulk)	Bk	2,71	2,69	2,70
	$B + SSd - Bt$			
Berat Jenis (ssd)	SSd	2,88	2,81	2,84
	$B + SSd - Bt$			
Berat Jenis (apparent)	Bk	3,26	3,06	3,16
	$B + Bk - Bt$			
Penyerapan Air	$\frac{SSd - Bk}{Bk} \times 100\%$	6,27	4,60	5,44

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air material pasir beton ini didapatkan rata-rata berat jenis kondisi dimana kepadatan pasir dalam keadaan alami, belum dipadatkan atau dikeringkan secara khusus (*bulk*) sebesar 2,70 ; rata-rata berat jenis *saturated surface dry* kondisi di mana pasir dalam keadaan jenuh air pada pori-

porinya, tetapi permukaan luarnya kering (*ssd*) sebesar 2,84 dan rata-rata berat jenis kondisi dimana perbandingan antara berat pasir kering (termasuk pori-pori yang kedap udara) dengan berat air yang volumenya sama dengan volume pasir tersebut pada suhu tertentu (*apparent*) sebesar 3,16. Serta rata-rata persentase penyerapan air material pasir beton ini sebesar 5,44%. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir beton ex. Klaten, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Beton Ex. Klaten

4.3.1.3. Gradasi agregat halus dan fine modulus agregat halus

Gradasi agregat pada beton sangat penting dan berpengaruh terhadap berbagai sifat beton, baik saat masih segar (*fresh*) maupun setelah mengeras (*hardened*). Gradasi yang baik akan meningkatkan kepadatan beton, mengurangi porositas, meningkatkan kekuatan, dan memperbaiki kemudahan pengerjaan. Sedangkan, untuk *fine modulus* atau modulus kehalusan (*fm*) dalam beton memiliki pengaruh penting terhadap berbagai sifat beton, terutama kelecakan campuran beton segar, kekuatan beton, dan ketahanan beton. Gradasi agregat halus diuji dengan cara melakukan pengayakan (ayakan dengan berbagai ukuran) dan menghitung persentase berat agregat yang tertahan pada setiap ayakan. Modulus kehalusan dihitung berdasarkan data pengayakan dengan menjumlahkan persentase kumulatif agregat yang tertahan pada setiap saringan dan membaginya dengan 100. Modulus kehalusan yang lebih tinggi menunjukkan agregat yang lebih kasar, sementara modulus kehalusan yang lebih rendah menunjukkan agregat yang lebih halus. Berikut merupakan hasil pengujian gradasi dan *fine modulus* agregat pasir beton ex. Klaten pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Gradasi Agregat dan *Fine Modulus*

Saringan (ASTM)	Jumlah Tertahan (gram)		Berat Awal	I	1000	
				II	1000	
	Persen Tertahan				Rata - rata Persen Lolos	Spesifikasi
	I	II	I	II		
3/8"	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 4	66,20	70,10	6,62	7,01	93,19	95 - 100
No. 8	145,10	139,00	14,51	13,90	85,80	80 - 100
No. 16	237,50	251,50	23,75	25,15	75,55	50 - 80
No. 30	478,20	501,20	47,82	50,12	51,03	-
No. 50	786,30	777,00	78,63	77,70	21,84	10 - 30
No. 100	952,30	950,40	95,23	95,04	4,87	2 - 10
No. 200	969,30	971,00	96,93	97,10	2,99	0 - 3

$$F_m = 3,6$$

Pada pengujian gradasi agregat dan *fine modulus* ini didapatkan nilai rata-rata persentase lolos saringan 3/8" sebesar 100% ; lolos saringan nomor 4 sebesar 93,19% ; lolos saringan nomor 8 sebesar 85,80% ; lolos saringan nomor 16 sebesar 75,55% ; lolos saringan nomor 30 sebesar 51,03% ; lolos saringan nomor 50 sebesar 21,84% ; saringan nomor 100 sebesar 4,87% dan saringan nomor 200 sebesar 2,99%. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai persentase lolos saringan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian gradasi agregat pasir beton ex. Klaten, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.9**.

**Gambar 4.9.** Pengujian Gradasi Agregat Pasir Beton Ex. Klaten

4.3.2. Agregat Kasar

4.3.2.1. Lolos saringan nomor 200 agregat kasar

Pengujian lolos saringan nomor 200 dilakukan untuk mengetahui kadar material berukuran 0,075 mm atau biasa di sebut kadar lumpur. Kadar lumpur yang berlebihan dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat yang

menyebabkan kekuatan beton menurun. Berikut merupakan hasil pengujian lolos saringan nomor 200 untuk material *split* beton ex. Batang pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4. Hasil Lolos Saringan Nomor 200 Material *Split*

Sample No.	Unit		I	II
Berat Sebelum Dicuci	(gr)	X	1500,0	1500,0
Berat Sesudah Dicuci	(gr)	Y	1485,0	1488,0
Berat Lolos #200	(gr)	$Z=X-Y$	15,0	12,0
Persentase Lolos #200	(%)	$(Z/X)*100$	1,00	0,80
Rata-rata	(%)		0,90	

Pada pengujian saringan nomor 200 ini menggunakan dua benda uji material *split* untuk berat kedua benda uji sebelum disaring 1500 gram. Untuk berat benda uji pertama sesudah disaring 1485 gram dan berat benda uji kedua sesudah disaring 1488 gram. Kemudian dengan data tersebut berat material yang lolos saringan nomor 200 pada benda uji pertama 15 gram dan pada benda uji kedua 12 gram didapat dari berat benda uji sebelum disaring dikurang berat benda uji sesudah disaring. Sehingga didapatkan persentase material yang lolos saringan pada benda uji pertama sebesar 1,00%, pada benda uji kedua sebesar 0,80% dan rata-rata persentase material yang lolos saringan sebesar 0,90%. Pengujian lolos saringan nomor 200 material *split* ex. Batang, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4.10. Pengujian Lolos Saringan Nomor 200 Material *Split* Ex. Batang

4.3.2.2. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih besar akan memberikan kepadatan beton yang lebih tinggi sehingga akan meningkatkan kekuatan tekan beton. Selain itu, berat jenis agregat juga mempengaruhi kandungan air dan jumlah semen yang

dibutuhkan dalam campuran beton. Sedangkan untuk penyerapan air dapat berpengaruh terhadap kekuatan beton, semakin tinggi tingkat penyerapan akan dapat meningkatkan penyusutan beton dan dapat mengurangi kekuatan beton. Berat jenis dan penyerapan air juga mempengaruhi sifat-sifat beton seperti *workability* (kemudahan pengerjaan), *slump* (kemampuan beton untuk mengalir), dan daya tahan terhadap kondisi lingkungan. Berat jenis dan penyerapan air adalah dua parameter penting dalam mengkarakterisasi agregat kasar. Pengujian yang tepat terhadap sifat-sifat ini sangat penting untuk memastikan kualitas dan kinerja beton yang dihasilkan. Berikut merupakan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan material *split* ex. Batang pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material *Split*

Uraian	I	II	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	3000,0	3000,0	gram
Berat benda uji di dalam air (Ba)	1885,7	1868,4	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	2980,4	2989,5	gram
Uraian	I	II	Rata-Rata
Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,67	2,64	2,66
Berat Jenis (ssd) $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,69	2,65	2,67
Berat Jenis (apparent) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,72	2,67	2,69
Penyerapan Air $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,66	0,35	0,50

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air material *split* ini didapatkan rata-rata berat jenis kondisi dimana *split* dalam keadaan alami, belum dipadatkan atau dikeringkan secara khusus (*bulk*) sebesar 2,66 ; rata-rata berat jenis *saturated surface dry* kondisi di mana *split* dalam keadaan jenuh air pada pori-porinya, tetapi permukaan luarnya kering (*ssd*) sebesar 2,67 dan rata-rata berat jenis kondisi dimana perbandingan antara berat *split* kering (termasuk pori-pori yang kedap udara) dengan berat air yang volumenya sama dengan volume *split* tersebut pada suhu tertentu (*apparent*) sebesar 2,69. Serta rata-rata persentase penyerapan air material pasir beton ini sebesar 0,50%. Pengujian berat jenis dan penyerapan air material *split* ex. Batang, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Material *Split* Ex. Batang

4.3.2.3. Gradasi agregat kasar

Gradasi agregat pada beton sangat penting dan berpengaruh terhadap berbagai sifat beton, baik saat masih segar (*fresh*) maupun setelah mengeras (*hardened*). Pengujian gradasi agregat kasar adalah proses untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam sampel agregat kasar, yang biasanya terdiri dari kerikil atau batu pecah. Pengujian ini penting untuk memastikan kualitas agregat yang digunakan dalam campuran beton dan konstruksi lainnya. Gradasi yang baik akan meningkatkan kepadatan beton, mengurangi porositas, meningkatkan kekuatan, dan memperbaiki kemudahan pengerjaan. Berikut merupakan hasil pengujian gradasi agregat kasar ex. Batang pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Material *Split*

Saringan (ASTM)	Jumlah Tertahan (gram)		Berat Awal		5000	
					5000	
			Persen Tertahan		Rata - rata Persen Lolos	Spesifikasi
	I	II	I	II		
1"	0,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/4"	222,00	249,0	4,44	4,98	95,29	90 - 100
3/8"	2691,00	2726,00	53,82	54,52	45,83	30 - 65
No. 4	4082,00	3802,00	81,64	76,04	21,16	5 - 25
No. 8	4819,00	4821,00	96,38	96,42	3,60	0 - 10
No.16	4950,00	4910,00	99,00	98,20	1,40	0 - 5

Pada pengujian gradasi agregat kasar ini didapatkan nilai rata-rata persentase lolos saringan 1" sebesar 100% ; lolos saringan 3/4" sebesar 95,29% ; lolos saringan 3/8" sebesar 45,83% ; lolos saringan nomor 4 sebesar 21,16% ; lolos saringan nomor 8 sebesar 3,60% dan lolos saringan nomor 16 sebesar 1,40%. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai persentase lolos saringan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian gradasi agregat kasar (*split*) ex. Batang, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12. Pengujian Gradasi Agregat Material *Split* Ex. Batang

4.3.3. Semen

Pada penelitian ini, penulis tidak melakukan pengujian tetapi menggunakan *mill certificate* atau sertifikat standar kualitas yang berisi informasi teknis, komposisi bahan, hasil uji laboratorium, dan lain-lain. Berikut merupakan *mill certificate* dari material semen pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Material Semen

No	Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Persyaratan	Metode Uji
1	Kehalusan Dengan Pesawat <i>Blaine</i>	m ² /kg	351	min. 280	SNI 2049-5:2021
2	Waktu Pengikatan Dengan Alat Vicat				
	Pengikatan Awal	menit	115	min. 45	SNI 2049-8:2021
	Pengikatan Akhir	menit	180	maks. 375	
3	Kekekalan				
	Pemuaian Dengan <i>Autoclave</i>	%	-0,08	maks. 0,8	SNI 2049-6:2021
4	Kuat Tekan				
	3 Hari	kg/cm ²	302	min. 135	SNI 2049-7:2021
	7 Hari	kg/cm ²	403	min. 215	
	28 Hari	kg/cm ²	506	min. 300	
5	Pengikatan Semu	%	71	min. 50	SNI 2049-9:2021
6	Kandungan Udara Dalam Mortar	%	4,32	maks. 12	SNI 2049-4:2021
7	Berat Jenis	g/cm ³	3,15	-	ASTM C 188:2018

Pada **Tabel 4.7** merupakan hasil pengujian material semen dengan nilai kehalusan dengan pesawat *blaine* 351 m²/kg, nilai waktu pengikat awal dengan alat vicat 115 menit, nilai waktu pengikat akhir dengan alat vicat 180 menit, nilai kekekalan pemuaian dengan *autoclave* -0,08%, nilai kuat tekan 3 hari 302 kg/cm², nilai kuat tekan 7 hari 403 kg/cm², nilai kuat tekan 28 hari 506 kg/cm², nilai pengikat semu 71%, nilai kandungan udara dalam mortar 4,32% dan berat jenis 3,15 g/cm³. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

4.3.4. Fly Ash

Pengujian *fly ash* yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kadar kehalusan lolos saringan nomor 325. *Fly ash* yang penulis gunakan memiliki kadar kehalusan dengan saringan nomor 325 sebesar 15%. Untuk pengujian kepadatan relatif, penulis menggunakan *mill certificate* atau sertifikat standar kualitas yang berisi informasi teknis, komposisi bahan, hasil uji laboratorium, dan lain-lain. Berikut merupakan hasil *mill certificate* material *fly ash* pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Material *Fly Ash*

No	Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kepadatan Relatif	%	2,154	Gas <i>Pycnometer</i>

Pada tabel diatas merupakan hasil pengujian material *fly ash* dengan nilai kepadatan relatif sebesar 2,154% dengan menggunakan metode pengujian gas *pycnometer*. Pengujian kehalusan *fly ash* Ex. PT. Hongfa Jaya International, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4.13. Pengujian Kehalusan *Fly Ash* Ex. PT. Hongfa Jaya International

4.3.5. Admixture

Pada penelitian ini, penulis tidak melakukan pengujian tetapi menggunakan *mill certificate* atau sertifikat standar kualitas yang berisi informasi teknis, komposisi bahan, hasil uji laboratorium, dan lain-lain. Berikut merupakan *mill certificate* dari material *admixture* pada **Tabel 4.9.** dan **Tabel 4.10.**

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Material *Additive Type D*

No	Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	pH Larutan 10%	-	4,7	pHmeter
2	Berat Jenis	-	1,039	ASTM D4052
3	Viskositas Kinematik	cSt	3,148	ASTM D445
4	<i>Volatile Matter</i>	%	93,58	Gravimetri

Pada pengujian ini material *additive beton type D* ini didapatkan hasil pengujian pH larutan 10% sebesar 4,7 ; nilai berat jenis sebesar 1,039 ; nilai viskositas kinematik sebesar 3,148 dan nilai *volatile matter* sebesar 93,58%.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Material *Additive Type F*

No	Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	pH Larutan 10%	-	4,2	pHmeter
2	Berat Jenis	-	1,029	ASTM D4052
3	Viskositas Kinematik	cSt	3,116	ASTM D445
4	<i>Volatile Matter</i>	%	99,17	Gravimetri

Pada pengujian ini material *additive beton type F* ini didapatkan hasil pengujian pH larutan 10% sebesar 4,2 ; nilai berat jenis sebesar 1,029 ; nilai viskositas kinematik sebesar 3,116 dan nilai *volatile matter* sebesar 99,17%.

4.3.6. Air

Pada penelitian ini, penulis tidak melakukan pengujian tetapi menggunakan *mill certificate* atau sertifikat standar kualitas yang berisi informasi teknis, komposisi bahan, hasil uji laboratorium, dan lain-lain. Berikut merupakan *mill certificate* dari material air pada **Tabel 4.11.**

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Material Air

No	Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Persyaratan	Metode Uji
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 3554:2015 Bagian 3.2.2.
2	Warna	Pt-Co	10,5	15	SNI 6989.80:2011
3	Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	2930	500	SNI 6989.27:2019.
4	Kekeruhan	NTU	0,64	5	SNI 06-6989.25-2005
5	Rasa	-	Tidak Berasa	Tidak Berasa	SNI 3554:2015 bagian 3.2.1
6	Suhu	°C	26	±3	SNI 06-6989.23-2004

Pada pengujian ini material air ini didapatkan hasil pengujian bau yang tidak berbau, hasil pengujian rasa yang tidak berasa, hasil pengujian warna 10,5 Pt-Co, hasil pengujian jumlah zat padat terlarut (TDS) 2930 mg/L, hasil pengujian kekeruhan 0,64 NTU, dan pengujian suhu 26°C.

4.4. Pengujian *Job Mix Design*

4.4.1. Pembuatan Benda Uji *Job Mix Design*

Dalam penelitian ini ditentukan untuk struktur *pile head* dengan beton mutu f_c' 35 MPa. Komposisi beton untuk f_c' 35 MPa ini menggunakan material Pasir ex. Klaten, Split 10-20 mm ex. Batang, *Fly Ash* ex. PT. Hongfa Jaya Internasional, *Additive* Beton ex. PT. Auk New Material serta semen portland jenis 1 ex. PT. Semen Imasco Asiatic. Komposisi campuran beton yang digunakan pada tahapan *job mix design* ini lebih detail disampaikan dalam **Tabel 4.12.** berikut ini.

Tabel 4.12. Komposisi Campuran Beton *Job Mix Design*

No	Material	Satuan	Volume
1.	Semen Portlant Jenis 1	kg/m ³	288
2.	<i>Fly ash</i> Tipe F	kg/m ³	192
3.	Agregat halus	kg/m ³	866
4.	Agregat kasar	kg/m ³	900
5.	Air	kg/m ³	154
6.	<i>Additive</i> Beton tipe D	ltr/m ³	0.97
7.	<i>Additive</i> Beton tipe F	ltr/m ³	3.71

Sumber : Data Komposisi Campuran Beton BUCG-HK JO

Hal – hal yang dilakukan dalam pembuatan benda uji antara lain:

1. Pengadukan Beton

Beton dicampur menggunakan mesin (*mixer*) dengan cara:

- Masukan 1/3 air ke dalam bejana pengaduk, kemudian agregat kasar, dan agregat halus yang dimulai dengan agregat yang tertahan saringan terbesar kemudian masukkan semen sesuai takaran.
- Setelah diaduk, masukkan kembali 1/3 air yang kedua kedalam bejana, lanjutkan pengadukan sampai merata.

- c. Masukkan kembali 1/3 sisa air hingga campuran tampak merata.
- d. Kemudian adukan dituang ke dalam cetakan benda uji.

2. Pencetakan Benda Uji

Sebelum beton dicetak, terlebih dahulu dilakukan pengetesan kekentalan beton (*slump test*). Setelah nilai *slump* aman atau memenuhi syarat yang ditentukan yaitu 14 ± 2 kemudian beton dituang ke dalam cetakan dengan memasukkan adukan 1/3 bagian ke dalam cetakan, kemudian padatkan dengan cara tusuk adukan dengan batang besi sebanyak 25 kali lalu pukul – pukul dengan palu karet. Kemudian ulangi 2/3 dan 3/3 atau sampai penuh. Hasil pengujian *slump* pada tahapan *job mix design* ini seperti pada **Tabel 4.13.** berikut.

Tabel 4.13. Tabel *Slump Job Mix Design*

No	Slump	Keterangan
	(cm)	
1	12 cm	Waktu 15:22 WIB

Pada pengujian *slump* ini didapatkan nilai *slump* sebesar 12 cm pada jam 15:22 WIB. Dari hasil tersebut memenuhi syarat yang ditentukan yaitu 14 ± 2 yang kemudian dilanjutkan dengan pencetakan benda uji. Hasil pengujian *slump* sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.14.**



Gambar 4.14. Pengujian *Slump Job Mix Design*

Dalam penelitian ini menggunakan silinder sebagai benda uji dengan ukuran 15 x 30 cm, jumlah benda uji sebanyak 12 benda uji masing-masing 3 benda uji untuk pengujian di umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Proses pembuatan sampel benda uji beton *job mix design*, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.15.**



Gambar 4.15. Proses Pembuatan Sampel Benda Uji Beton *Job Mix Design*

3. Pemeliharaan Benda Uji

Setelah beton kering dan dilepas dari cetakan, kemudian direndam didalam bak air hingga 26 hari atau 2 hari sebelum pengetesan kuat tekan.



Gambar 4.16. Pelaksanaan Perawatan Beton Dengan Bak *Curing*

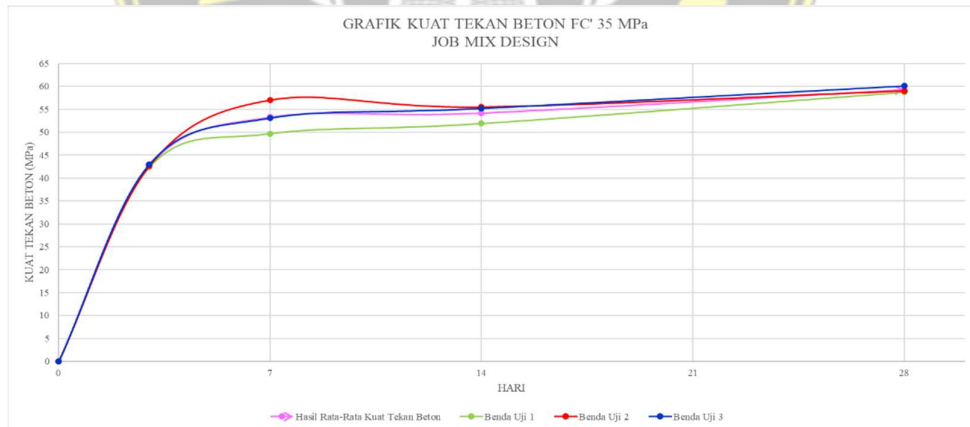
4.4.2. Hasil Uji Kuat Tekan *Job Mix Design*

Pengujian kuat tekan beton tahap *job mix design* ini dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian kekuatan tekan pada umur-umur ini penting untuk memastikan bahwa beton memenuhi persyaratan kekuatan yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu dan untuk memantau perkembangan kekuatannya seiring waktu. Pengujian Kuat Tekan pada tahap *Job Mix Design* dilakukan di Laboratorium *CRBC-BUCG Batching Plant* dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton pada tahapan *job mix design*, sebagaimana terlihat pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14. Hasil Kuat Tekan Beton *Job Mix Design*

No	Kelas Beton	Hasil Kuat Tekan Beton		Rata-Rata	Presentase Terhadap Mutu
		Umur Beton	Kuat Tekan		
	MPa	Hari	MPa	MPa	%
1	Fc' 35 MPa	3	42,4	42,7	121,90
			42,6		
			43,0		
		7	49,7	53,3	152,19
			57,0		
			53,1		
		14	51,9	54,2	154,86
			55,5		
			55,2		
		28	58,7	59,3	169,33
			59,0		
			60,1		

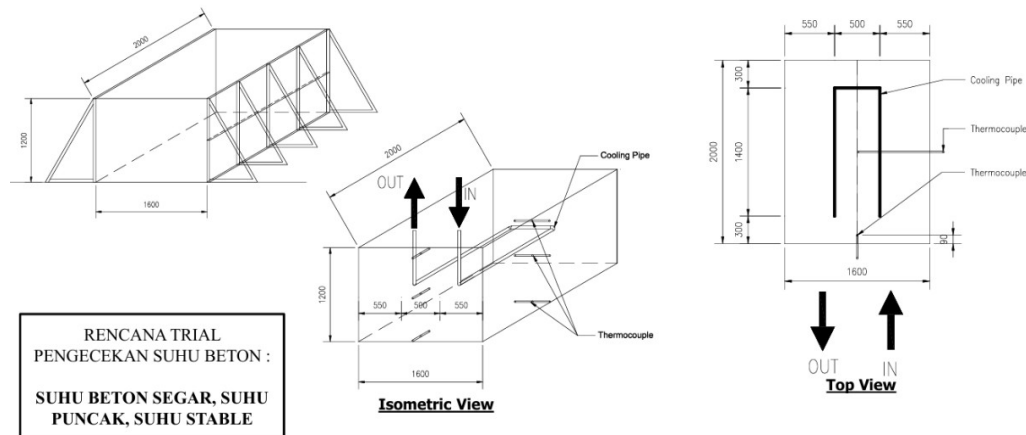
Pada pengujian kuat tekan beton *job mix design ini* didapatkan hasil rata-rata pada umur 3 hari sebesar 42,7 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 121,90%. Hasil rata-rata pada umur 7 hari sebesar 53,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 152,19%. Hasil rata-rata pada umur 14 hari sebesar 54,2 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 154,86%. Dan hasil rata-rata pada umur 28 hari sebesar 59,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 1169,33%.

**Gambar 4.17.** Grafik Hasil Kuat Tekan Beton *Job Mix Design*

4.5. Pengujian *Job Mix Formula* dan *Mock Up*

4.5.1. Model *Mock Up*

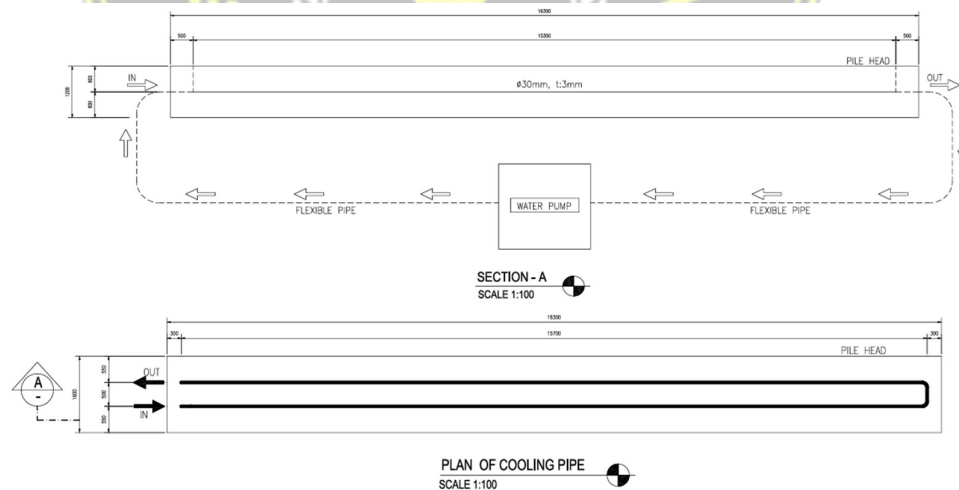
Pada pengujian *Job Mix Formula* dan *Mock Up* dilaksanakan bersamaan. Untuk model *mock up concrete* dibuat dengan dimensi menyerupai aktual struktur di lapangan, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.18.** dan **Gambar 4.19.**



Gambar 4.18. Model *Mock Up* Beton Mass Concrete $F_c' 35 \text{ Mpa}$

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

Pada *mock up pile head* $f_c' 35 \text{ MPa}$ menggunakan bekisting dengan ukuran panjang 2 m, lebar 1,6 m, dan tinggi 1,2 m. Alat pencatat suhu masing-masing model sebanyak 6 buah dengan susunan 15 cm dari *bottom pile head*, 60 cm dari *bottom pile head*, dan 15 cm dari *top pile head*.



Gambar 4.19. Rencana Pemasangan *Cooling Pipe*

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

Pada **Gambar 4.19.** dapat merupakan skema pengaliran air sirkulasi yang digunakan dalam metode *cooling pipe system*. Pompa air pada tandon air akan memompa air serta mengalirkan air masuk melewati beton yang ditunjukkan dengan anak panah, lalu air akan mengalir keluar kembali lagi ke dalam tandon air.

4.5.2. Material Treatment Mock Up

Pada tahapan *mock up* ini ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, yaitu aspek perawatan material dan perawatan beton untuk menahan suhu. Perawatan material agregat dan pasir dilakukan penyiraman air menggunakan *springkler* secara rutin. Pada perawatan semen dilakukan pengendapan semen selama 2 hari guna menstabilkan suhu, itu artinya perlu diperhatikan siklus pasokan semen yang masuk, bila perlu truk semen di *standby* kan di lokasi *batching plant*. Dengan menurunkan suhu material diharapkan dapat menurunkan suhu beton segar nantinya. Hasil pengukuran suhu material di tampilkan dalam table di bawah ini :

Tabel 4.15. Pengukuran Suhu Material *Mock Up*

Suhu Material				
Semen	<i>Fly Ash</i>	Air Es	<i>Split</i> 05-25 mm	Pasir
31,6°C	32,3°C	4,0°C	30,0°C	31,3°C

Pada pengukuran suhu untuk bahan material beton yang digunakan dalam pencampuran beton f_c' 35 MPa untuk *mock up* dan *job mix formula* didapatkan suhu untuk semen yaitu 31,6°C, untuk *fly ash* 32,3°C, untuk air es 4,0°C, untuk *split* 05-25mm 30,0°C, dan untuk material pasir didapatkan suhunya yaitu 31,3°C.



Gambar 4.20. Pengukuran Suhu Material

4.5.3. Pencampuran Beton dan Pengecoran Beton *Job Mix Formula*

Dalam penelitian ini ditentukan untuk struktur *pile head* dengan beton mutu f_c' 35 MPa. Komposisi beton untuk f_c' 35 MPa ini menggunakan material Pasir ex. Klaten, Split 10-20 mm ex. Batang, *fly ash* ex. PT. Hongfa Jaya Internasional, *additive* beton ex. PT. Auk New Material serta semen *portland* jenis I ex. PT. Semen Imasco Asiatic. Komposisi campuran beton yang digunakan pada tahapan *job mix formula* ini lebih detail disampaikan dalam **Tabel 4.16.** berikut ini.

Tabel 4.16. Komposisi Campuran Beton *Job Mix Formula*

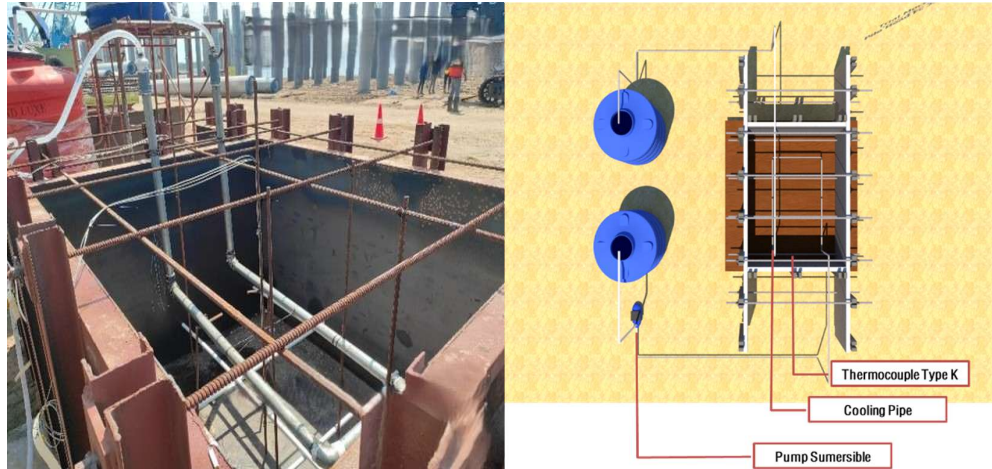
No	Material	Satuan	Volume
1.	Semen Portlant Jenis 1	kg/m ³	288
2.	<i>Fly ash</i> Tipe F	kg/m ³	192
3.	Agregat halus	kg/m ³	866
4.	Agregat kasar	kg/m ³	900
5.	Air	kg/m ³	154
6.	Additive Beton tipe D	ltr/m ³	0.97
7.	Additive Beton tipe F	ltr/m ³	3.71

Sumber : Data Komposisi Campuran Beton BUCG-HK JO

Setelah pengecekan suhu material dilakukan penimbangan lalu pencampuran material di dalam *concrete mixer*. Pencampuran material berdasarkan data perhitungan dan penyesuaian terhadap kadar air. Target *slump* pada campuran ini adalah 14±2 cm dan pada saat *trial* didapatkan *slump* 16 cm pada pukul 20.30 WIB. Serta suhu beton segar yang dihasilkan adalah 27°C. Kemudian dilakukan pengecoran ke bekisting *mock up*. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan bantuan *vibrator*. Pada penelitian ini penulis melakukan pencampuran beton untuk *mock up* sebanyak 3 benda uji. Hal ini dilakukan untuk melakukan monitoring terhadap penggunaan air biasa, air es, dan air es dilanjutkan dengan air biasa sehingga dapat mengetahui metode yang paling efektif diantara ketiga suhu air tersebut. Dokumentasi pengecekan *slump* beton dapat dilihat pada **Gambar 4.21**.



Gambar 4.21. *Slump* 16 cm



Gambar 4.22. *Mock Up Untuk Cooling Pipe System*

Sebelum dilakukan pengecoran *mock up*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menyiapkan bekisting dan juga pipa untuk pengaliran airnya. Dapat dilihat pada **Gambar 4.22** merupakan model untuk pelaksanaan *mock up* dimana ada pipa untuk pengaliran air pada bagian tengah beton, tandon untuk menyimpan air, dan pompa untuk memompa air dan mengalirkan air didalam beton. Sensor-sensor untuk pembacaan suhu menggunakan alat *thermocouple* juga ditanam kedalam beton sesuai dengan **Gambar 4.23**.



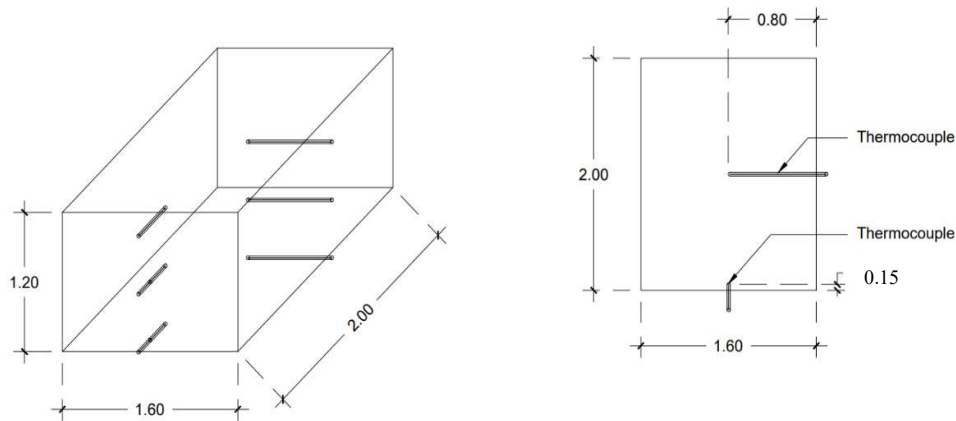
Gambar 4.23. *Pencampuran Beton Untuk Mock Up*

Setelah persiapan bekisting serta piranti-piranti untuk *mock up* telah dipasang semua, Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengecoran dengan mutu beton f_c' 35 MPa.

4.5.4. Hasil Mock Up

Setelah selesai proses pengecoran dilakukan *curing* dan *monitoring* suhu. Proses *curing* dilakukan dengan *curing compound* setelah tercapai *initial set*. Berikutnya setelah *final set* atau setelah beton kering, dilakukan *curing* dengan air dengan intensitas 1 jam sekali. *Curing compound* merupakan cairan yang digunakan pada proses *curing* dengan cara diaplikasikan sebagai pelapis permukaan pada beton yang baru dicor.

Monitoring suhu dilakukan dengan *thermocouple* yang sensornya di pasang seperti gambar dibawah ini. Sensor *thermocouple* T2 dan T5 di pasang di tengah atau inti dari beton *mock up* dengan jarak 60 cm dari atas dan 80 cm dari tepi *mock up*. Sensor T1, T3 dipasang di Tengah beton dengan jarak 15 cm dari selimut, sedangkan sensor T4, T6 dipasang 15 cm dari selimut bagian samping seperti pada **Gambar 4.24**.

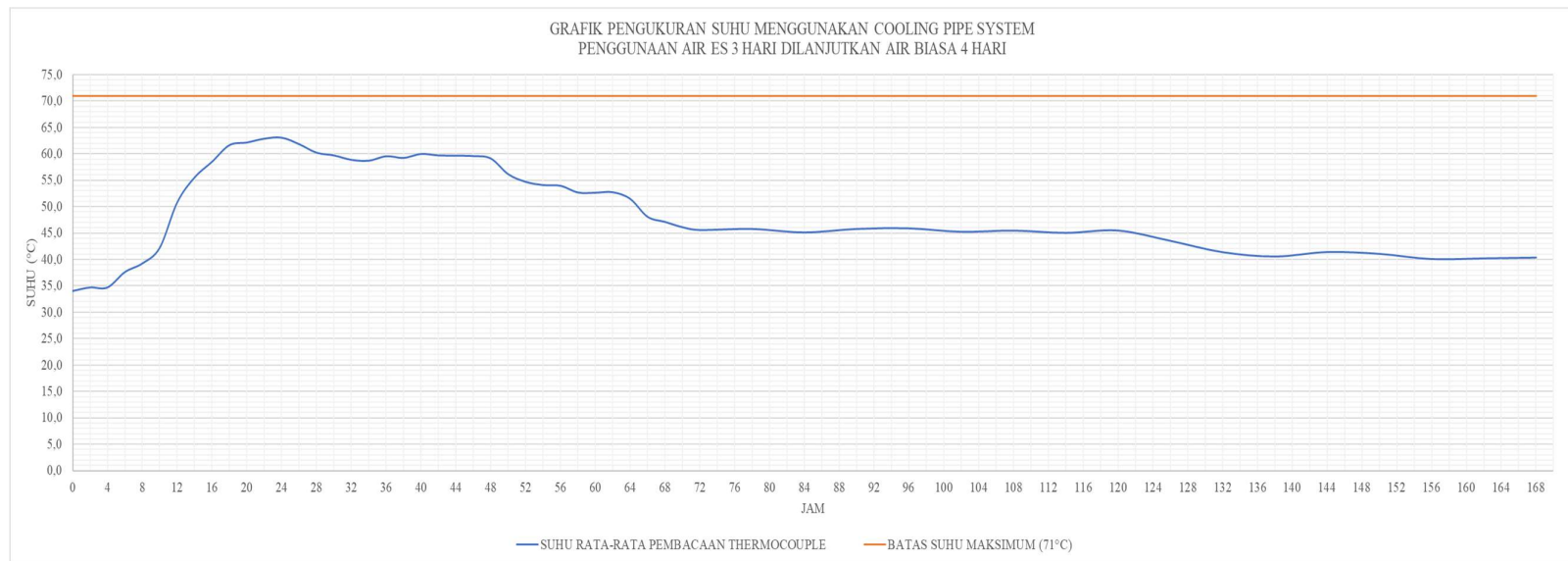


Gambar 4.24. Posisi Penempatan *Thermocouple*
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

Monitoring suhu dilakukan secara berkala, mulai dari setiap 2 jam selama hari pertama sampai ketiga, setiap 6 jam pada hari keempat sampai hari ketujuh. Terdapat 3 variasi yang penulis buat yaitu dengan skema pengaliran selama 3 hari air dilanjutkan 4 hari air biasa, pengaliran air selama 7 hari menggunakan air es, dan pengaliran air selama 7 hari menggunakan air biasa. Dari ketiga variasi ini akan diambil hasil yang paling efektif dan efisien untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. *Monitoring* bacaan suhu *thermocouple* lebih detail dapat dilihat pada **Tabel 4.17**.

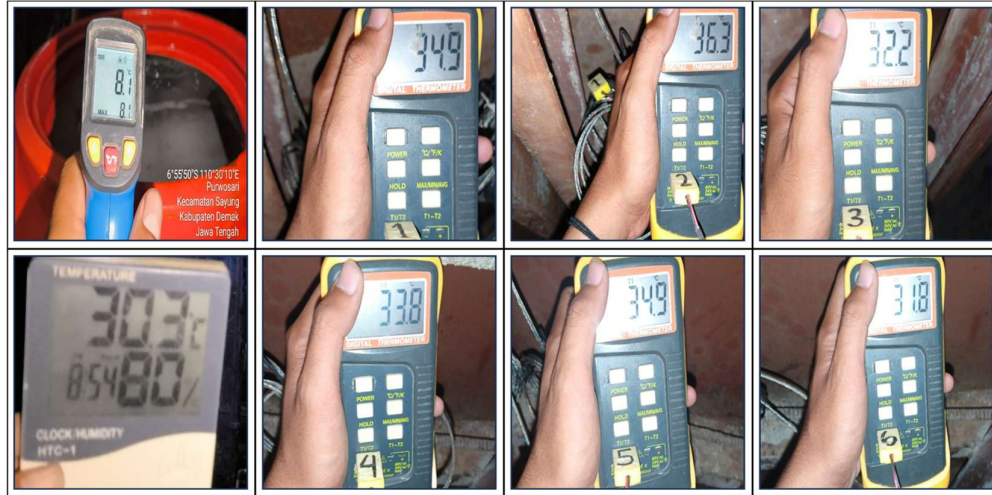
Tabel 4.17. Monitoring Bacaan *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 3 Hari
Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)										Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi			Rata-Rata	Deviasi			
				T1	T2	T3	T4	T5	T6		Δ1	Δ2	Δ3	
											T1-T4	T2-T5	T3-T6	
1	0	22.30	30,3	34,9	36,3	32,2	33,8	34,9	31,8	34,0	1,1	1,4	0,4	8,1
	2	00.30	29,2	35,9	36,8	33,6	33,9	35,3	32,4	34,7	2,0	1,5	1,2	9,6
	4	02.30	29,2	35,9	36,8	33,6	33,9	35,3	32,4	34,7	2,0	1,5	1,2	10,7
	6	04.30	27,6	38,0	39,5	37,7	37,2	36,6	36,4	37,6	0,7	2,9	1,3	13,8
	8	06.30	29,3	39,9	38,9	40,1	38,1	38,2	40,0	39,2	1,8	0,7	0,1	8,9
	10	08.30	31,1	46,4	42,0	46,6	39,5	39,1	39,5	42,2	6,8	2,9	7,1	11,7
	12	10.30	31,7	49,5	50,2	53,3	49,4	50,0	52,0	50,7	0,1	0,2	1,3	14,6
	14	12.30	36,5	55,6	54,3	57,1	55,0	54,2	56,7	55,5	0,6	0,1	0,4	11,3
	16	14.30	36,6	59,1	58,9	57,7	58,7	58,8	57,5	58,5	0,4	0,1	0,2	8,7
	18	16.30	33,0	63,1	61,0	66,9	59,8	58,4	60,3	61,6	3,3	2,6	6,6	11,8
	20	18.30	29,4	67,0	63,6	66,0	59,5	58,7	57,8	62,1	7,5	4,9	8,3	12,5
	22	20.30	29,5	65,0	67,0	65,0	60,2	60,1	59,6	62,8	4,8	6,9	5,4	14,7
24	22.30	27,9	68,5	69,2	60,8	59,5	60,1	60,0	63,0	9,0	9,1	0,8	10,4	
2	26	00.30	26,5	63,0	62,4	65,0	60,2	60,0	60,1	61,8	2,8	2,4	4,9	11,9
	28	02.30	27,6	60,9	60,7	60,0	60,1	59,9	59,5	60,2	0,8	0,8	0,5	8,4
	30	04.30	28,1	60,1	62,6	61,5	57,2	58,5	58,1	59,7	2,9	4,1	3,3	9,6
	32	06.30	29,4	59,5	61,4	59,5	57,4	58,0	57,1	58,8	2,1	3,4	2,3	10,0
	34	08.30	31,2	62,0	58,0	57,5	59,0	58,0	57,4	58,7	3,0	0,0	0,1	10,2
	36	10.30	33,8	62,3	61,7	58,9	57,7	58,2	58,1	59,5	4,6	3,5	0,8	14,3
	38	12.30	35,9	59,7	60,0	59,9	58,5	58,3	58,6	59,2	1,2	1,7	1,2	14,9
	40	14.30	35,4	62,7	59,4	62,7	58,1	58,5	58,0	59,9	4,6	0,8	4,7	13,9
	42	16.30	32,0	60,8	60,2	61,3	59,0	57,9	58,7	59,6	1,8	2,3	2,6	12,3
	44	18.30	29,7	62,1	61,9	59,6	58,4	58,1	57,6	59,6	3,7	3,8	2,0	9,5
	46	20.30	29,2	62,1	59,1	62,4	58,5	57,6	57,6	59,5	3,6	1,4	4,7	8,3
	48	22.30	27,7	60,2	59,8	61,1	57,5	57,6	58,1	59,1	2,7	2,2	3,0	11,1
3	50	00.30	27,7	56,2	55,0	58,0	56,0	54,1	57,3	56,1	0,2	0,9	0,7	9,2
	52	02.30	27,1	56,0	55,5	53,2	55,6	55,0	52,6	54,7	0,4	0,5	0,6	11,1
	54	04.30	27,4	56,2	58,8	58,0	49,4	53,0	48,8	54,0	6,8	5,8	9,2	9,9
	56	06.30	29,7	51,8	59,1	58,0	49,7	55,0	49,9	53,9	2,1	4,1	8,1	9,4
	58	08.30	32,0	56,2	54,0	55,9	48,7	54,0	47,0	52,6	7,5	0,0	8,9	12,1
	60	10.30	32,4	56,4	58,4	55,2	48,6	48,0	48,9	52,6	7,8	10,4	6,3	13,6
	62	12.30	36,1	57,4	58,0	52,8	49,8	49,5	48,6	52,7	7,6	8,5	4,2	15,0
	64	14.30	35,1	50,6	51,0	53,4	50,2	50,4	53,0	51,4	0,4	0,6	0,4	11,5
	66	16.30	31,9	48,0	47,7	49,2	47,6	47,0	48,7	48,0	0,4	0,7	0,5	11,5
	68	18.30	30,4	47,4	47,9	47,3	45,6	47,2	47,0	47,1	1,8	0,7	0,3	9,2
	70	20.30	28,9	48,0	46,0	45,7	47,2	44,9	44,6	46,1	0,8	1,1	1,2	14,8
	72	22.30	27,4	47,8	46,5	45,8	44,2	44,4	44,5	45,5	3,6	2,1	1,3	11,3
4	78	04.30	27,8	45,9	47,2	47,0	45,0	44,3	45,0	45,7	0,9	2,9	2,1	19,4
	84	10.30	32,1	46,1	46,2	45,3	44,5	44,0	44,4	45,1	1,7	2,2	0,9	23,7
	90	16.30	31,4	46,1	47,6	47,6	44,6	44,4	44,2	45,7	1,6	3,2	3,4	21,6
	96	22.30	27,6	47,9	46,2	47,4	44,3	44,2	44,9	45,8	3,6	2,0	2,5	18,5
5	102	04.30	27,8	45,5	47,3	46,5	44,1	43,1	44,6	45,2	1,5	4,1	1,9	18,8
	108	10.30	31,2	45,1	46,5	47,0	44,9	44,9	44,2	45,4	0,2	1,6	2,8	19,5
	114	16.30	32,1	45,9	45,7	45,1	44,3	44,9	44,0	45,0	1,6	0,8	1,2	21,1
	120	22.30	27,3	47,4	47,4	46,1	43,8	43,1	44,7	45,4	3,6	4,3	1,4	19,9
6	126	04.30	27,6	44,5	45,2	43,0	44,0	44,1	40,1	43,5	0,5	1,1	2,9	18,0
	132	10.30	33,2	44,1	44,8	41,9	38,8	38,7	39,7	41,3	5,2	6,2	2,3	18,5
	138	16.30	33,0	43,3	40,4	41,7	39,9	39,2	38,6	40,5	3,4	1,2	3,1	20,7
	144	22.30	26,6	43,4	43,6	44,2	38,0	39,5	39,3	41,4	5,4	4,1	4,9	19,3
7	150	04.30	27,4	42,2	44,9	40,3	39,3	39,5	39,8	41,0	2,8	5,4	0,4	18,8
	156	10.30	31,2	40,6	42,4	40,5	38,5	38,3	40,0	40,0	2,1	4,0	0,5	19,3
	162	16.30	32,1	42,3	43,1	40,3	38,6	38,3	38,4	40,2	3,6	4,8	1,9	22,1
	168	22.30	27,4	40,4	44,5	40,5	39,9	38,0	38,5	40,3	0,5	6,5	2,0	22,6



Gambar 4.25. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari

Pada **Tabel 4.17.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata sebesar 34°C. Sedangkan suhu tertinggi di inti beton yaitu pada *thermocouple* (T2) pada jam ke-24 sebesar 69,2°C dan suhu di tepi beton yaitu pada *thermocouple* (T6) pada jam ke-18 sebesar 60,3°C. Untuk suhu rata-rata tertinggi yaitu pada jam ke-24 sebesar 63,0°C. Pada **Gambar 4.25.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-12 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* dengan penggunaan air es pada 3 hari awal dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari mengalami kenaikan suhu yang tidak melebihi batas yang diizinkan yaitu 71°C.

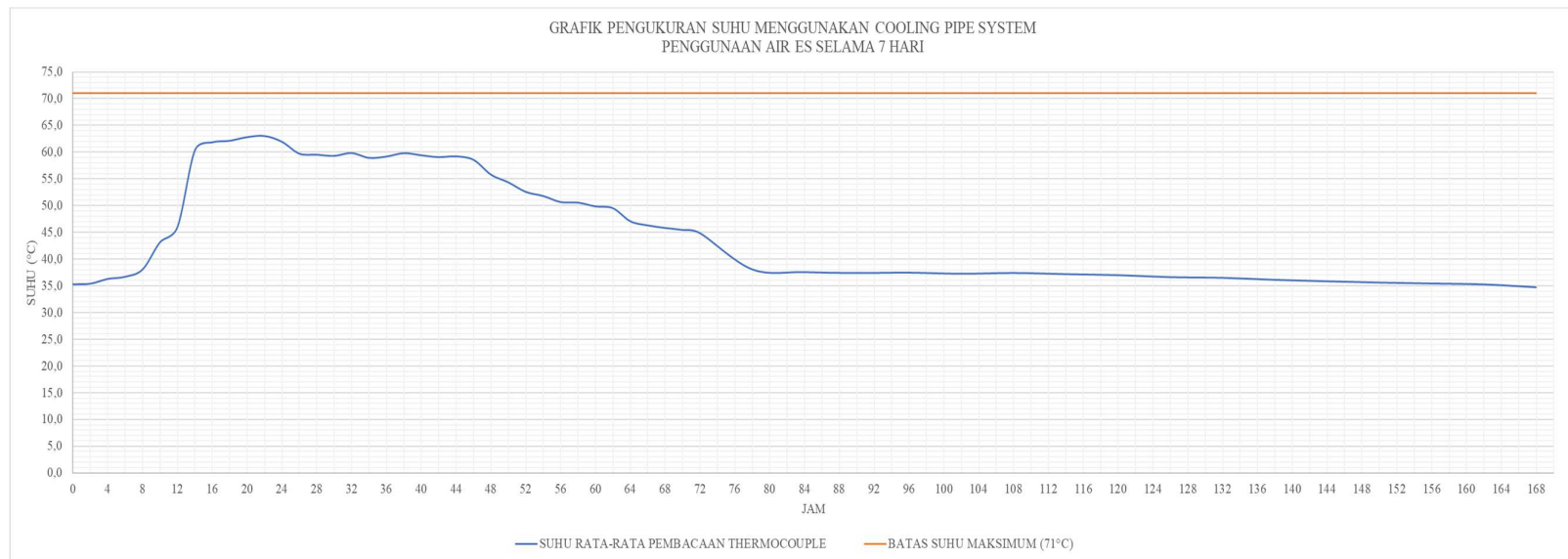


Gambar 4.26. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 3 Hari Dilanjutkan Dengan Air Biasa Selama 4 Hari

Pada **Gambar 4.26.** terlihat pembacaan suhu pada jam ke-0 atau bacaan pertama yang menggunakan beberapa alat. Pertama ada alat *thermo gun* yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam tandon (berisi air es) dimana terlihat pada alat *thermo gun* menunjukan angka 8,1°C. Lalu ada alat *digital hygrometer* yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan sekitar yang menunjukan angka 30,3°C. Kemudian ada alat *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu pada inti beton dan tepi beton. Sensor *thermocouple* nomor 1,2, dan 3 untuk mengukur suhu pada inti beton, sedangkan sensor *thermocouple* nomor 4,5, dan 6 untuk mengukur suhu pada tepi beton. Untuk sensor nomor 1 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 34,9°C, untuk sensor nomor 2 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 36,3°C, untuk sensor nomor 3 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 32,2°C. Pada tepi beton untuk sensor nomor 4 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 33,8°C, untuk sensor nomor 5 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 34,9°C, untuk sensor nomor 6 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 31,8°C. Pada semua sensor suhu alat *thermocouple* didapatkan nilai rata-rata sebesar 34°C.

Tabel 4.18. Monitoring Bacaan *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 7 Hari

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)						Rata-Rata	Deviasi			Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi				Δ1	Δ2	Δ3	
				T1	T2	T3	T4	T5	T6					
				T1-T4	T2-T5	T3-T6								
1	0	22.30	28,0	33,6	39,1	34,7	33,5	37,4	33,5	35,3	0,1	1,7	1,2	8,8
	2	00.30	27,9	36,5	36,0	38,0	33,0	35,0	34,0	35,4	3,5	1,0	4,0	14,5
	4	02.30	27,7	37,0	38,2	38,8	35,6	33,0	35,2	36,3	1,4	5,2	3,6	14,1
	6	04.30	26,6	39,1	38,1	37,0	34,0	35,4	36,7	36,7	5,1	2,7	0,3	13,0
	8	06.30	29,4	39,8	38,9	38,5	36,0	37,1	38,2	38,1	3,8	1,8	0,3	8,5
	10	08.30	32,3	43,3	49,0	48,7	39,6	39,2	39,1	43,2	3,6	9,8	9,6	10,4
	12	10.30	32,4	47,6	47,1	46,5	44,0	45,2	45,6	46,0	3,6	1,9	0,9	15,0
	14	12.30	35,6	60,5	62,0	64,0	58,0	57,2	60,1	60,3	2,5	4,8	3,9	13,1
	16	14.30	35,5	62,2	67,0	65,3	59,3	57,5	59,6	61,8	2,9	9,5	5,7	13,0
	18	16.30	32,5	62,7	67,7	66,0	57,7	59,3	59,1	62,1	5,0	8,4	6,9	13,3
	20	18.30	29,1	68,2	64,0	64,0	58,1	63,0	59,5	62,8	10,1	1,0	4,5	12,9
	22	20.30	29,7	64,9	67,3	67,1	60,2	59,9	58,6	63,0	4,8	7,4	8,5	9,9
24	22.30	27,2	65,8	67,6	61,2	57,8	59,5	59,6	61,9	8,0	8,1	1,6	9,0	
2	26	00.30	27,0	60,8	60,8	60,1	58,0	59,1	59,3	59,7	2,8	1,7	0,8	12,4
	28	02.30	26,9	61,7	61,9	59,5	58,7	57,9	57,3	59,5	3,0	4,0	2,3	8,7
	30	04.30	27,1	60,8	59,2	61,5	57,5	58,0	58,7	59,3	3,4	1,3	2,8	11,4
	32	06.30	29,8	61,2	61,2	62,9	57,9	58,1	57,6	59,8	3,3	3,0	5,4	9,1
	34	08.30	33,5	58,9	60,8	60,9	57,9	57,1	57,7	58,9	1,0	3,7	3,2	11,8
	36	10.30	31,4	60,3	62,6	58,7	57,1	58,1	58,0	59,2	3,2	4,5	0,7	11,9
	38	12.30	35,8	62,7	59,3	61,7	58,4	58,0	58,7	59,8	4,3	1,3	3,0	13,5
	40	14.30	36,0	58,9	63,0	60,4	57,2	58,6	58,3	59,4	1,7	4,4	2,2	13,0
	42	16.30	31,2	61,3	59,1	60,2	57,1	58,7	58,0	59,0	4,2	0,4	2,2	12,9
	44	18.30	29,2	59,2	62,2	60,6	58,0	57,8	57,3	59,2	1,2	4,5	3,3	8,3
	46	20.30	29,1	61,5	62,4	62,2	55,0	54,1	56,0	58,5	6,5	8,3	6,2	10,1
	48	22.30	28,0	57,6	57,7	55,0	55,0	55,1	54,3	55,8	2,6	2,6	0,7	11,2
3	50	00.30	26,4	56,1	55,0	57,6	51,1	52,0	54,2	54,3	5,0	3,0	3,4	14,3
	52	02.30	27,2	59,0	54,9	53,3	49,2	49,1	49,7	52,6	9,7	5,8	3,6	9,1
	54	04.30	26,6	54,8	58,3	50,9	48,5	49,2	49,1	51,8	6,3	9,2	1,8	10,7
	56	06.30	29,4	53,1	52,0	51,1	49,1	49,4	49,2	50,7	4,0	2,6	1,9	9,2
	58	08.30	33,5	51,5	52,1	53,2	48,9	49,4	48,1	50,5	2,6	2,7	5,1	13,7
	60	10.30	31,3	53,1	49,8	52,0	47,4	47,0	49,8	49,8	5,7	2,8	2,2	8,6
	62	12.30	35,8	50,2	50,1	49,1	49,5	49,7	48,5	49,5	0,7	0,4	0,6	10,8
	64	14.30	35,7	47,2	48,1	47,5	46,2	46,3	47,1	47,1	1,0	1,8	0,4	9,8
	66	16.30	33,0	48,0	46,9	47,0	47,1	44,7	44,2	46,3	0,9	2,2	2,8	12,4
	68	18.30	29,9	47,5	46,7	47,5	44,3	44,3	44,7	45,8	3,2	2,4	2,9	13,5
	70	20.30	28,8	46,7	45,9	46,9	44,5	44,4	44,3	45,4	2,2	1,5	2,6	13,7
	72	22.30	26,4	47,0	44,0	45,6	44,5	43,1	44,8	44,8	2,5	0,9	0,8	11,6
4	78	04.30	26,6	38,5	39,7	38,9	36,3	37,0	38,1	38,1	2,2	2,7	0,8	8,1
	84	10.30	32,0	38,0	39,2	39,5	35,7	36,3	36,8	37,6	2,3	2,9	2,7	9,4
	90	16.30	32,8	39,4	39,9	38,1	36,7	35,2	35,2	37,4	2,7	4,7	3,0	14,4
	96	22.30	27,1	38,5	39,1	38,3	36,2	36,3	36,4	37,5	2,4	2,8	1,9	8,9
5	102	04.30	26,6	38,8	38,4	38,7	36,0	36,3	35,4	37,3	2,9	2,1	3,4	11,9
	108	10.30	32,1	38,3	38,5	39,0	36,6	36,9	35,3	37,4	1,7	1,6	3,7	12,3
	114	16.30	32,7	37,1	38,7	38,5	35,7	36,3	36,9	37,2	1,4	2,4	1,6	13,8
	120	22.30	27,7	37,4	37,9	38,0	35,5	36,8	36,5	37,0	1,9	1,1	1,5	8,3
6	126	04.30	27,8	39,7	37,9	39,6	34,0	33,7	34,9	36,6	5,7	4,2	4,7	10,9
	132	10.30	31,9	38,2	38,1	39,8	33,9	34,1	35,0	36,5	4,3	4,0	4,8	13,5
	138	16.30	33,0	37,0	36,1	37,2	35,0	36,0	35,5	36,1	2,0	0,1	1,7	10,4
	144	22.30	26,7	38,9	37,8	36,9	33,3	34,6	33,6	35,9	5,6	3,2	3,3	11,8
7	150	04.30	27,7	36,3	38,3	36,1	36,0	33,6	33,4	35,6	0,3	4,7	2,8	9,2
	156	10.30	33,1	35,7	38,5	35,9	34,0	34,1	34,4	35,4	1,7	4,4	1,6	10,8
	162	16.30	31,7	37,1	36,7	35,7	34,3	33,1	34,7	35,3	2,8	3,6	1,0	12,7
	168	22.30	26,7	35,0	35,3	36,1	34,7	34,2	33,1	34,7	0,3	1,1	3,0	13,9



Gambar 4.27. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Es Selama 7 Hari

Pada **Tabel 4.18.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata sebesar 35,3°C. Sedangkan suhu tertinggi di inti beton yaitu pada *thermocouple* (T1) pada jam ke-20 sebesar 68,2°C dan suhu di tepi beton yaitu pada *thermocouple* (T4) pada jam ke-22 sebesar 60,2°C. Untuk suhu rata-rata tertinggi yaitu pada jam ke-23 sebesar 63,0°C. Pada **Gambar 4.27.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-10 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* dengan penggunaan air es selama 7 hari kenaikan suhu yang tidak melebihi batas yang diizinkan yaitu 71°C.

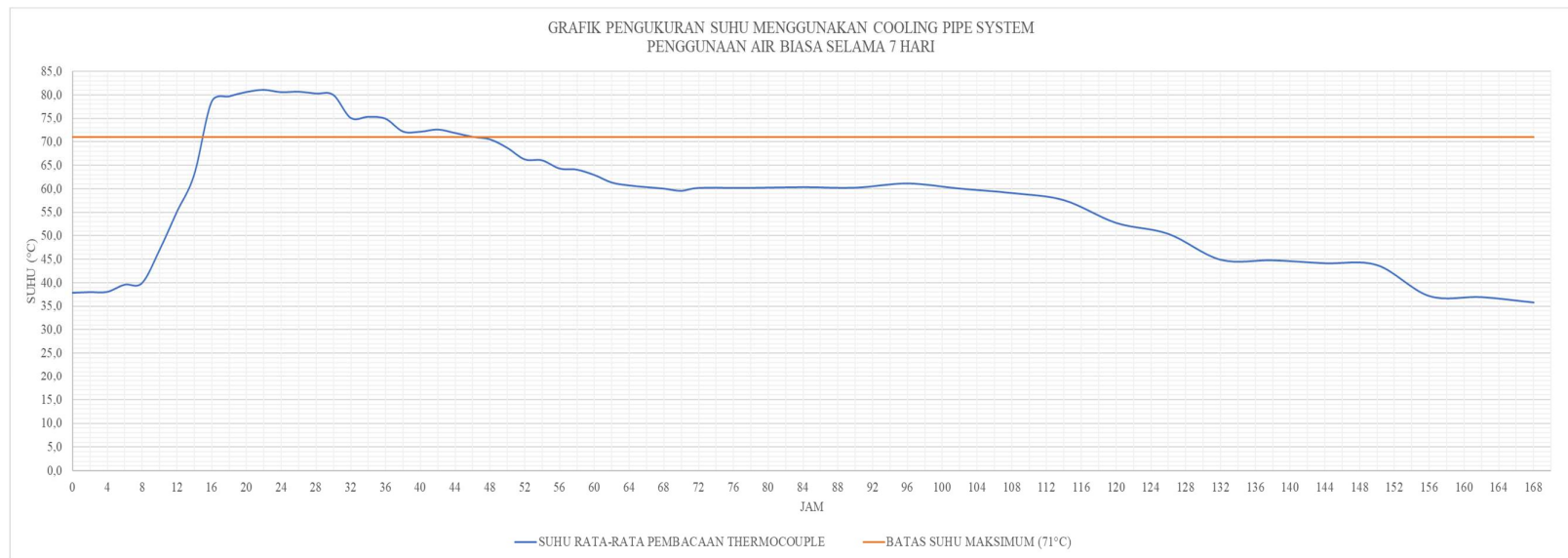


Gambar 4.28. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Es Selama 7 Hari

Pada **Gambar 4.28.** terlihat pembacaan suhu pada jam ke-0 atau bacaan pertama yang menggunakan beberapa alat. Pertama ada alat *thermo gun* yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam tandon (berisi air es) dimana terlihat pada alat *thermo gun* menunjukkan angka 8,8°C. Lalu ada alat *digital hygrometer* yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan sekitar yang menunjukkan angka 28,0°C. Kemudian ada alat *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu pada inti beton dan tepi beton. Sensor *thermocouple* nomor 1,2, dan 3 untuk mengukur suhu pada inti beton, sedangkan sensor *thermocouple* nomor 4,5, dan 6 untuk mengukur suhu pada tepi beton. Untuk sensor nomor 1 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 33,6°C, untuk sensor nomor 2 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 39,1°C, untuk sensor nomor 3 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 34,7°C. Pada tepi beton untuk sensor nomor 4 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 33,5°C, untuk sensor nomor 5 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 37,4°C, untuk sensor nomor 6 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 33,5°C. Pada semua sensor suhu alat *thermocouple* didapatkan nilai rata-rata sebesar 35,3°C.

Tabel 4.19. Monitoring Bacaan *Thermocouple* Dengan Air Biasa Selama 7 Hari

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)						Rata-Rata	Deviasi			Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi				Δ1 T1-T4	Δ2 T2-T5	Δ3 T3-T6	
				T1	T2	T3	T4	T5	T6					
1	0	22.30	29,9	39,9	40,4	35,7	38,5	40,2	32,8	37,9	1,4	0,2	2,9	23,0
	2	00.30	27,6	38,2	39,0	39,5	36,6	37,1	37,9	38,1	1,6	1,9	1,6	22,2
	4	02.30	27,9	41,1	38,4	39,5	37,0	36,5	36,2	38,1	4,1	1,9	3,3	19,0
	6	04.30	26,7	40,3	40,3	40,2	39,8	38,7	38,5	39,6	0,5	1,6	1,7	19,9
	8	06.30	29,8	41,6	40,9	40,5	39,2	38,9	38,7	40,0	2,4	2,0	1,8	18,1
	10	08.30	31,7	47,5	47,4	47,7	46,7	45,9	46,3	46,9	0,8	1,5	1,4	18,0
	12	10.30	31,3	57,4	57,3	55,2	53,6	53,4	53,4	55,1	3,7	3,9	1,8	23,1
	14	12.30	35,9	61,7	63,4	65,1	60,9	62,0	64,8	63,0	0,8	1,4	0,3	23,2
	16	14.30	34,8	80,1	81,0	76,8	78,6	79,2	75,1	78,5	1,5	1,8	1,7	21,3
	18	16.30	31,8	80,8	81,3	82,4	78,5	77,4	77,7	79,7	2,4	3,9	4,7	21,1
	20	18.30	28,7	82,3	84,0	84,6	77,4	77,8	77,5	80,6	4,9	6,3	7,1	22,5
	22	20.30	29,1	83,3	82,6	83,7	78,3	79,9	78,5	81,0	5,1	2,8	5,2	19,2
24	22.30	28,0	84,7	80,4	81,9	79,6	78,9	77,9	80,6	5,1	1,5	3,9	22,7	
2	26	00.30	26,4	82,5	83,0	82,4	77,3	79,5	79,3	80,7	5,2	3,5	3,1	21,5
	28	02.30	26,8	84,1	81,0	80,1	78,5	78,9	79,0	80,3	5,6	2,1	1,1	22,7
	30	04.30	27,1	82,1	80,1	81,6	78,6	77,9	79,6	80,0	3,5	2,2	2,0	22,7
	32	06.30	29,8	75,2	76,5	77,6	73,8	74,1	73,3	75,1	1,4	2,4	4,4	23,9
	34	08.30	32,3	77,5	77,0	75,0	74,4	74,9	73,0	75,3	3,2	2,2	2,0	23,3
	36	10.30	33,2	75,5	76,4	77,2	72,7	72,9	74,8	74,9	2,8	3,6	2,4	22,8
	38	12.30	34,9	72,7	74,0	73,7	71,9	70,6	70,3	72,2	0,8	3,5	3,4	18,3
	40	14.30	35,5	74,5	72,7	72,3	71,7	71,4	70,3	72,2	2,8	1,3	2,0	18,2
	42	16.30	31,3	73,7	73,0	74,2	71,5	71,8	71,7	72,6	2,1	1,2	2,5	23,5
	44	18.30	29,5	72,8	72,4	72,0	71,2	71,4	71,4	71,9	1,6	1,0	0,6	18,5
	46	20.30	29,2	71,2	72,0	73,5	71,0	69,3	69,4	71,1	0,2	2,7	4,1	20,8
	48	22.30	28,1	71,6	71,7	71,7	69,6	69,1	69,5	70,5	2,0	2,6	2,2	23,6
3	50	00.30	27,6	68,9	69,7	68,7	68,0	68,8	68,2	68,7	0,9	0,9	0,5	22,7
	52	02.30	27,9	68,0	66,2	67,4	65,1	64,9	66,0	66,3	2,9	1,3	1,4	19,3
	54	04.30	27,7	66,6	66,2	65,9	66,2	66,0	65,5	66,1	0,4	0,2	0,4	22,5
	56	06.30	29,3	64,3	66,4	66,8	63,0	63,5	62,0	64,3	1,3	2,9	4,8	18,5
	58	08.30	31,9	64,2	66,1	65,6	62,7	62,4	63,4	64,1	1,5	3,7	2,2	20,6
	60	10.30	32,9	63,6	63,5	63,0	62,6	63,0	62,1	63,0	1,0	0,5	0,9	20,8
	62	12.30	35,8	62,1	61,0	62,0	61,6	60,4	61,0	61,4	0,5	0,6	1,0	19,6
	64	14.30	35,0	63,0	63,3	61,6	58,8	58,5	59,2	60,7	4,1	4,8	2,4	18,6
	66	16.30	32,9	60,8	61,7	63,0	58,0	59,2	59,5	60,4	2,8	2,5	3,5	22,7
	68	18.30	29,5	60,9	60,5	63,1	58,2	58,1	59,4	60,1	2,6	2,4	3,7	22,8
	70	20.30	30,4	59,0	60,0	63,1	58,2	58,1	59,1	59,6	0,8	1,9	4,0	21,1
	72	22.30	27,4	62,3	60,5	63,2	58,6	58,5	58,1	60,2	3,8	2,0	5,1	21,5
4	78	04.30	27,0	60,3	61,5	63,4	58,2	59,3	58,6	60,2	2,1	2,2	4,7	21,0
	84	10.30	31,4	62,7	61,8	61,3	58,3	59,8	58,3	60,4	4,4	2,0	3,0	18,7
	90	16.30	31,6	62,6	61,0	61,4	59,4	58,4	58,7	60,2	3,1	2,6	2,7	18,1
	96	22.30	27,5	62,2	63,5	61,7	59,8	60,0	59,7	61,2	2,4	3,5	2,0	18,1
5	102	04.30	27,7	60,2	60,5	61,0	59,2	59,5	60,0	60,1	1,0	1,0	1,0	18,2
	108	10.30	32,9	61,0	58,7	58,8	60,2	58,0	58,0	59,1	0,8	0,7	0,8	20,1
	114	16.30	31,7	57,2	58,4	58,0	57,0	58,1	56,9	57,6	0,2	0,3	1,1	23,0
	120	22.30	29,9	52,3	54,0	53,5	51,0	52,8	53,0	52,8	1,3	1,2	0,5	23,0
6	126	04.30	28,1	50,1	51,0	51,5	49,8	50,2	50,0	50,4	0,3	0,8	1,5	23,6
	132	10.30	33,1	45,2	45,3	46,6	43,9	44,5	44,2	44,9	1,3	0,8	2,4	21,8
	138	16.30	31,2	46,8	45,3	46,4	42,6	43,9	43,8	44,8	4,3	1,5	2,6	22,5
	144	22.30	26,4	44,0	46,3	46,6	42,6	42,1	43,5	44,2	1,5	4,2	3,1	21,6
7	150	04.30	27,1	44,7	44,7	44,6	42,5	43,1	43,2	43,8	2,2	1,6	1,3	19,7
	156	10.30	32,3	37,2	39,3	38,7	35,7	35,9	36,5	37,2	1,5	3,4	2,2	22,1
	162	16.30	32,0	37,2	37,0	38,2	36,8	36,4	36,3	37,0	0,5	0,6	1,9	19,3
	168	22.30	29,8	37,0	37,8	37,8	34,6	33,8	34,2	35,9	2,3	4,1	3,5	19,7



Gambar 4.29. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* Dengan Air Biasa Selama 7 Hari

Pada **Tabel 4.19.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata sebesar $37,9^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu tertinggi di inti beton yaitu pada *thermocouple* (T1) pada jam ke-24 sebesar $84,7^{\circ}\text{C}$ dan suhu di tepi beton yaitu pada *thermocouple* (T5) pada jam ke-22 sebesar $79,9^{\circ}\text{C}$. Untuk suhu rata-rata tertinggi yaitu pada jam ke-22 sebesar $81,0^{\circ}\text{C}$. Pada **Gambar 4.29.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-8 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* dengan penggunaan air biasa selama 7 hari mengalami kenaikan suhu yang melebihi batas yang diizinkan yaitu diatas 71°C .



Gambar 4.30. Pembacaan Alat Pengukur Suhu Pada Jam Ke-0 Dengan Air Biasa Selama 7 Hari

Pada **Gambar 4.30.** terlihat pembacaan suhu pada jam ke-0 atau bacaan pertama yang menggunakan beberapa alat. Pertama ada alat *thermo gun* yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam tandon (berisi air biasa) dimana terlihat pada alat *thermo gun* menunjukan angka 23,0°C. Lalu ada alat *digital hygrometer* yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan sekitar yang menunjukan angka 29,9°C. Kemudian ada alat *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu pada inti beton dan tepi beton. Sensor *thermocouple* nomor 1,2, dan 3 untuk mengukur suhu pada inti beton, sedangkan sensor *thermocouple* nomor 4,5, dan 6 untuk mengukur suhu pada tepi beton. Untuk sensor nomor 1 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 39,9°C, untuk sensor nomor 2 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 40,4°C, untuk sensor nomor 3 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 35,7°C. Pada tepi beton untuk sensor nomor 4 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 38,5°C, untuk sensor nomor 5 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 40,2°C, untuk sensor nomor 6 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 32,8°C. Pada semua sensor suhu alat *thermocouple* didapatkan nilai rata-rata sebesar 37,9°C.

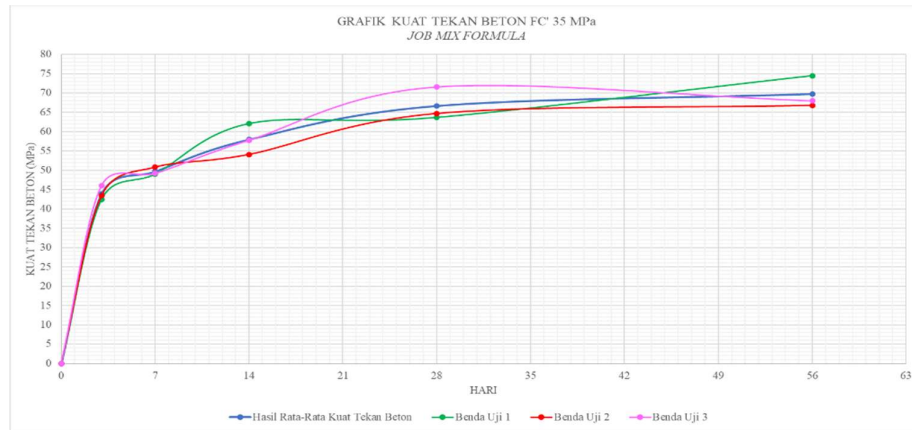
4.5.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Job Mix Formula

Pengujian kuat tekan beton tahap *job mix formula* ini dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 58 hari. Pada kelima umur beton yang dilakukan pengujian kuat tekan beton ini dibuat benda uji masing masing umur beton sebanyak 3 benda uji yang totalnya sebanyak 15 benda uji. *Job mix formula* merupakan formula yang dibuat berdasarkan *job mix design* dan digunakan dalam produksi skala besar yang pencampurannya menggunakan *batching plant* untuk memastikan konsistensi kualitas. Pengujian Kuat Tekan pada tahap *job mix formula* dilakukan di Laboratorium *CRBC-BUCG Batching Plant* dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton pada tahapan *job mix formula*, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.20**.

Tabel 4.20. Hasil Kuat Tekan Beton *Job Mix Formula* dan *Mock Up*

No	Kelas Beton	Hasil Kuat Tekan Beton		Rata-Rata	Presentase Terhadap Mutu
		Umur Beton	Kuat Tekan		
		MPa	Hari		
1	Fc' 35 MPa	3	42,4	43,9	125,52
			43,4		
			46,0		
		7	49,0	49,7	141,90
			50,8		
			49,2		
		14	62,1	58,0	165,71
			54,1		
			57,8		
		28	63,7	66,7	190,48
			64,7		
			71,6		
		56	74,5	69,8	199,33
			66,8		
			68,0		

Pada **Tabel 4.20**, dapat dilihat pada beton Fc'35 MPa *job mix formula* dan *mock up* di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 43,9 MPa. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 49,7 MPa. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 58,0 MPa. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 66,7 MPa. Sedangkan, untuk umur 56 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 69,8 MPa.



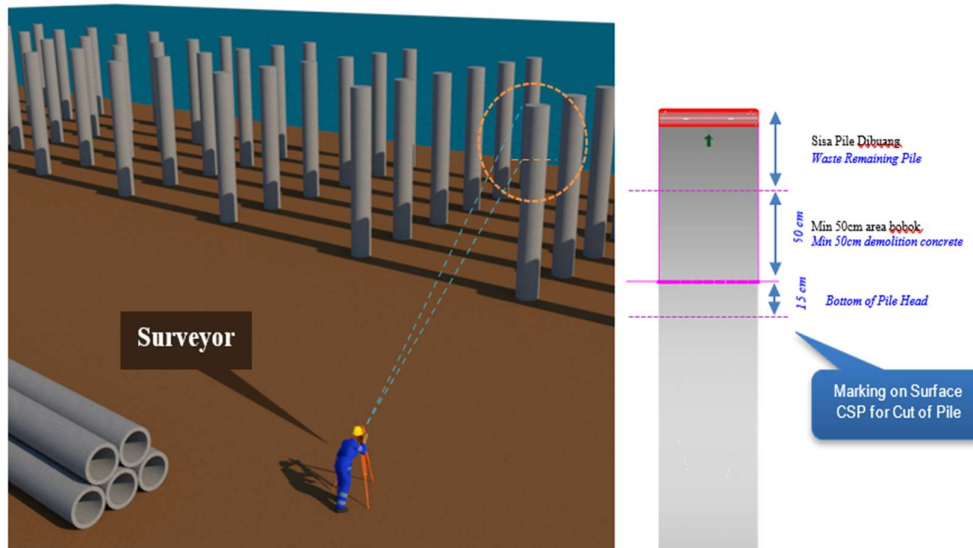
Gambar 4.31. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan *Job Mix Formula*

4.6. Metode Pekerjaan Beton *Mass Concrete*

4.6.1. Pengukuran dan Persiapan Kerja

Pekerjaan *slab on pile* diperlukan pemasangan *ring bracket* sebagai penopang bekisting dan beton di *pile head*. Langkah pertama yang dilakukan adalah pengukuran dan persiapan kerja. Langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan saat pengukuran dan persiapan kerja sebagai berikut :

- Pengangkutan / mobilisasi material yang akan digunakan.
- Pengukuran dan *marking* lokasi titik elevasi pemasangan *ring bracket*.



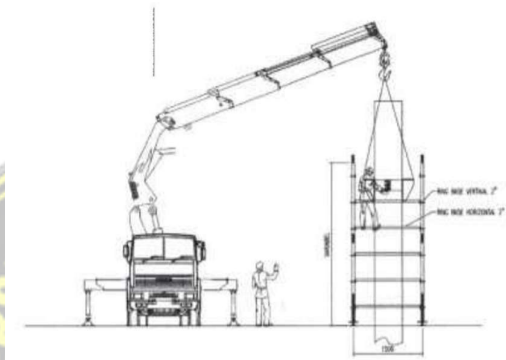
Gambar 4.32. Pengukuran dan Penandaan Tiang Pancang

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.2. Pemasangan Ring Bracket dan Platform Kerja

Ring bracket pada tiang pancang berfungsi sebagai pengikat dan penguat antara tiang pancang dengan struktur atas bangunan, serta untuk mendistribusikan beban secara merata. Langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan saat pemasangan *ring bracket* dan *platform* kerja sebagai berikut :

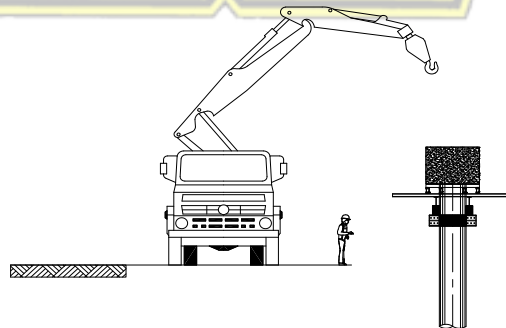
- a. Pemasangan *ring bracket* menggunakan *hiab crane* yang dikaitkan menggunakan sling baja/*webbing sling*, posisi pemasangan mengikuti *marking* yang telah diberikan oleh surveyor dan diberi alas *geotekstile non woven* pada sisi jepit *ring bracket*.



Gambar 4.33. Skema Pemasangan Ring Bracket

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

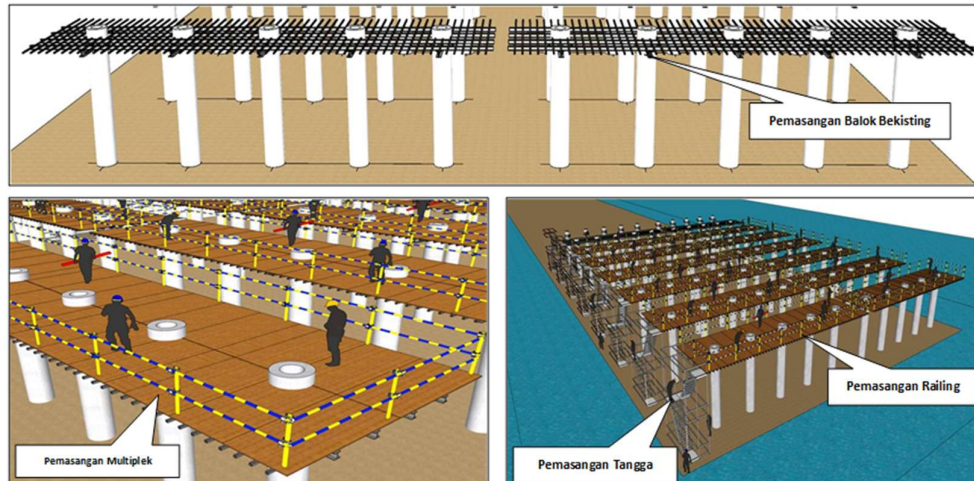
- b. Pemasangan *main beam* dan *secondary beam* untuk mendistribusikan beban yang akan dipikul bekisting.
- c. Pemasangan *platform* kerja.
- d. Pemasangan *railing* pada tepi area kerja diketinggian.
- e. Pastikan *bracket* dinyatakan aman sebelum digunakan untuk bekerja.



Gambar 4.34. Pemasangan Bracket, Main Beam, Secondary Beam, dan Bekisting

Bottom

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

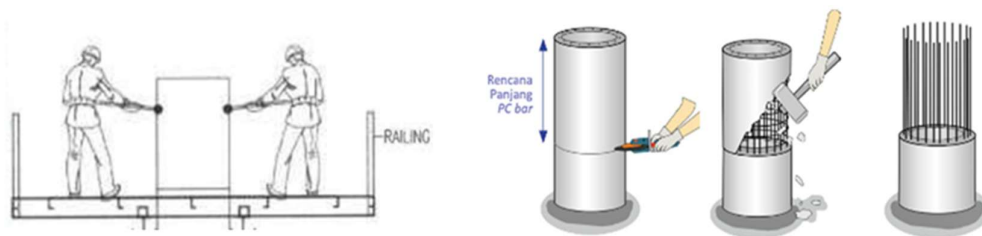


Gambar 4.35. Sketsa Pemasangan *Platform Kerja*
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.3. Pemotongan *Spun Pile* dan Pembobokan Beton

Apabila dalam proses pemancangan *pile* sudah mencapai kedalaman rencana, sehingga mengakibatkan *pile* terdapat sisa diatas permukaan tanah / elevasi rencana, maka tiang tersebut harus dipotong sesuai elevasi yang direncanakan. Langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan saat *survey* dan persiapan kerja sebagai berikut :

- Potong bagian atas dengan gerinda dan pahat.
- Untuk tiang potong yang berada di elevasi tinggi diperlukan bantuan berupa *crane*.
- Lakukan pemotongan pada *cut off level* sampai terlihat *PC-Bar*.
- Beton dipecah dengan pahat dan palu sampai panjang stek yang disyaratkan *shop drawing*.
- Bersihkan sisa pemotongan dan pemotongan selesai.

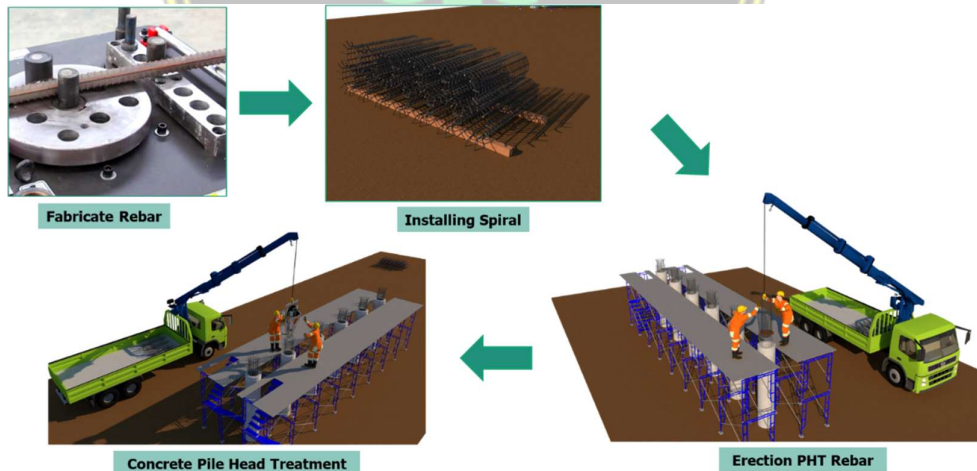


Gambar 4.36. Sketsa Pemotongan *Spun Pile* dan Pembobokan Beton
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.4. Pekerjaan Isian Kepala Tiang Pancang (Pile Head Treatment)

Secara struktur, tujuan utama *pile head treatment* adalah untuk memastikan bahwa kepala tiang pancang terikat dengan kuat pada *pile head*, sehingga dapat menahan dan mendistribusikan beban dari struktur atas secara merata ke seluruh tiang pancang. Selain itu, *pile head treatment* juga berfungsi untuk mencegah kebocoran pada sambungan antara tiang pancang dan *pile head*, terutama pada struktur kedap air. Tahapan pelaksanaan pekerjaan sebagai berikut :

- Perakitan tulangan isian tiang sesuai dengan *shop drawing*.
- Panjang tulangan dari permukaan tiang masuk sedalam 2.15 meter/sesuai *shop drawing*.
- Sebelum pemasangan dan pengecoran dilakukan pengecekan isi tiang pancang terdapat genangan air atau tidak, jika terdapat genangan air segera dikeringkan menggunakan pompa air.
- Pemasangan tulangan kedalam tiang pancang dibantu dengan *service crane*.
- Dilaksanakan pengecoran menggunakan multiplek 18 mm dengan cara mengaitkan baja tulangan ke multiplek dengan kawat bendrat.
- Pemasangan *stopper* tulangan pada permukaan atas tiang pancang sangat penting dan dipastikan kuat dalam menahan beban tulangan dan beton saat dituangkan.
- Pengecoran isian tiang pancang dilakukan terlebih dahulu.

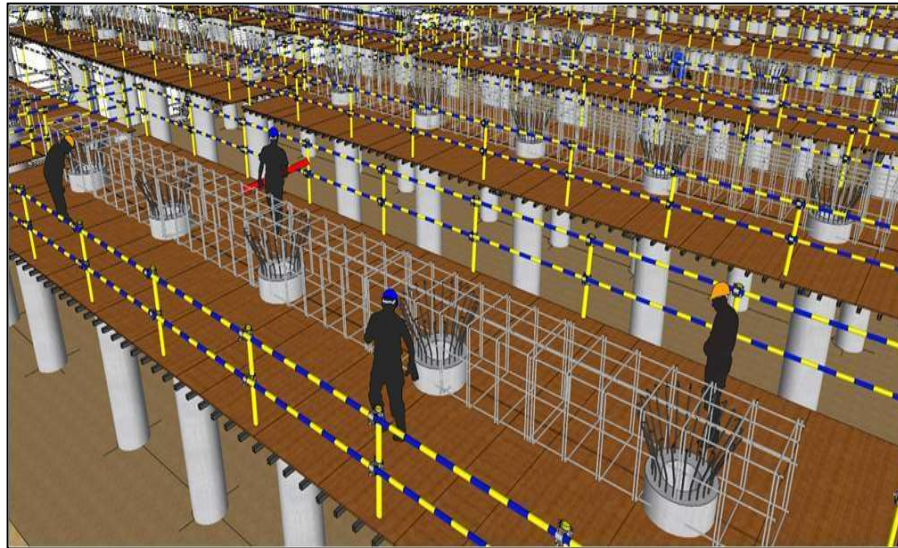


Gambar 4.37. Sketsa Pekerjaan *Pile Head Treatment*

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.5. Pembesian Pile Head

Perakitan tulangan untuk *pile head* menggunakan metode perakitan insitu. Tulangan terlebih dahulu difabrikasi menggunakan *bar bending* dan *bar cutter* sesuai dengan *bar bending schedule* yang ada pada *shop drawing*. Kemudian tulangan diangkut menggunakan *crane* ke atas area kerja *pile head* untuk dirakit untuk perakitan hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu meliputi *overlap* sambungan tulangan, ketebalan selimut beton dan dimensi tulangan itu sendiri.



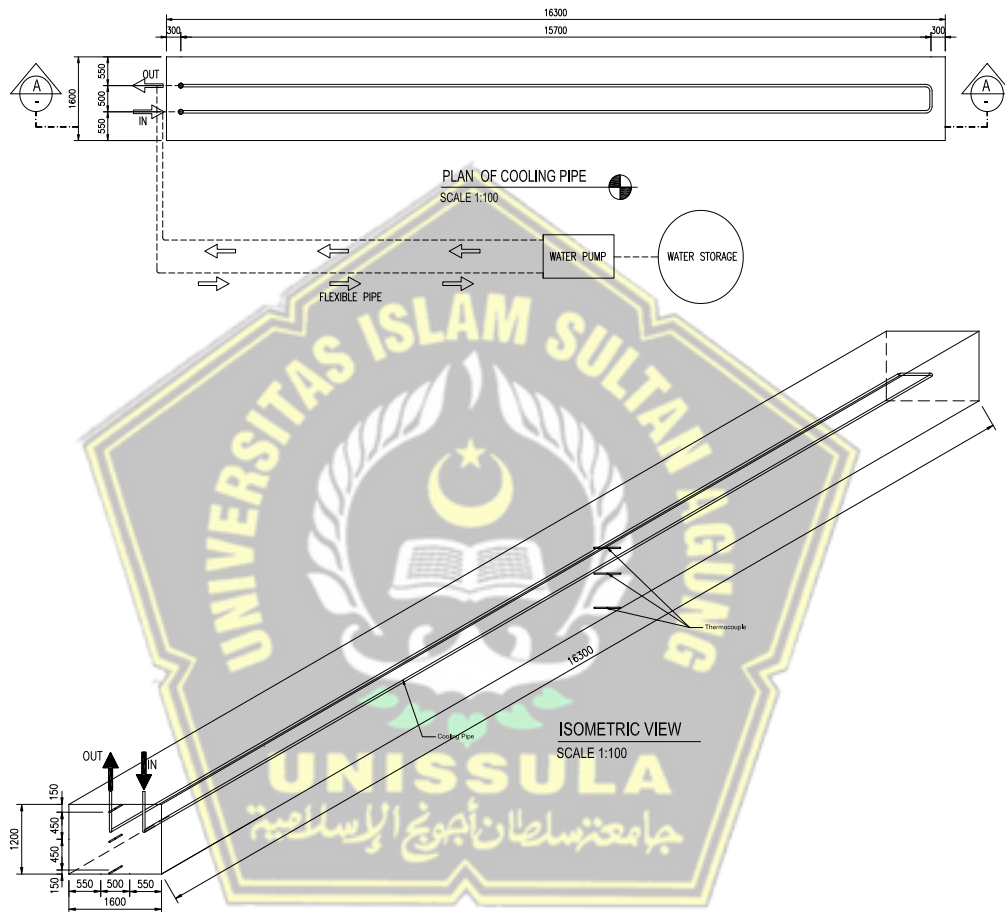
Gambar 4.38. Sketsa Pekerjaan Pembesian Pile Head
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.6. Pekerjaan Pemasangan Pipa Pendingin / Cooling Pipe System

Setelah pembesian selesai, pada beton bervolume besar diperlukan pemasangan pipa pendingin mekanis yang berfungsi sebagai pendingin pada suhu beton saat proses pengerasan yang biasanya akan sangat panas dikarenakan hidrasi dari semen, pemasangan pipa mengikuti gambar kerja dalam uji coba (*mock up*) pengendalian suhu beton. Adapun hal hal yang harus dilakukan sebagai berikut:

- *Setting* alat *monitoring* suhu dan sensor panas pada struktur beton yang memiliki dimensi terkecil > 100 cm.
- Pemantauan suhu akan dilaksanakan setelah pengecoran selesai dan dipantau selama 3x24 jam.

- Pemberian es batu pada air sirkulasi pipa pendingin, pemberian es batu pada air dapat dihentikan saat tren suhu menurun dan melewati suhu puncak.
- Dimensi *Mass Concrete Pile Head* yaitu dengan ukuran tinggi 1,2 m, panjang 16,3 m dan lebar 1,6 m. Alat pencatat suhu masing-masing model sebanyak 6 buah dengan susunan 15 cm dari *bottom pile head*, 60 cm dari *bottom pile head* dan 15 cm dari *top pile head*.



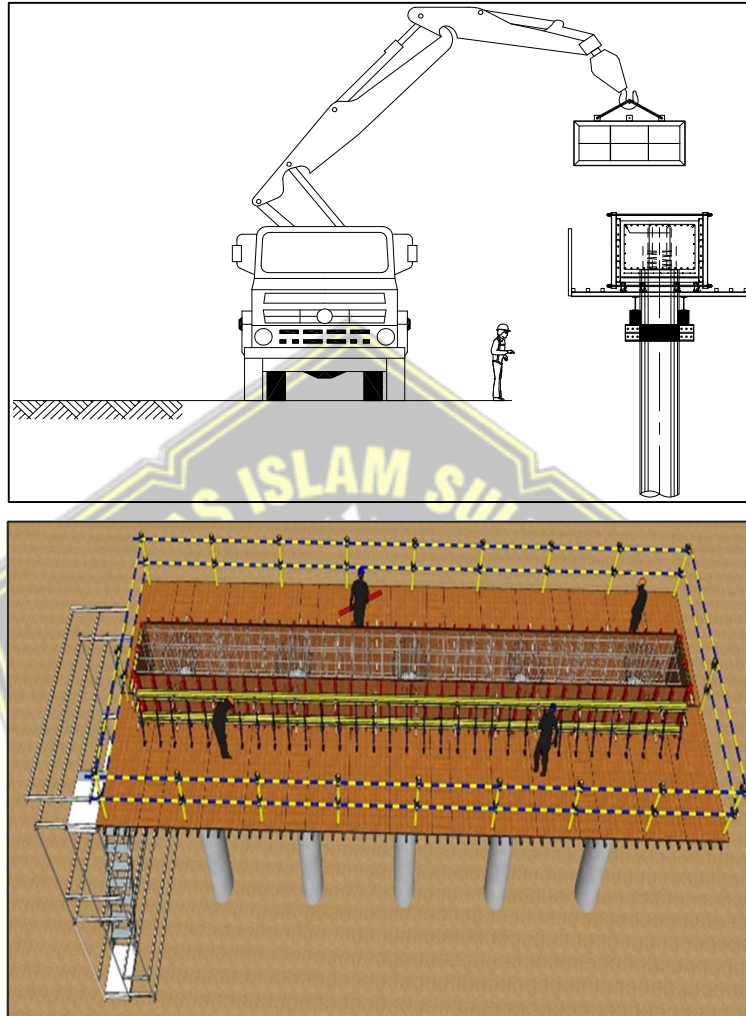
Gambar 4.39. Sketsa Sistem Pipa Pendingin Mekanis (*Cooling Pipe System*)

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.7. Pemasangan Bekisting *Pile Head*

Setelah pembesian selesai, bekisting tepi untuk pengecoran *pile head* dapat dipasang. Bekisting yang dipasang harus sesuai ukurannya dengan yang digambarkan pada *shop drawing*. Memberikan *marking* berupa garis pada permukaan multiplek alas untuk mempermudah menyesuaikan ukuran bekisting

yang diperlukan. Permukaan multiplek bekisting perlu diberikan minyak bekisting untuk mempermudah proses pembongkaran bekisting dan menghasilkan permukaan bekisting yang lebih mulus.



Gambar 4.40. Sketsa Pemasangan Bekisting *Pile Head*

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.8. Material Treatment

Pada pekerjaan pengecoran *mass concrete* ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, yaitu aspek perawatan material dan perawata beton untuk menahan suhu. Perawatan material agregat dan pasir dilakukan penyiraman air menggunakan *sprinkler* secara rutin. Pada perawatan semen dilakukan pengendapan semen selama 2 hari guna menstabilkan suhu, itu artinya perlu diperhatikan siklus pasokan

semen yang masuk, bilaperlu truk silo semen *standby* di lokasi *batching plant*. Dengan menurunkan suhu material diharapkan dapat menurunkan suhu beton segar. Hasil pengukuran suhu material pada tahapan pengecoran *pile head* ini di tampilkan dalam table di bawah ini :

Tabel 4.21. Suhu Material Beton *Mass Concrete*

Suhu Material				
Semen	<i>Fly Ash</i>	Air Es	<i>Split</i>	Pasir
32,7°C	41,5°C	8,6°C	28,9°C	33,3°C

Pada pengukuran suhu untuk bahan material beton yang digunakan dalam pencampuran beton f_c' 35 MPa untuk skala proyek didapatkan suhu untuk semen yaitu 32,7°C, untuk *fly ash* 41,5°C, untuk air es 8,6°C, untuk *split* 05-25mm 28,9°C, dan untuk material pasir didapatkan suhunya yaitu 33,3°C, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.41**.

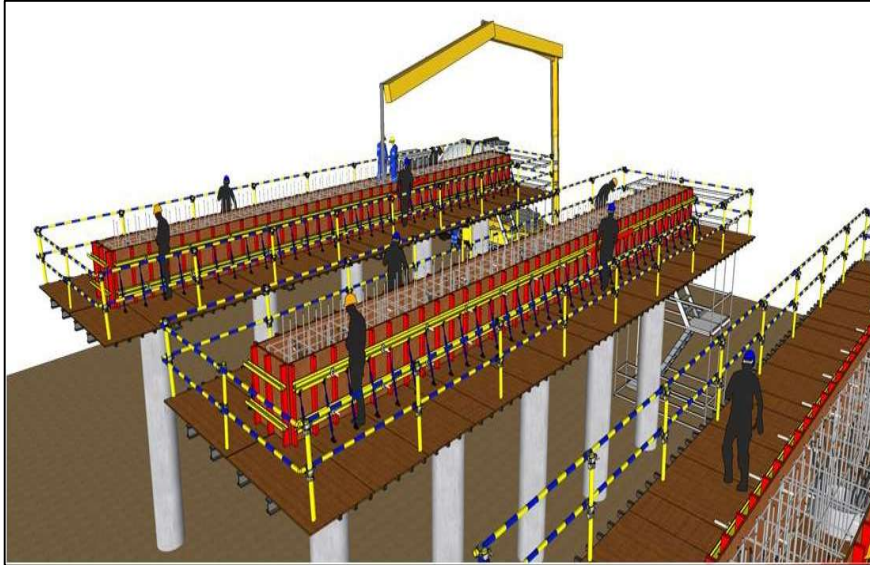


Gambar 4.41. Pengecekan Suhu Material Sebelum Pencampuran Beton *Mass Concrete*

4.6.9. Pengecoran *Pile Head*

Sebelum dilakukan pengecoran, bersihkan area pengecoran dengan memungut sampah yang ada. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan beton *ready mix* dan

concrete pump atau pun dapat menggunakan *bucket* dan *crane service*. Pengecoran akan menggunakan alat penggetar mekanis/*vibrator* untuk membantu beton mengisi rongga dengan baik.



Gambar 4.42. Sketsa Pengecoran *Pile Head*
(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

Komposisi beton untuk $f_c' 35 \text{ MPa}$ ini menggunakan material pasir ex. Klaten, *Split* 10-20 mm ex. Batang, *Fly Ash* ex. PT. Hongfa Jaya Internasional, *Additive* ex. PT. Auk New Material serta semen portland jenis I ex. PT. Semen Imasco Asiatic. Komposisi campuran beton lebih detail disampaikan dalam **Tabel 4.22.** berikut ini.

Tabel 4.22. Komposisi Campuran Beton *Mass Concrete Pile Head*

No	Material	Satuan	Volume
1.	Semen Portlant Jenis 1	kg/m ³	288
2.	<i>Fly ash</i> Tipe F	kg/m ³	192
3.	Agregat halus	kg/m ³	866
4.	Agregat kasar	Kg/m ³	900
5.	Air	kg/m ³	154
6.	<i>Additive</i> Beton tipe D	ltr/m ³	0.97
7.	<i>Additive</i> Beton tipe F	ltr/m ³	3.71

Sumber : Data Komposisi Campuran Beton BUCG-HK JO

Sebelum dilakukan pengecoran dilaksanakan pengujian *slump* terlebih dahulu. Target nilai *slump* pada campuran beton ini adalah 14 ± 2 cm dan pada pengecoran *Pile Head* EJ 21-0 Arah Demak dan EJ 21-0 Arah Semarang didapatkan nilai *slump* 16 cm pukul 15:22 WIB, sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.43**.



Gambar 4.43. *Slump* 16 cm

Setelah nilai *slump* memenuhi target atau syarat yang sudah ditentukan akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu pengecoran *pile head*. Untuk pengecoran *pile head* ini menggunakan alat *crane servise* dan *bucket/termi* sebagai penyalur beton segar ke dalam bekisting *pile head* dengan ukuran panjang 16,30 m, lebar 1,60 m, dan tinggi 1,2 m.



Gambar 4.44. Pengecoran *Mass Concrete Pile Head*

4.6.10. Pengamatan Suhu Beton Mass Concrete

Setelah selesai proses pengecoran dilakukan *curing* dan *monitoring* suhu. Proses *curing* dilakukan dengan *curing compound* setelah tercapai *initial set*. Berikutnya setelah *final set* atau setelah beton kering, dilakukan *curing* dengan air dengan intensitas 1 jam sekali

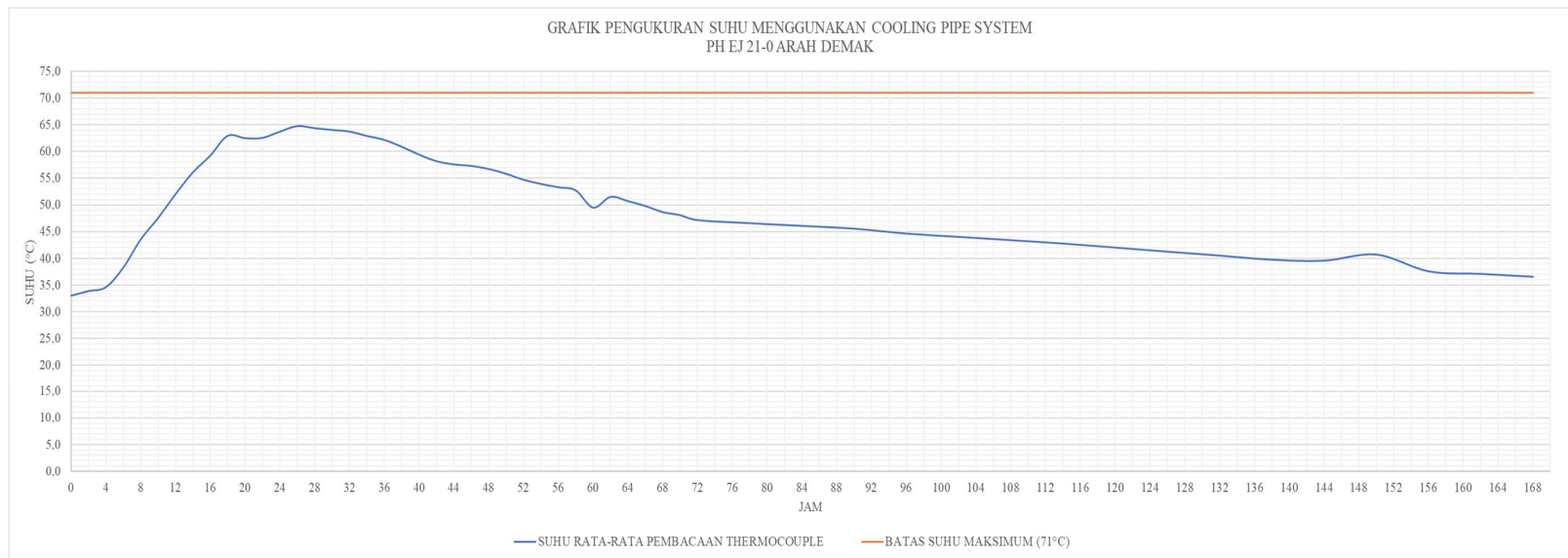
Monitoring suhu dilakukan secara berkala, mulai dari setiap 2 jam selama hari pertama sampai ketiga, setiap 6 jam pada hari keempat sampai hari ketujuh. Dari ketiga variasi yang penulis buat dalam tahap *mock up* yaitu dengan skema pengaliran selama 3 hari air dilanjutkan 4 hari air biasa, pengaliran air selama 7 hari menggunakan air es, dan pengaliran air selama 7 hari menggunakan air biasa. Dari ketiga variasi ini diambil hasil yang paling efektif dan efisien untuk dilanjutkan ke tahap pencampuran beton *mass concrete* dalam skala proyek yaitu dengan skema pengaliran selama 3 hari air dilanjutkan 4 hari air biasa. Monitoring bacaan suhu *thermocouple* lebih detail dapat dilihat pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4.23. Monitoring Bacaan *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Demak

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)										Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi			Rata-Rata	Deviasi			
				T1	T2	T3	T4	T5	T6		Δ1	Δ2	Δ3	
				T1-T4	T2-T5	T3-T6								
1	0	22.30	29,5	34,4	35,1	32,0	32,7	34,3	29,9	33,1	1,7	0,8	2,1	8,1
	2	00.30	26,5	34,5	36,3	32,3	33,8	34,9	31,8	33,9	0,7	1,4	0,5	9,6
	4	02.30	26,5	35,9	36,8	33,6	33,9	35,3	32,4	34,7	2,0	1,5	1,2	10,7
	6	04.30	28,0	39,8	40,3	36,5	38,2	39,8	35,1	38,3	1,6	0,5	1,4	13,7
	8	06.30	29,8	44,6	45,5	42,1	43,1	44,1	41,8	43,5	1,5	1,4	0,3	8,9
	10	08.30	33,5	48,9	50,2	45,8	47,0	49,4	44,0	47,6	1,9	0,8	1,8	9,3
	12	10.30	32,8	53,6	54,6	49,7	52,1	53,7	48,3	52,0	1,5	0,9	1,4	12,1
	14	12.30	34,9	57,0	58,2	54,3	56,4	57,5	53,2	56,1	0,6	0,7	1,1	14,8
	16	14.30	36,4	60,1	62,2	56,9	59,0	61,2	55,9	59,2	1,1	1,0	1,0	12,6
	18	16.30	32,4	63,1	65,5	61,6	62,2	64,6	60,6	62,9	0,9	0,9	1,0	13,1
	20	18.30	29,0	61,9	66,1	60,2	61,3	65,7	59,8	62,5	0,6	0,4	0,4	9,5
	22	20.30	29,1	61,6	68,6	59,6	60,6	67,4	57,5	62,6	1,0	1,2	2,1	12,6
24	22.30	27,1	62,5	69,3	61,1	61,9	67,7	59,8	63,7	0,6	1,6	1,3	9,5	
2	26	00.30	28,1	65,1	68,9	62,6	63,3	67,5	61,1	64,8	1,8	1,4	1,5	14,6
	28	02.30	29,7	64,8	68,4	62,4	63,0	66,9	60,7	64,4	1,8	1,5	1,7	15,1
	30	04.30	27,6	64,1	67,7	62,1	62,9	66,6	60,8	64,0	1,2	1,1	1,3	12,9
	32	06.30	29,2	63,1	67,3	62,1	62,8	66,2	60,9	63,7	0,3	1,1	1,2	14,8
	34	08.30	33,0	62,8	66,1	61,0	61,9	65,4	60,3	62,9	0,9	0,7	0,7	9,9
	36	10.30	31,8	61,9	65,4	60,4	60,7	64,9	59,8	62,2	1,2	0,5	0,6	10,7
	38	12.30	36,0	60,5	64,8	59,4	59,2	63,2	58,3	60,9	1,3	1,6	1,1	10,7
	40	14.30	36,3	58,3	64,2	57,2	57,1	62,9	56,9	59,4	1,2	1,3	0,3	12,6
	42	16.30	31,2	57,6	63,8	54,6	56,8	62,7	53,7	58,2	0,8	1,1	0,9	9,0
	44	18.30	30,4	57,1	63,5	54,1	55,3	62,5	53,1	57,6	1,8	1,0	1,0	11,3
	46	20.30	30,5	56,9	63,3	53,7	55,0	62,4	52,6	57,3	1,9	0,9	1,1	9,5
	48	22.30	27,1	56,5	63,3	52,7	54,7	62,3	51,0	56,8	1,8	1,0	1,7	11,7

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)										Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi			Rata-Rata	Deviasi			
				T1	T2	T3	T4	T5	T6		Δ1	Δ2	Δ3	
											T1-T4	T2-T5	T3-T6	
3	50	00.30	27,4	55,8	62,7	52,1	53,2	61,1	50,2	55,9	2,6	1,6	1,9	14,3
	52	02.30	27,8	54,9	60,2	51,9	51,7	60,0	49,7	54,7	3,2	0,2	2,2	9,7
	54	04.30	27,2	53,2	59,6	51,2	51,3	58,9	49,5	54,0	1,9	0,7	1,7	8,0
	56	06.30	29,3	52,7	59,2	50,5	50,7	58,3	48,6	53,3	2,0	0,9	1,9	10,5
	58	08.30	33,5	52,4	58,4	50,0	50,2	57,1	48,4	52,8	2,2	1,3	1,6	8,1
	60	10.30	32,3	52,0	51,7	49,8	49,8	46,6	47,2	49,5	2,2	5,1	2,6	11,4
	62	12.30	35,8	51,8	56,8	49,4	49,3	55,3	46,6	51,5	2,5	1,5	2,8	8,8
	64	14.30	35,5	51,5	55,3	48,5	48,6	54,2	46,4	50,8	2,9	1,1	2,1	14,8
	66	16.30	32,9	50,6	54,8	47,4	47,9	53,1	45,2	49,8	2,7	1,7	2,2	11,4
	68	18.30	29,6	49,3	53,7	47,3	46,2	52,7	43,0	48,7	3,1	1,0	4,3	8,8
	70	20.30	28,6	48,7	53,0	46,0	45,4	51,3	44,3	48,1	3,3	1,7	1,7	13,1
	72	22.30	27,7	48,1	52,3	45,1	44,4	50,2	43,1	47,2	3,7	2,1	2,0	13,8
4	78	04.30	28,1	47,5	51,8	44,3	44,0	49,5	42,6	46,6	3,5	2,3	1,7	22,2
	84	10.30	32,5	47,2	50,3	44,1	43,7	49,1	42,3	46,1	3,5	1,2	1,8	22,3
	90	16.30	32,5	46,3	50,1	43,6	43,4	48,5	41,7	45,6	2,9	1,6	1,9	20,2
	96	22.30	27,6	45,8	49,8	43,0	41,1	47,2	41,2	44,7	4,7	2,6	1,8	18,3
5	102	04.30	27,9	44,2	49,2	42,8	40,8	46,7	40,7	44,1	3,4	2,5	2,1	20,5
	108	10.30	32,5	44,1	47,3	42,1	40,4	46,4	40,4	43,5	3,7	0,9	1,7	21,7
	114	16.30	32,3	43,5	46,6	41,1	40,0	46,0	39,7	42,8	3,5	0,6	1,4	23,7
	120	22.30	26,8	42,8	45,8	40,8	39,7	45,1	38,2	42,1	3,1	0,7	2,6	19,4
6	126	04.30	26,3	41,9	44,2	40,3	39,5	43,8	38,1	41,3	2,4	0,4	2,2	20,9
	132	10.30	33,0	41,3	43,0	39,9	38,6	42,9	37,7	40,6	2,7	0,1	2,2	23,6
	138	16.30	32,2	40,2	42,8	38,3	38,2	42,1	37,2	39,8	2,0	0,7	1,1	21,9
	144	22.30	27,1	40,0	41,2	39,0	38,8	40,3	38,4	39,6	1,2	0,9	0,6	22,8
7	150	04.30	28,2	40,2	41,5	42,5	40,0	40,3	40,1	40,8	0,2	1,2	2,4	18,9
	156	10.30	33,4	38,9	38,4	37,0	38,0	37,5	36,0	37,6	0,9	0,9	1,0	19,4
	162	16.30	31,9	37,5	37,0	37,6	37,0	36,8	37,0	37,2	0,5	0,2	0,6	20,5
	168	22.30	26,9	37,0	37,2	37,0	36,0	36,4	36,1	36,6	1,0	0,8	0,9	19,2

Pada **Tabel 4.23.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata sebesar 33,1°C. Sedangkan suhu tertinggi di inti beton yaitu pada *thermocouple* (T2) pada jam ke-24 sebesar 69,3°C dan suhu di tepi beton yaitu pada *thermocouple* (T5) pada jam ke-24 sebesar 67,7°C. Untuk suhu rata-rata tertinggi yaitu pada jam ke-26 sebesar 64,8°C.



Gambar 4.45. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Demak

Pada **Gambar 4.45.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-6 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* pada PH EJ 21-0 Arah Demak tidak melebihi batas yang diizinkan yaitu diatas 71°C.

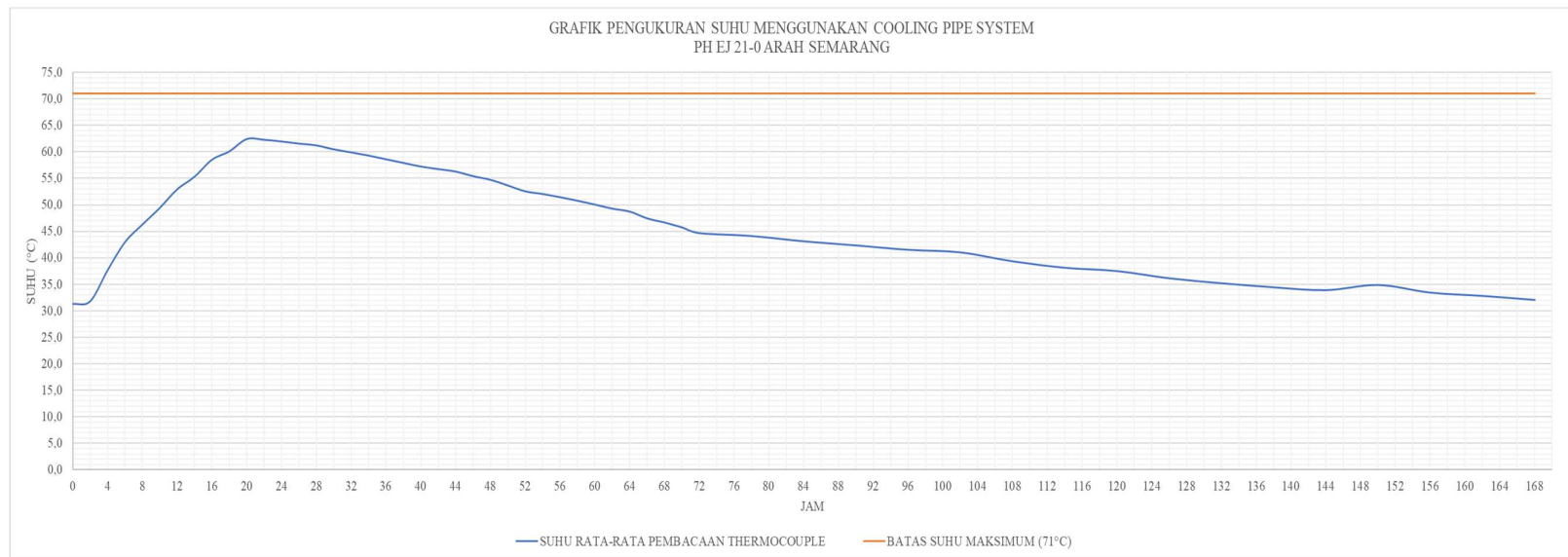


Gambar 4.46. Pembacaan Alat Pengukur Suhu PH EJ 21-0 Arah Demak Pada Jam Ke-28

Pada **Gambar 4.46.** terlihat pembacaan suhu pada jam ke-28 yang menggunakan beberapa alat. Pertama ada alat *thermo gun* yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam tandon (berisi air es) dimana terlihat pada alat *thermo gun* menunjukkan angka 15,1°C. Lalu ada alat *digital hygrometer* yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan sekitar yang menunjukkan angka 29,7°C. Kemudian ada alat *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu pada inti beton dan tepi beton. Sensor *thermocouple* nomor 1,2, dan 3 untuk mengukur suhu pada inti beton, sedangkan sensor *thermocouple* nomor 4,5, dan 6 untuk mengukur suhu pada tepi beton. Untuk sensor nomor 1 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 64,8°C, untuk sensor nomor 2 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 68,4°C, untuk sensor nomor 3 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 62,4°C. Pada tepi beton untuk sensor nomor 4 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 63,0°C, untuk sensor nomor 5 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 66,9°C, untuk sensor nomor 6 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 60,7°C. Pada semua sensor suhu alat *thermocouple* didapatkan nilai rata-rata sebesar 64,4°C.

Tabel 4.24. Monitoring Bacaan *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Semarang

Hari Ke-	Jam Ke-	Jam	Suhu Udara (°C)	Thermocouple (°C)										Suhu Air (°C)
				Inti			Tepi			Rata-Rata	Deviasi			
				T1	T2	T3	T4	T5	T6		Δ1	Δ2	Δ3	
1	0	22.30	29,5	32,3	32,9	30,1	31,3	31,5	30,0	31,4	1,0	1,4	0,1	8,7
	2	00.30	26,5	32,7	33,2	30,3	32,4	32,4	30,1	31,9	0,3	0,8	0,2	9,6
	4	02.30	26,5	38,4	39,6	36,6	37,3	38,4	35,7	37,7	1,1	1,2	0,9	10,4
	6	04.30	28,0	44,5	46,4	40,1	43,2	44,3	39,4	43,0	1,3	2,1	0,7	11,6
	8	06.30	29,8	47,6	49,8	43,8	46,0	48,5	42,1	46,3	1,6	1,3	1,7	13,8
	10	08.30	33,5	51,7	53,1	45,5	50,7	51,2	44,4	49,4	1,0	1,9	1,1	14,6
	12	10.30	32,8	54,0	56,8	49,6	53,2	55,5	48,5	52,9	0,8	1,3	1,1	15,0
	14	12.30	34,9	57,3	59,2	51,4	56,8	57,0	50,2	55,3	0,5	2,2	1,2	14,1
	16	14.30	32,5	60,2	62,6	55,3	58,3	61,4	53,3	58,5	1,9	1,2	2,0	9,2
	18	16.30	32,4	61,2	65,3	56,2	58,9	63,8	55,2	60,1	2,3	1,5	1,0	10,5
	20	18.30	29,0	62,4	68,2	58,5	61,0	66,1	58,2	62,4	1,4	2,1	0,3	14,6
	22	20.30	29,1	63,8	67,6	58,1	61,5	66,6	56,0	62,3	2,3	1,0	2,1	11,7
24	22.30	27,1	63,6	67,5	57,9	61,2	65,5	56,0	62,0	2,4	2,0	1,9	8,3	
2	26	00.30	28,1	63,2	67,0	57,6	60,6	65,3	55,6	61,6	2,6	1,7	2,0	9,8
	28	02.30	29,7	62,7	66,8	57,3	60,1	65,1	55,3	61,2	2,6	1,7	2,0	11,4
	30	04.30	27,6	61,4	66,1	56,6	59,5	64,5	54,7	60,5	1,9	1,6	1,9	12,2
	32	06.30	29,2	60,3	65,7	56,0	59,2	64,1	54,1	59,9	1,1	1,6	1,9	12,8
	34	08.30	33,0	59,6	65,3	55,4	58,4	63,3	53,8	59,3	1,2	2,0	1,6	13,6
	36	10.30	31,8	58,9	64,8	54,7	57,3	62,8	53,1	58,6	1,6	2,0	1,6	9,2
	38	12.30	36,0	58,2	64,2	53,9	56,6	62,1	52,5	57,9	1,6	2,1	1,4	12,5
	40	14.30	36,3	57,5	63,9	53,3	55,1	61,3	52,3	57,2	2,4	2,6	1,0	9,6
	42	16.30	31,2	57,1	63,3	52,1	55,3	61,0	51,7	56,8	1,8	2,3	0,4	10,3
	44	18.30	30,4	56,8	62,7	51,7	55,0	60,7	50,8	56,3	1,8	2,0	0,9	11,6
	46	20.30	30,5	56,4	62,4	50,4	54,8	60,1	48,4	55,4	1,6	2,3	2,0	12,4
	48	22.30	27,1	55,6	61,4	49,4	54,8	59,8	47,4	54,7	0,8	1,6	2,0	8,0
3	50	00.30	27,4	54,9	60,8	48,4	53,4	59,6	44,9	53,7	1,5	1,2	3,5	10,2
	52	02.30	27,8	52,1	60,3	47,3	51,6	59,4	44,7	52,6	0,5	0,9	2,6	12,2
	54	04.30	27,2	52,0	59,7	47,0	51,3	58,1	44,3	52,1	0,7	1,6	2,7	13,4
	56	06.30	29,3	51,7	59,2	46,6	50,2	57,3	43,8	51,5	1,5	1,9	2,8	14,9
	58	08.30	33,5	50,8	58,6	45,2	49,8	57,0	43,4	50,8	1,0	1,6	1,8	15,2
	60	10.30	32,3	49,6	58,1	44,7	48,3	56,7	43,0	50,1	1,3	1,4	1,7	12,5
	62	12.30	35,8	49,0	57,7	43,5	47,4	55,4	42,8	49,3	1,6	2,3	0,7	12,8
	64	14.30	35,5	48,8	56,0	43,4	46,4	55,2	42,7	48,8	2,4	0,8	0,7	9,5
	66	16.30	32,9	46,1	55,2	43,0	45,3	53,1	42,1	47,5	0,8	2,1	0,9	10,3
	68	18.30	29,6	45,3	54,2	42,6	43,5	52,8	41,8	46,7	1,8	1,4	0,8	11,6
	70	20.30	28,6	44,8	53,7	42,2	42,7	51,0	40,3	45,8	2,1	2,7	1,9	12,5
	72	22.30	27,7	43,4	53,0	41,8	41,1	49,3	39,6	44,7	2,3	3,7	2,2	9,1
4	78	04.30	28,1	42,6	52,5	41,4	40,2	49,1	39,1	44,2	2,4	3,4	2,3	15,5
	84	10.30	32,5	42,1	51,4	40,2	38,4	48,6	38,2	43,2	3,7	2,8	2,0	18,2
	90	16.30	32,5	41,1	49,6	39,7	38,1	48,1	37,7	42,4	3,0	1,5	2,0	19,2
	96	22.30	27,6	40,8	48,3	38,1	37,5	47,5	37,1	41,6	3,3	0,8	1,0	20,4
5	102	04.30	27,9	40,5	47,8	37,6	36,8	47,1	36,6	41,1	3,7	0,7	1,0	22,5
	108	10.30	32,5	39,4	46,0	35,1	35,9	45,1	34,8	39,4	3,5	0,9	0,3	23,1
	114	16.30	32,3	39,1	44,1	34,8	34,1	43,8	33,1	38,2	5,0	0,3	1,7	24,9
	120	22.30	26,8	39,1	43,6	33,2	33,7	42,9	32,8	37,6	5,4	0,7	0,4	26,2
6	126	04.30	26,3	38,2	42,9	31,0	33,4	41,1	30,5	36,2	4,8	1,8	0,5	27,9
	132	10.30	33,0	36,9	41,4	30,5	32,0	40,7	30,0	35,3	4,9	0,7	0,5	29,1
	138	16.30	32,2	34,2	41,2	30,2	31,5	39,8	30,0	34,5	2,7	1,4	0,2	30,5
	144	22.30	27,1	33,7	40,7	30,0	31,1	38,2	30,0	34,0	2,6	2,5	0,0	24,5
7	150	04.30	28,2	34,7	35,1	36,5	34,2	35,0	34,0	34,9	0,5	0,1	2,5	24,0
	156	10.30	33,4	34,6	33,3	33,1	34,0	33,1	32,8	33,5	0,6	0,2	0,3	23,1
	162	16.30	31,9	33,3	33,1	33,5	32,4	32,5	32,4	32,9	0,9	0,6	1,1	23,0
	168	22.30	26,9	33,5	32,1	31,5	33,0	31,5	31,1	32,1	0,5	0,6	0,4	22,0



Gambar 4.47. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Semarang

Pada **Tabel 4.24.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata sebesar 31,4°C. Sedangkan suhu tertinggi di inti beton yaitu pada *thermocouple* (T2) pada jam ke-20 sebesar 68,2°C dan suhu di tepi beton yaitu pada *thermocouple* (T5) pada jam ke-22 sebesar 66,6°C. Untuk suhu rata-rata tertinggi yaitu pada jam ke-20 sebesar 62,4°C. Pada **Gambar 4.47.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-6 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* pada PH EJ 21-0 Arah Semarang tidak melebihi batas yang diizinkan yaitu diatas 71°C.



Gambar 4.48. Grafik Pembacaan Suhu *Thermocouple* PH EJ 21-0 Arah Semarang Pada Jam Ke-16

Pada **Gambar 4.48.** terlihat pembacaan suhu pada jam ke-16 yang menggunakan beberapa alat. Pertama ada alat *thermo gun* yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam tandon (berisi air es) dimana terlihat pada alat *thermo gun* menunjukkan angka 9,2°C. Lalu ada alat *digital hygrometer* yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan sekitar yang menunjukkan angka 32,5°C. Kemudian ada alat *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu pada inti beton dan tepi beton. Sensor *thermocouple* nomor 1,2, dan 3 untuk mengukur suhu pada inti beton, sedangkan sensor *thermocouple* nomor 4,5, dan 6 untuk mengukur suhu pada tepi beton. Untuk sensor nomor 1 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 60,2°C, untuk sensor nomor 2 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 62,6°C, untuk sensor nomor 3 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 55,3°C. Pada tepi beton untuk sensor nomor 4 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 58,3°C, untuk sensor nomor 5 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 61,4°C, untuk sensor nomor 6 alat *thermocouple* menunjukkan suhu 53,3°C. Pada semua sensor suhu alat *thermocouple* didapatkan nilai rata-rata sebesar 58,5°C.

4.6.11. Pembongkaran Bekisting dan Curing

Setelah beton *setting*, bekisting tepi dapat dibongkar. Beton kemudian dilapisi dengan lapisan *curing compound* untuk menjaga suhu agar tetap stabil. Permukaan

atas *pile head* dapat dicuring terlebih dahulu sebelum bekisting tepi dibuka. Setelah bekisting dibuka beton akan ditutup dengan kain goni, atau kain lain yang dibasahi akan dirawat dengan curing air sekurang-kurangnya 7 hari.

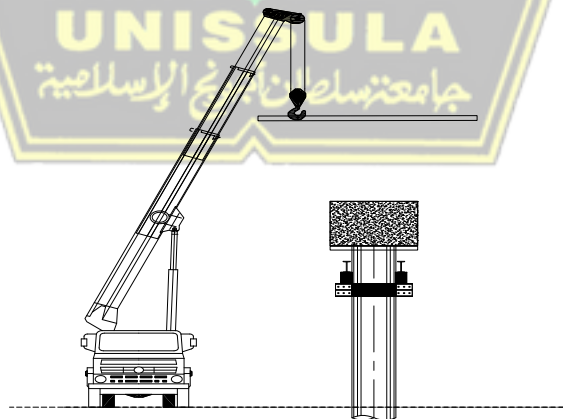
Tabel 4.25 Jumlah Hari Minimum Untuk Pembongkaran Bekisting

	Beton Standar	<i>Early strength Concrete</i>	Persentase kekuatan Desain
<i>Centering</i> di bawah <i>girder</i> , balok, rangka atau busur-busur	14 hari	7 hari	80 %
Plat lantai (<i>floor slabs</i>)	14 hari	7 hari	70%
Dinding	1 hari	12 jam	-
Kolom	2 hari	1 hari	-
Bagian sisi balok dan semua permukaan vertikal lain-nya.	1 hari	12 jam	-

Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO

Dari **Tabel 4.25**. Pembongkaran papan *platform* dilakukan saat mutu beton mencapai minimal 80% dari mutu rencana serta dilampirkan hasil test laboratorium. Langkah-langkah pembongkaran bekisting dijelaskan sebagai berikut :

- Pembongkaran bekisting dinding.
- Setelah kurang lebih 12 jam setelah pengecoran bekisting dinding dicopot dari *pile head*, kemudian dinding dipindahkan menggunakan *hiab/mobile crane*.
- Pembongkaran *Bottom Formwork*.



Gambar 4.49. Sketsa Pekerjaan Pembongkaran Bekisting

(Sumber : *Work Method Statement* BUCG-HK JO)

4.6.12. Hasil Kuat Tekan Beton Mass Concrete Pile Head

Pengujian kuat tekan beton *mass concrete pile head* pada EJ 21-0 Arah Semarang dan EJ 21-0 Arah Demak dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 58 hari. Pada kelima umur beton yang dilakukan pengujian kuat tekan beton ini dibuat benda uji masing masing umur beton sebanyak 3 benda uji yang totalnya sebanyak 15 benda uji. Pengujian kuat tekan beton *mass concrete pile head* pada EJ 21-0 Arah Semarang dan EJ 21-0 Arah Demak dilakukan di laboratorium beton *Batching Plant CRBC-BUCG* dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton pada tahapan *job mix formula*, sebagaimana terlihat pada **Tabel 4.26**.

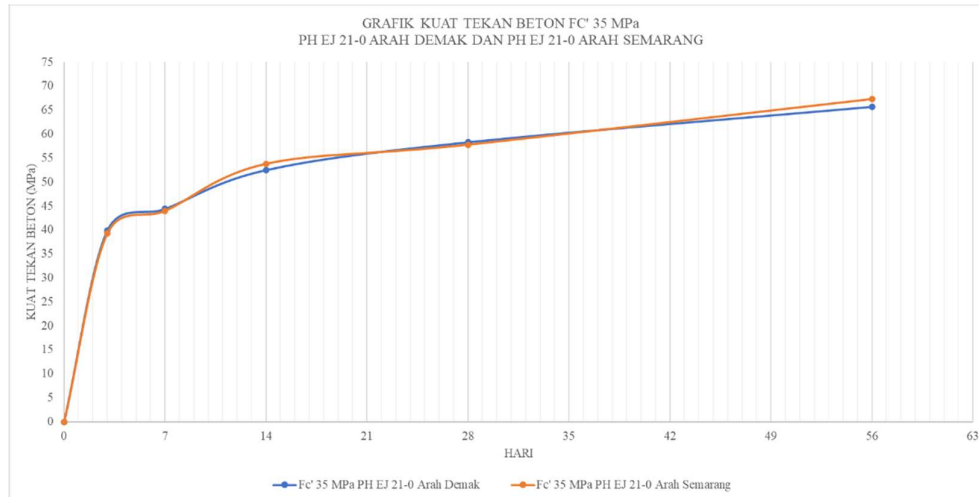
Tabel 4.26. Hasil Kuat Tekan Beton *Mass Concrete* PH EJ 21-0 Arah Semarang dan PH EJ 21-0 Arah Demak

No	Kelas Beton	Hasil Kuat Tekan Beton		Rata-Rata	Presentase Terhadap Mutu	No	Kelas Beton	Hasil Kuat Tekan Beton		Rata-Rata	Presentase Terhadap Mutu
		Umur Beton	Kuat Tekan					Umur Beton	Kuat Tekan		
	MPa	Hari	MPa	MPa	%		MPa	Hari	MPa	MPa	%
1	Fe' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Demak	3	40,1	39,9	113,90	1	Fe' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Semarang	3	40,1	39,3	112,38
			40,0						38,0		
			39,5						39,9		
		7	44,1	44,4	126,95			7	45,0	44,0	125,81
			43,3						44,1		
			45,9						43,0		
		14	54,0	52,5	150,10			14	52,3	53,8	153,71
			53,1						55,1		
			50,5						54,0		
		28	57,3	58,3	166,48			28	59,8	57,8	165,14
			57,4						57,5		
			60,1						56,1		
		56	64,5	65,7	187,71			56	70,1	67,3	192,29
			65,6						68,0		
			67,0						63,8		

Pada **Tabel 4.26**, dapat dilihat pada beton Fc'35 MPa PH EJ 21-0 arah Demak di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 39,9 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 113,90%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 44,4 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 126,95%. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 52,5 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 150,10%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 58,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 166,48%. Sedangkan, untuk umur 56 hari kuat tekan rata-ratanya adalah 65,7 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 187,71%.

Pada beton Fc'35 MPa PH EJ 21-0 arah Semarang di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 39,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 112,38%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 44,0 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 125,81%. Di umur 14 hari menghasilkan

kuat tekan beton rata-rata di 53,8 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 153,71%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 57,8 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 165,14%. Sedangkan, untuk umur 56 hari kuat tekan rata-ratanya adalah 67,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 192,29%.



Gambar 4.50. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Untuk Beton Fc' 35 MPa PH EJ 21-0 Arah Demak dan PH EJ 21-0 Arah Semarang

4.7. Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 4.27. Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

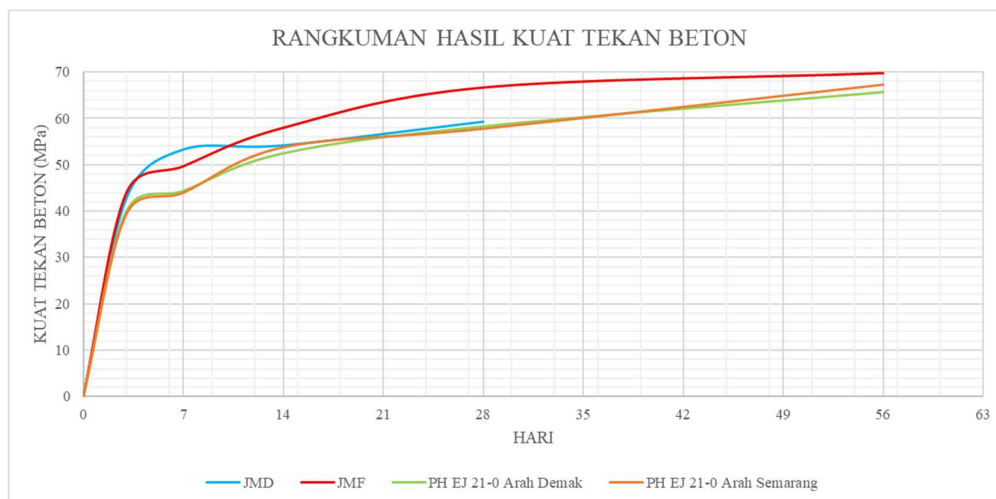
Kelas Beton	Umur Beton	Kuat Tekan Beton Rata-Rata				Presentase Terhadap Mutu			
		JMD	JMF	Pelaksanaan		JMD	JMF	Pelaksanaan	
				PH EJ 21-0 Arah Demak	PH EJ 21-0 Arah Semarang			PH EJ 21-0 Arah Demak	PH EJ 21-0 Arah Semarang
				MPa	MPa			%	%
Fc'35 MPa	Hari	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	%	%
	3	42,70	43,90	39,90	39,30	122,00	125,43	114,00	112,29
	7	53,30	49,70	44,40	44,00	152,29	142,00	126,86	125,71
	14	54,20	58,00	52,50	53,80	154,86	165,71	150,00	153,71
	28	59,30	66,70	58,30	57,80	169,43	190,57	166,57	165,14
	56	-	69,80	65,70	67,30	-	199,43	187,71	192,29

Pada **Tabel 4.27.** dapat dilihat pada beton Fc'35 MPa JMD di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 42,7 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 122,0%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 53,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 152,29%. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 54,2 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 154,86%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 59,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 169,43%.

Pada beton $f_c'35$ MPa JMF di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 39,9 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 125,43%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 44,4 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 142,0%. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 52,5 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 165,71%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 58,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 190,57%. Untuk Umur 56 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 65,70 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 199,43%.

Pada beton $f_c'35$ MPa pada pelaksanaan PH EJ 21-0 Arah Demak di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 43,9 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 114,0%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 49,7 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 126,86%. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 58,0 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 150,0%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 66,70 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 166,57%. Untuk Umur 56 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 69,80 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 187,71%.

Pada beton $f_c'35$ MPa pada pelaksanaan PH EJ 21-0 Arah Semarang di umur 3 menghasilkan kuat tekan beton rata-rata yaitu 39,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 112,29%. Untuk umur 7 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 44,0 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 125,71%. Di umur 14 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 53,8 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 153,71%. Untuk umur 28 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 57,8 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 165,14%. Untuk Umur 56 hari menghasilkan kuat tekan beton rata-rata di 67,3 MPa dengan persentase terhadap mutu sebesar 192,29%.



Gambar 4.51. Grafik Rangkuman Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada **Gambar 4.51.** dapat dilihat bahwa beton mengalami kenaikan kekuatan dimulai pada umur 3 hari secara drastis. Pada umur 14 hari beton masih mengalami kenaikan kekuatan. Setelah umur 28 hari hingga umur 56 hari beton sudah tidak mengalami kenaikan kekuatan yang signifikan.

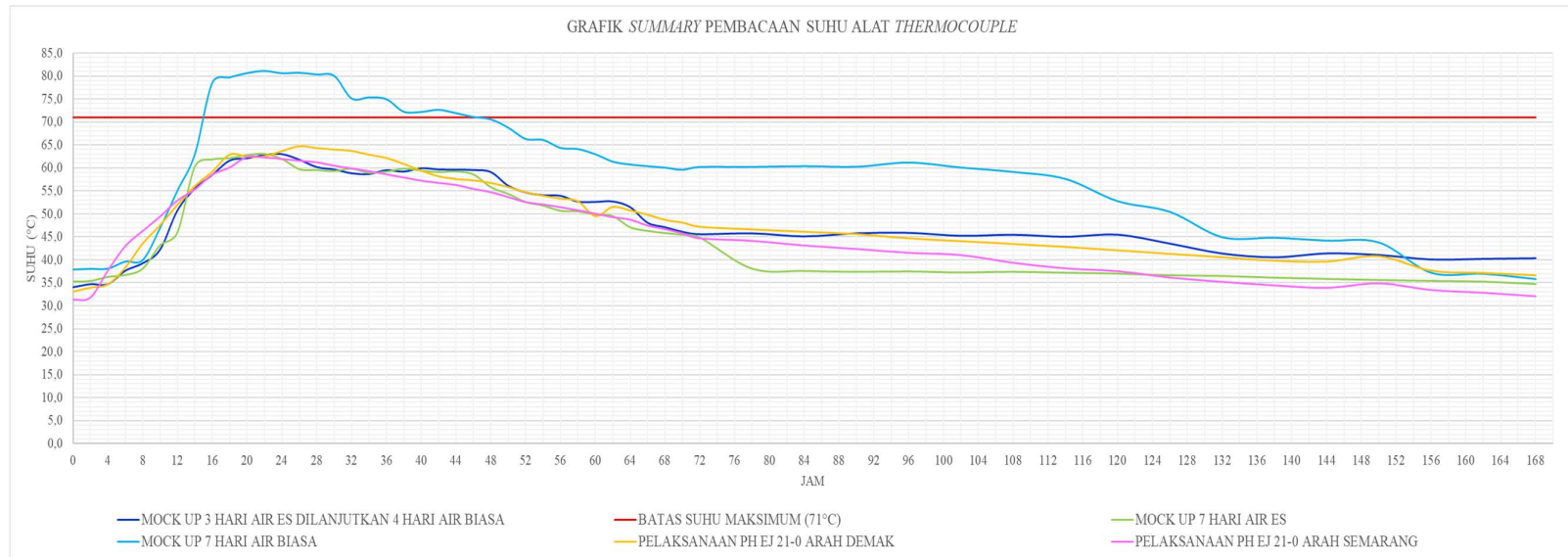
4.8. Rangkuman Bacaan *Thermocouple*

Tabel 4.28. Rangkuman Bacaan *Thermocouple*

Hari	Jam Ke-	Rata-Rata Bacaan <i>Thermocouple</i> (°C)				
		<i>Mock Up</i>			Pelaksanaan	
		3 Hari Air Es Dilanjutkan 4 Hari Air Biasa	7 Hari Air Es	7 Hari Air Biasa	Fc' 35 Mpa PH EJ 21-0 Arah Demak	Fc' 35 Mpa PH EJ 21-0 Arah Semarang
1	0	34,0	35,3	37,9	33,1	31,4
	2	34,7	35,4	38,1	33,9	31,9
	4	34,7	36,3	38,1	34,7	37,7
	6	37,6	36,7	39,6	38,3	43,0
	8	39,2	38,1	40,0	43,5	46,3
	10	42,2	43,2	46,9	47,6	49,4
	12	50,7	46,0	55,1	52,0	52,9
	14	55,5	60,3	63,0	56,1	55,3
	16	58,5	61,8	78,5	59,2	58,5
	18	61,6	62,1	79,7	62,9	60,1
	20	62,1	62,8	80,6	62,5	62,4
	22	62,8	63,0	81,0	62,6	62,3
	24	63,0	61,9	80,6	63,7	62,0

Hari	Jam Ke-	Rata-Rata Bacaan <i>Thermocouple</i> (°C)				
		<i>Mock Up</i>			Pelaksanaan	
		3 Hari Air Es Dilanjutkan 4 Hari Air Biasa	7 Hari Air Es	7 Hari Air Biasa	Fc' 35 Mpa PH EJ 21-0 Arah Demak	Fc' 35 Mpa PH EJ 21-0 Arah Semarang
2	26	61,8	59,7	80,7	64,8	61,6
	28	60,2	59,5	80,3	64,4	61,2
	30	59,7	59,3	80,0	64,0	60,5
	32	58,8	59,8	75,1	63,7	59,9
	34	58,7	58,9	75,3	62,9	59,3
	36	59,5	59,2	74,9	62,2	58,6
	38	59,2	59,8	72,2	60,9	57,9
	40	59,9	59,4	72,2	59,4	57,2
	42	59,6	59,0	72,6	58,2	56,8
	44	59,6	59,2	71,9	57,6	56,3
	46	59,5	58,5	71,1	57,3	55,4
	48	59,1	55,8	70,5	56,8	54,7
3	50	56,1	54,3	68,7	55,9	53,7
	52	54,7	52,6	66,3	54,7	52,6
	54	54,0	51,8	66,1	54,0	52,1
	56	53,9	50,7	64,3	53,3	51,5
	58	52,6	50,5	64,1	52,8	50,8
	60	52,6	49,8	63,0	49,5	50,1
	62	52,7	49,5	61,4	51,5	49,3
	64	51,4	47,1	60,7	50,8	48,8
	66	48,0	46,3	60,4	49,8	47,5
	68	47,1	45,8	60,1	48,7	46,7
	70	46,1	45,4	59,6	48,1	45,8
	72	45,5	44,8	60,2	47,2	44,7
4	78	45,7	38,1	60,2	46,6	44,2
	84	45,1	37,6	60,4	46,1	43,2
	90	45,7	37,4	60,2	45,6	42,4
	96	45,8	37,5	61,2	44,7	41,6
5	102	45,2	37,3	60,1	44,1	41,1
	108	45,4	37,4	59,1	43,5	39,4
	114	45,0	37,2	57,6	42,8	38,2
	120	45,4	37,0	52,8	42,1	37,6
6	126	43,5	36,6	50,4	41,3	36,2
	132	41,3	36,5	44,9	40,6	35,3
	138	40,5	36,1	44,8	39,8	34,5
	144	41,4	35,9	44,2	39,6	34,0
7	150	41,0	35,6	43,8	40,8	34,9
	156	40,0	35,4	37,2	37,6	33,5
	162	40,2	35,3	37,0	37,2	32,9
	168	40,3	34,7	35,9	36,6	32,1
Suhu Tertinggi		63,0	63,0	81,0	64,8	62,4

Pada **Tabel 4.28.** dapat dilihat bahwa suhu beton mengalami kenaikan dimulai pada jam ke-6, hingga mengalami fase puncak antara jam ke-20 hingga jam ke-30. Pada penggunaan air biasa selama 7 hari terhadap *cooling pipe system* terdapat suhu yang melampaui batas yang diizinkan yaitu pada jam ke-16 hingga jam ke-46, sehingga untuk metode penggunaan air biasa tidak dapat digunakan. Berikut merupakan grafik untuk monitoring suhu menggunakan alat *thermocouple* pada **Gambar 4.52.**



Gambar 4.52. Grafik Rangkuman Hasil Pembacaan Suhu Alat *Thermocouple*

Pada **Gambar 4.52.** dapat dilihat hasil dari pembacaan suhu diperoleh suhu di pembacaan awal rata-rata diantara 31,4°C hingga 37,9°C. dilihat bahwa beton mengalami kenaikan suhu dimulai pada jam ke-6 hingga mengalami puncak dari jam ke-20 hingga jam ke-30 yang berangsur-angsur mengalami penurunan suhu sejalan dengan bertambahnya umur beton. Dapat dilihat suhu beton yang menggunakan *cooling pipe system* dengan penggunaan air biasa selama 7 hari mengalami kenaikan suhu yang melebihi batas yang diizinkan yaitu 71°C.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Pada pengujian beton *mass concrete* pada *pile head* ini telah didapatkan hasil penelitian dan analisis data. Berdasarkan tujuan penelitian maka kesimpulan yang didapatkan antara lain:

1. Identifikasi penelitian perawatan beton bervolume besar (*mass concrete*) pada *pile head* menggunakan *cooling pipe system* dengan 3 sistem pengaliran air yaitu 3 hari air es batu dilanjutkan 4 hari air biasa, 7 hari dengan air es batu, dan 7 hari dengan air biasa menghasilkan metode yang paling efektif dan efisien menggunakan metode perawatan dengan pengaliran air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari pada *cooling pipe*.
2. Hasil perawatan beton menggunakan metode *cooling pipe system* dengan penggunaan air es batu selama 3 hari dan dilanjutkan dengan air biasa selama 4 hari mendapatkan suhu optimum pada jam ke-24 di inti beton (T1) adalah 69,2°C, pada jam ke-18 di tepi beton (T6) adalah 60,3°C dan suhu rata-rata optimum pada jam ke-24 adalah 63,0°C.

5.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu memperbanyak benda uji yang diperlukan untuk dapat menganalisis pengendalian suhu lebih detail.
2. Perlu mengkaji lebih lanjut terkait penggunaan dan pengendalian suhu serta mutu *mass concrete*.
3. Memperhatikan dan menjaga kondisi material agar tidak mempengaruhi suhu yang dihasilkan.
4. Memperhatikan dan menjaga suhu beton agar tidak melebihi suhu optimum yang disyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Wicaksono, & Naufal Musyrif Dzaki. (2024). “Metode Sistem Pendingin Mekanis (*Cooling System*) Untuk *Mass Concrete* Pada *Abutment Slab On Pile (Sop)* 8 dan *Overpass* Di Jalan Bebas Hambatan IKN Seksi 5B”
- Andry, J., Pratikso, P., & Mudiyo, R. (2023). Perilaku Aspal Wearing Course terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) dengan Bahan Tambah Polyethylene dan Fine Agregat Slag. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 187-192).
- Badan Standardisasi Nasional. (1993). *SNI 03-2834-1993: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BUCH-HK JO. (2024). “*Work Method Statement Mass Concrete of Pile Head Slab on Pile Toll Road Development of Semarang-Demak 1A*”
- Darmawan, Gerardus Mayella Benny. (2021). “Analisis Metode Pendinginan Pengecoran Beton Dalam Skala Besar (*Mass Concrete*)”
- Fitriyana, L., & Satrio, E. M. (2022). Pengaruh penambahan fly ash sebagai bahan stabilisasi tanah lempung terhadap daya dukung pondasi dangkal. *Pondasi*, 27(2), 288–296.
- Hardagung, H. T., Sambowo, K. A., & Gunawan, P. (2014). Kajian Nilai Slump, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Tambahan Filler Abu Batu Paras. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 131–137.
- Husnah. (2015, Desember 31). Analisis Beton Mutu Tinggi $F'c$ 80 MPa Dengan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Sainstek*, 3(2), 24–37. Universitas Abdurrah.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). “Spesifikasi Umum Untuk Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol”
- Kissi Rosari Pelangie. (2021). *Peninjauan Ulang Pekerjaan Spun Pile Hingga Pekerjaan Pile Head Dalam Metode Slab On Pile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2* (Tugas akhir, Universitas Diponegoro).

- Kurniadi, A., Rosyidin, I. F., Indarto, H., & Atmono, I. D. (2015). Desain struktur slab on pile. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 57–68.
- Kusumosusanto, J. W., dkk. (2023). *Buku saku petunjuk umum konstruksi PISEW 2023*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Pengembangan Kawasan Permukiman.
- M. Dede Pardede, & Fatmawati Oemar. (2020). “Pengendalian Suhu Beton Massa 3500 m³ Menggunakan Balok Es Dan Pengaruhnya Terhadap Beton (Studi Kasus : Pondasi Raft Gedung PPAG2)”
- Miswar, Trisna (2017). “Pengaruh Laju Aliran Fluida Pendingin dan Material Pipa Pendingin Terhadap Distribusi Temperatur Di Dalam Beton yang Didinginkan Dengan Sistem *Post Cooling*”.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Prasetyadi, W. P. (2018). *Pengaruh Penambahan Pozzolan Pada Ordinary Portland Cement Terhadap Kualitas Pozzolan Portland Cement* (Skripsi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).
- Ramadhani, H. D. (2013). Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Olah Raga (GOR) gulat Samarinda. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil*, 1(2), 1134-1156.
- Rochaeti, Jul Endawati, Lilian Diasti Dessi Widuri, & Moeljono. (2021). “Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type II Terhadap Ketebalan Elemen Beton”
- Rommel, E. (2011, Agustus). Pengaruh Pemberian Perawatan Steam Curing Terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton Dengan Semen Pozzolan (Effect of Steam Curing On Strength and Durability Concrete With Cement Pozzolan). *Media Teknik Sipil*, 9(2), 142–154.
- Sancheti, G., Raitka, H., Bhatnagar, V., & Prasad, J. (2021, March 1). Statistical Analysis Of Influencing Design Parameters For Two Way Slabs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1136(1), 012046.
- Siti Abadiyah, Basirun, & Jamaludin Harits Nur Hafidz. (2021) “Studi Perbedaan Temperatur Beton Massa Pada Pekerjaan *Raft Foundation* Dengan Ketebalan 2,5 Meter”

- Yusuf Suranto, & Olvi Pamadya. (2024). “Analisis Metode Pendinginan Pengecoran *Pile Cap* Pada Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek”
- Zhang, T., Wang, H., Luo, Y., Yuan, Y., & Wang, W. (2023). Hydration heat control of mass concrete by pipe cooling method. *Materials*, 16(7), 2925.
- Zulkarnain, F. (2021). *Teknologi Beton*. Medan: UMSU Press.

