

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGARUH PENGAPLIKASIAN PHASE
CHANGE MATERIAL (PCM) PARAFIN PADA BETON
MUTU SEDANG TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT
TARIK, DAN EMISIVITAS BETON
*(STUDY ON THE EFFECT OF APPLYING PHASE
CHANGE MATERIAL (PCM) PARAFFIN IN MEDIUM
STRENGTH CONCRETE ON COMPRESSIVE
STRENGTH, TENSILE STRENGTH AND CONCRETE
EMISSIVITY)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



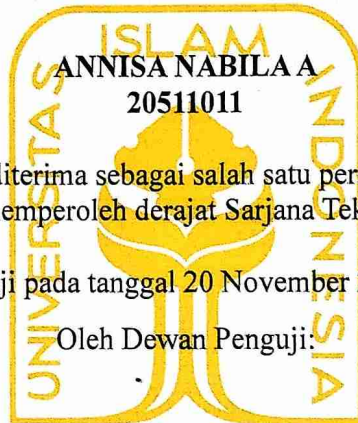
**ANNISA NABILA A
20511011**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

STUDI PENGARUH PENGAPLIKASIAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) PARAFIN PADA BETON MUTU SEDANG TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN EMISIVITAS BETON *(STUDY ON THE EFFECT OF APPLYING PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) PARAFFIN IN MEDIUM STRENGTH CONCRETE ON COMPRESSIVE STRENGTH, TENSILE STRENGTH AND CONCRETE EMISSIVITY)*

Disusun oleh



ANNISA NABILA A
20511011

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 20 November 2024

Oleh Dewan Penguji:

Penguji I

6.12.24

Triana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji II

6/12
2024

Jafar, S.T., MURP.
NIK: 18111305

Penguji III

10/12
2024

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304



Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

13/12
2024

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan ini menyatakan dengan tegas bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai bagian dari persyaratan penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya orisinal saya sendiri. Segmen-segmen tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini yang diambil dari karya orang lain telah dicantumkan dengan jelas sumbernya, sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah yang berlaku. Apabila di kemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian dari laporan Tugas Akhir ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau terdapat indikasi plagiasi dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk kemungkinan pencabutan gelar akademik yang saya peroleh, sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 30 November 2024

Yang membuat pernyataan,



Annisa Nabila A
Annisa Nabila A

(20511011)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakaatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dengan judul “Studi Pengaruh Pengaplikasian Phase Change Material (Pcm) Parafin pada Beton Mutu Sedang Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Emisivitas Beton” dengan lancar. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak kendala yang ada, namun berkat kritik, saran, serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Berkaitan dengan hal ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing, memberikan ilmunya, mengarahkan, menasihati, memberi semangat, serta membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir penulis yang telah memberikan ilmunya, membantu, menasehati, mengarahkan, dan juga membimbing selama proses pengerjaan Proposal Tugas Akhir berlangsung.
4. Bapak Jafar, S.T., MURP., selaku Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir Saya
5. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Penguji 3 dalam Sidang Tugas Akhir Saya

6. Seluruh laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia yang telah membantu dan mengarahkan selama proses pengumpulan data.
7. Seluruh dosen dan staff program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perancangan Universitas Islam Indonesia.
8. Ayah penulis Dr. Hermawan, S.T., M.M., M.T., yang selalu memberi arahan, masukan, koreksi, nasihat, dukungan, semangat, doa, serta bantuan secara materiil maupun non-materiil, terima kasih untuk selalu sabar dan tidak pernah lelah mendengar keluhan penulis dalam menjalani perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Ibu penulis Hari Murni Setiyawati S.T., S.Kom., MM.Pd yang setiap saat selalu memberi dukungan, arahan dan semangat, serta bantuan secara materiil maupun non-materiil untuk menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dan adik penulis Syabil Agha Arrizqi, yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Dinda Ari Shasita dan Adeline Salmaa A.R. sahabat penulis yang selalu menemani hingga saat ini, terimakasih sudah selalu menjadi tempat berkeluh kesah, yang menguatkan dan membersamai setiap suka dan duka.
11. Krishna, Tika, Imel, Diva, sahabat penulis sejak SMP hingga saat ini, terimakasih sudah selalu ada, membantu, dan menemani.
12. A Adil, Teman-Teman Sekelas Nich, Putri, Habib, Mine, Alip, Ishom, Bintang, Fadel, Vito, Sigit, Deni, Teh Divi terima kasih telah banyak membantu, menemani, dan memberi masukan selama proses perkuliahan dan pembuatan Tugas Akhir ini.
13. Semua Kakak, Abang, dan Mba penulis yang selalu memberi semangat, dukungan, dan masukan untuk penulis.
14. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2020 Universitas Islam Indonesia. Terima kasih telah berjuang bersama.

Dengan ini, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya. Namun, saya sendiri sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih ada keluputan dari saya sendiri. Oleh karena itu, saya

berharap bagi pembaca supaya dapat memberikan kritik dan saran yang membangun supaya penulis menjadi lebih baik di masa mendatang.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	8
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Beton	14
3.2 Phase Change Material (PCM)	14
3.3 Parafin	14
3.4 Material Beton untuk Konstruksi Gedung	15

3.5 Phase Change Material (PCM) pada Bangunan Gedung	16
3.6 Perencanaan Campuran Beton	17
3.7 Uji Kuat Tekan Beton	27
3.8 Uji Kuat Tarik Belah	27
3.9 Bangunan Hijau dengan Material Dinding Beton PCM	27
3.10 Emisivitas Beton	29
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	32
4.1 Umum	32
4.2 Variabel Penelitian	32
4.3 Bahan Yang Digunakan	32
4.4 Alat yang Digunakan	33
4.5 Benda Uji	34
4.6 Pelaksanaan Penelitian	35
4.6.1 Persiapan Penelitian	36
4.6.2 Pengujian Agregat	36
4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	36
4.6.4 Pembuatan Dan Pengujian Benda Uji Beton Trial Dengan Umur 3 hari	36
4.6.5 Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Silinder Beton	37
4.6.6 Pengujian Benda Uji	37
4.6.7 Pengukuran Suhu Permukaan Benda Uji	37
4.6.8 Analisis Data	38
4.6.9 Pembahasan	38
4.6.10 Kesimpulan dan Saran	38
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN	40

5.1 Pengujian Material	40
5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	40
5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	40
5.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	57
5.2.1 Perencanaan Campuran Beton Normal	57
5.3 Hasil Pengujian Slump Beton	67
5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	69
5.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	72
5.6 Hasil Pengujian Emissivitas Beton	75
5.6.1 Hasil Pengujian <i>Infrared Thermometer</i>	75
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	97
6.1 Kesimpulan	97
6.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang	
11	
Tabel 3.1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar	18
Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan	19
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) Yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	21
Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	22
Tabel 4.1 Rincian Benda Uji	35
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	41
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	44
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus	45
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	47
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	48
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (Pasir)	49
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	50
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	52
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	53
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar	54
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	56
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	56
Tabel 5.14 Faktor Pengali Deviasi Standar	57
Tabel 5.15 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) Dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang Digunakan di Indonesia	58
Tabel 5.16 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Kemudahan Dalam Adukan Beton	60

Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus	60
Tabel 5.18 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Parafin	66
Tabel 5.19 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton Normal	66
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Nilai Slump	67
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton	70
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Belah Beton	73
Tabel 5.23 Suhu Permukaan Beton Sampel 1	76
Tabel 5.24 Suhu Permukaan Beton Sampel 2	78
Tabel 5.25 Suhu Permukaan Beton Sampel 3	80
Tabel 5.26 Suhu Permukaan Beton Sampel 4	82
Tabel 5.27 Suhu Permukaan Beton Sampel 5	84
Tabel 5.28 Suhu Permukaan Beton Sampel 6	86
Tabel 5.29 Thermal Imaging Beton	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen	20
Gambar 3.2 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm	23
Gambar 3.3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	24
Gambar 3.4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm	24
Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	25
Gambar 3.6 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	20
Gambar 3.7 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	20
Gambar 3.8 <i>Thermal Imaging</i> Pada Sebuah Bangunan	20
Gambar 3.7 Skema Emisivitas pada Benda	28
Gambar 4.1 Tahapan Pengukuran Emisivitas	35
Gambar 4.2 Jadwal TA	37
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	35
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	46
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	46
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	54
Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	55
Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji Silinder 15 x 30 cm)	59
Gambar 5.6 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	62
Gambar 5.7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	64
Gambar 5.8 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi	68
Gambar 5.9 Contoh Uji <i>Slump</i>	68

Gambar 5.10 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Parafin	71
Gambar 5.11 Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton	71
Gambar 5.12 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton pada Tiap Variasi	74
Gambar 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton dengan Parafin	74
Gambar 5.14 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 1	88
Gambar 5.15 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 2	89
Gambar 5.16 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 3	90
Gambar 5.17 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 4	91
Gambar 5.18 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 5	92
Gambar 5.19 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 6	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pemeriksaan Agregat	105
Lampiran 2 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton	116
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian	118
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian <i>Workability</i> Beton Parafin	122
Lampiran 5 Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Parafin	123
Lampiran 6 Data Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton Parafin	124
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Suhu Permukaan Beton	125
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian <i>Thermal Imaging</i> Beton	137

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PC	= <i>Portland Cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= American Standard Testing and Material
PCM	= <i>Phase Change Material</i>
f'_c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f'_{ct}	= Kuat Tarik Belah Beton (MPa)
$^{\circ}\text{C}$	= Derajat Celcius
M	= Nilai Tambah
S_r	= Deviasi standar
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
<i>f</i> _{as}	= Faktor air semen
BJ_{gab}	= Berat jenis relatif/gabungan agregat
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
c	= Jumlah semen (kg/m^3)
% Ag.Halus	= Persentase agregat kasar (%)
% Ag.Kasar	= Persentase agregat halus (%)
BJ_{AH}	= Berat jenis agregat halus
BJ_{AK}	= Berat jenis agregat kasar
MPa	= Megapascal
cm	= Centimeter
kg	= Kilogram
g	= Gram
d	= Diameter silinder
t	= Tinggi silinder

A	= Luas penampang benda uji (mm ²)
P	= Beban maksimum (N)
N	= Newton
kN	= Kilonewton
SSD	= <i>Saturated surface dry</i>

ABSTRAK

Pemanasan global kian parah yang ditandai dengan peningkatan suhu udara pada banyak wilayah. Pemanasan global berkaitan dengan efisiensi energi pada bangunan. Penyelesaian permasalahan pemanasan global dan efisiensi energi bisa dilakukan dengan menambahkan zat aditif pada material bangunan. Namun penambahan zat aditif perlu dilakukan dengan tepat agar kekuatan beton masih sesuai dengan standar yang dipersyaratkan. Penelitian ini mengeksplorasi parafin sebagai Phase Change Material (PCM) dalam beton dan dampaknya terhadap mutu beton serta suhu permukaan. Studi ini berfokus pada variasi kadar parafin untuk menentukan persentase optimal yang menstabilkan suhu tanpa menurunkan mutu beton secara signifikan.

Pada penelitian ini digunakan bahan tambah parafin sebanyak 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen dan pasir. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik, dan suhu permukaan beton pada umur 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 2834-2000 dengan kuat tekan rencana 35 MPa. Penelitian menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan sampel beton untuk mengukur kuat tekan, kuat tarik dan suhu permukaan beton.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Phase Change Material (PCM) pada beton mempengaruhi kekuatan tekan dan tarik beton serta stabilitas suhu permukaannya. Variasi PCM 2,5% menghasilkan kuat tekan maksimum 29,32 MPa dan kuat tarik 2,25 MPa, sementara variasi 10% menurunkan kekuatan beton secara signifikan. Variasi 5% memberikan hasil terbaik dengan kuat tekan 25,55 MPa dan kuat tarik yang masih memadai, memenuhi standar beton mutu sedang (21-40 MPa). Seiring dengan penambahan PCM, suhu permukaan lebih stabil. Penambahan PCM optimal pada 5% menjaga stabilitas suhu tanpa menurunkan mutu beton secara signifikan, sehingga dapat berpotensi diterapkan pada bangunan untuk mendukung efisiensi energi dan menghadapi pemanasan global.

Kata Kunci : Beton, Parafin, Kuat Tekan, Kuat Tarik, PCM

ABSTRACT

Global warming is worsening, as indicated by rising air temperatures in many regions. Global warming is closely linked to energy efficiency in buildings. Solving the problem of global warming and energy efficiency can be done by adding additives to building materials. However, the addition of additives needs to be done properly so that the strength of the concrete is still in accordance with the required standards. This research explores the use of paraffin as a Phase Change Material (PCM) in concrete and its impact on concrete quality and surface temperature. The study focuses on varying paraffin levels to determine the optimal percentage that stabilizes temperature without significantly reducing concrete quality.

In this study, paraffin was added at rates of 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of the weight of cement and sand. Testing was conducted to determine the compressive strength, tensile strength, and surface temperature of the concrete at 28 days of age. The concrete mix design calculations used SNI 2834-2000 with a target compressive strength of 35 MPa. The research used an experimental method in the laboratory with concrete samples to measure the compressive strength, tensile strength and surface temperature of the concrete.

The results of this study show that the addition of Phase Change Material (PCM) to concrete affects the compressive and tensile strength of the concrete as well as the stability of its surface temperature. The 2.5% PCM variation produced a maximum compressive strength of 29.32 MPa and a tensile strength of 2.25 MPa, while the 10% variation significantly reduced the strength of the concrete. The 5% variation provided the best results, with a compressive strength of 25.55 MPa and adequate tensile strength, meeting medium-grade concrete standards (21-40 MPa). With the addition of PCM, the surface temperature became more stable. The optimal PCM addition at 5% maintained temperature stability without significantly reducing concrete quality, making it potentially applicable in buildings to support energy efficiency and combat global warming.

Keywords: Concrete, Paraffin, Compressive Strength, Tensile Strength, PCM

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena pemanasan global semakin hari semakin parah yang ditandai dengan peningkatan suhu udara pada banyak wilayah. Pemanasan global terkait erat dengan efisiensi energi pada bangunan. Pemanasan global membuat peralatan pendinginan atau pemanasan di dalam bangunan menjadi meningkat. Peralatan bangunan digunakan untuk mengkondisikan udara agar tercapai suhu udara yang nyaman bagi penghuni bangunan (Ziemele et al., 2023). Peningkatan suhu udara saat ini membuat terjadinya pemborosan energi yang melebihi sebelumnya pada bangunan. Penelitian di Teheran dan Tabriz memperlihatkan data perubahan iklim lama dan baru mempunyai dampak yang berbeda terhadap konsumsi energi oleh bangunan. Penggunaan data iklim yang lebih baru membuat penelitian menjadi lebih akurat karena perubahan iklim yang sedemikian cepat (Reveshti et al., 2023).

Bangunan merupakan elemen penting yang memiliki dampak signifikan pada lingkungan. Meskipun menjadi bagian dari kebutuhan dasar bersama dengan sandang dan pangan, bangunan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan melalui berbagai cara, seperti berkurangnya ruang terbuka hijau dan lahan pertanian, penggunaan desain dan bahan yang tidak ramah lingkungan, serta pemborosan energi yang meningkatkan suhu udara. Industri konstruksi memiliki dampak terhadap sosial, lingkungan, ekonomi pada masyarakat. Dampak yang menguntungkan dari kegiatan konstruksi mencakup penyediaan bangunan dan fasilitas untuk memenuhi kebutuhan manusia, serta berkontribusi pada perekonomian nasional. Sedangkan terdapat juga dampak yang tidak menguntungkan mencakup gangguan suara, debu, kemacetan lalu lintas, pencemaran air, dan pembuangan limbah selama proses konstruksi. Setelah proses konstruksi selesai, dampak dari bangunan juga tetap berlanjut pada lingkungan.

Namun, untuk mengatasi dampak negatif tersebut, konsep bangunan hijau atau *green building* dapat diterapkan. Bangunan hijau menempatkan keberlanjutan lingkungan sebagai prioritas utama, mempertimbangkan dampaknya mulai dari perencanaan, pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan, renovasi, hingga pembongkaran. Di Indonesia, *Green Building Council Indonesia* (GBCI) memiliki peran sebagai lembaga yang menyelenggarakan sertifikasi bangunan hijau. Sebagai anggota *World Green Building Council* (WGBC) berbasis di Toronto, Kanada, GBCI berkomitmen untuk mendorong pembangunan gedung ramah lingkungan. Hingga tahun 2022, 60 gedung di Indonesia telah mendapatkan sertifikat bangunan hijau dari GBCI (Kemenkeu, 2023).

Salah satu poin dari bangunan hijau adalah penggunaan material ramah lingkungan. Penelitian tentang material ramah lingkungan terus dikembangkan untuk mengurangi pemborosan energi pada bangunan. Penelitian tentang material biokomposit telah dilakukan dan menghasilkan material yang ramah lingkungan yang terbentuk dari bahan organik (Alaneme et al., 2023). Material komposit lainnya dikenal dengan *phase change material* (PCM) juga telah terbukti dapat menyimpan termal dan mengurangi pemborosan energi pada bangunan. PCM diyakini dapat mengurangi suhu udara di dalam bangunan (Sun et al., 2023). Penelitian tentang PCM masih perlu terus dilakukan agar ditemukan komposisi material yang tepat sehingga ditemukan PCM yang efektif dalam mengurangi pemborosan energi. PCM akan membuat terciptanya bangunan hijau yang efektif dan efisien (Zhan et al., 2023).

PCM (*Phase Change Material*) dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu organik, anorganik, dan eutektik. Bahan organik sendiri merupakan suatu subdivisi dari keluarga alkana dalam bidang kimia, yang juga dikenal sebagai parafin. Bahan anorganik, terdiri dari campuran garam hidrat atau logam. Kategori ketiga, yaitu eutektik, terbentuk melalui perpaduan bahan baik organik maupun anorganik, menggabungkan sifat-sifat organik atau anorganik secara optimal. Selama penelitian ini, fokus penelitian adalah pada dampak pengenalan PCM ke dalam campuran beton. Dengan PCM yang ditambahkan ke dalam beton struktural, campuran yang baru ditemukan ini dipelajari untuk propertinya, baik secara

struktural maupun termal. Hal ini menyiratkan bahwa tidak diperlukan perubahan pada desain bangunan, melainkan hanya pada jenis material yang digunakan. Beton, sebagai contoh, umumnya terbentuk dari tiga elemen utama yaitu semen, air, dan agregat (Haaren, 2012). Beton merupakan gabungan antara semen portland atau jenis semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, serta air. Campuran ini dapat membentuk massa padat dengan atau tanpa penambahan bahan tambahan (SNI 2847:2013).

Parafin digunakan sebagai media penyimpanan panas dan masih mengandung senyawa hidrokarbon organik, khususnya n-aktana, sebagai komponen utamanya (Rahardja et al., 2019). Isu pemanasan global yang belakangan ini sangat meningkat bisa diatasi dengan melakukan pembangunan dengan konsep konstruksi hijau atau *green building*, saat ini juga belum adanya penelitian mengenai pengaruh penggunaan parafin kadar 0%, 2,5%, 5%, 7,5 % dan 10% dalam beton terhadap kuat tekan dan suhu permukaan benda uji menjadi latar belakang penelitian ini. Parafin dipilih dalam penelitian ini karena parafin tersedia dengan biaya terendah dibandingkan dengan semua jenis lilin bergrade teknis lainnya tanpa mengorbankan sifat termo-fisika yang diinginkan.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Meshgin & Xi (2012), penambahan PCM tidak meningkatkan mutu beton bahkan justru menurunkan mutu beton. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa banyak penurunan mutu beton dengan variasi tambahan PCM parafin, sehingga dapat diidentifikasi dan diantisipasi apabila digunakan material PCM sebagai campuran. Studi ini juga membandingkan seberapa efektif kemampuan beton dalam menyerap/menyimpan panas apabila material PCM sebagai material yang dicampur atau sebagai material yang diaplikasikan sebagai material pelapis beton. Selain itu, studi ini juga untuk mengetahui kadar efektif (dalam persen) penambahan material PCM dalam campuran beton yang menghasilkan suhu yang stabil namun penurunan mutu yang tidak signifikan.

Penelitian sebelumnya oleh Razak et al., (2020) meneliti penggunaan parafin sebagai PCM dalam beton mutu sedang dengan kekuatan 35 MPa untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan energi termal, dengan variasi kadar parafin

sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dalam penelitian saat ini, digunakan beton mutu sedang dengan nilai f_c rencana 35 MPa serta variasi kadar parafin sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% agar ditemukan variasi baru dalam penggunaan beton dengan PCM.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang tersebut, rumusan masalah dari penelitian atau perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kuat tarik beton?
3. Bagaimana pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kemampuan permukaan beton dalam meredam panas (emisivitas)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian atau perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kuat tekan beton
2. Mengidentifikasi pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kuat tarik beton
3. Mengidentifikasi pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kemampuan beton dalam meredam panas (ditinjau dari nilai emisivitas).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian atau perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan bahan tambah parafin terhadap nilai kuat tekan beton
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan bahan tambah parafin terhadap nilai kuat tarik beton

3. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan bahan tambah parafin pada beton terhadap kemampuan beton dalam meredam panas yang ditinjau dari nilai emisivitas
4. Berkontribusi dalam dunia konstruksi dengan menyampaikan informasi mengenai penggunaan PCM (*Phase Change Material*) parafin sebagai bahan tambah yang dapat digunakan sebagai inovasi material konstruksi dalam mengatasi isu peningkatan suhu global akhir-akhir ini.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian atau perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton rencana (f'_c) adalah 35 MPa
2. Metode *mix design* menggunakan SNI 2834-2000
3. Metode pengujian kuat tekan beton mengacu SNI 1974-2011
4. Metode pengujian kuat tarik beton mengacu SNI 03-2491-2002
5. Metode pengukuran emisivitas mengacu ASTM-E1933-99
6. Variasi kadar bahan tambah PCM parafin yang digunakan adalah 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10% terhadap jumlah berat semen ditambah berat pasir
7. Semen yang digunakan adalah semen tipe *Portland Composite Cement*
8. Air yang digunakan merupakan air bersih yang tersedia pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.
9. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Kulon Progo.
10. Agregat kasar yang digunakan merupakan kerikil yang berasal dari Kulon Progo.
11. Bahan tambah *phase change material* yang digunakan adalah parafin.
12. Tidak meneliti mengenai kandungan kimia pada bahan tambah parafin.
13. Benda uji yang digunakan dalam pengujian terdiri dari benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton, kuat Tarik belah beton, dan pengukuran emisivitas beton.
14. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara perendaman dalam air hingga 1 hari sebelum pengujian beton dilakukan.

15. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari.
16. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam era teknologi saat ini, beton menjadi salah satu materi bangunan yang sangat populer di Indonesia. Kualitas beton yang baik sangat penting untuk mendukung keamanan struktural. Perkembangan infrastruktur bergantung pada keandalan bahan bangunan yang digunakan. Dalam industri konstruksi, beton merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam proyek teknik sipil. Ini disebabkan oleh berbagai keunggulan beton dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya. Beton memiliki ketahanan yang superior, kekuatan tekan yang tinggi, membutuhkan sedikit perawatan, bahan campuran mudah ditemukan, dan memiliki umur yang lebih panjang dibandingkan dengan alternatif lainnya (Latjemma et al., 2022). Beton adalah material komposit yang terdiri dari beberapa elemen utama, termasuk semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, serta bahan tambahan jika ada. Elemen-elemen dasar ini saling berinteraksi dalam membentuk kekuatan tekan beton (Haris, 2020). Beton juga merupakan bahan konstruksi yang vital yang kerap digunakan dalam proyek infrastruktur di Indonesia. Secara mendasar, beton adalah campuran dari agregat kasar dan halus yang dicampurkan dengan air serta semen sebagai bahan pengikat dan pengisi antara agregat tersebut (Rahardja et al., 2019).

2.2 Penelitian Terdahulu

Perbandingan beberapa penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan dijabarkan sebagai berikut.

1. *Effect of Phase-Change Materials on Properties of Concrete* (Meshgin & Xi, 2012)

Pada penelitian ini kadar parafin yang digunakan yaitu substitusi hingga 20% dari agregat halus. Benda uji berupa silinder dengan ukuran 2 x 4 inci. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh bahan berubah fasa terhadap sifat beton. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan silinder beton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setiap penambahan PCM ke dalam beton akan mengurangi kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton dibandingkan dengan beton konvensional. Ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan dalam kekuatan tekan dan lentur, tetapi tidak signifikan.

2. *Development of Hollow Steel Ball Macro-Encapsulated PCM for Thermal Energy Storage Concrete* (Dong et al., 2016)

Penelitian ini dilakukan dengan benda uji berukuran 1m³, bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bola baja berongga *macro-encapsulated* PCM untuk beton penyimpan energi termal terhadap suhu dan kuat tekan beton. Jenis parafin yang digunakan yaitu parafin octadecane dengan variasi kadar substitusi 25%, 50%, 75%, dan 100% agregat kasar normal berupa kerikil dengan bola baja berongga yang diisi dengan parafin octadecane. Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu uji kuat tekan. Hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan tekan beton menurun dengan peningkatan kandungan PCM dalam campuran beton.

3. *Properties Of Cementitious Mortar and Concrete Containing Micro-Encapsulated Phase Change Materials* (Jayalath et al., 2016)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mortar dan beton bersemen yang mengandung PCM terkapsulasi mikro. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mortar berbentuk kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm dan silinder beton berukuran 10 cm x 20 cm dan 15 cm x 30 cm. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan. Parafin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu

parafin wax dengan kadar substitusi pasir dengan 1%, 3%, dan 5%, 10%, 20%, 35% dan 55% parafin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya volume PCM yang disubstitusi, konduktivitas termal berkurang dan kapasitas panas meningkat namun menyebabkan penurunan kekuatan.

4. *Paraffin as a Phase Change Material in Concrete for Enhancing Thermal Energy Storage* (Razak et al., 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti parafin sebagai PCM dalam beton untuk meningkatkan penyimpanan energi termal. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan dengan benda uji berbentuk kubus. Kadar penambahan yang digunakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beton dengan 5% parafin memperoleh tingkat penyimpanan energi termal yang paling tinggi, uji kuat tekan menunjukkan bahwa semakin rendah persentase parafin dalam campuran beton, semakin tinggi kekuatan tekan yang dapat dicapai.

5. *Thermal And Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete Incorporated with Microencapsulated Phase Change Material* (Ren et al., 2021)

Penelitian ini dilakukan dengan benda uji berukuran 4 cm x 4 cm x 16 cm dan pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui sifat-sifat termal dan mekanikal beton mutu tinggi yang terintegrasi dengan PCM terkapsulasi mikro. Parafin yang digunakan yaitu parafin wax dengan kadar penambahan 5% dan 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan 10% PCM mengakibatkan penurunan 35% kekuatan tekan dengan curing uap selama 3 hari.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dilakukan penelitian yang berbeda dengan penelitian terdahulu, yaitu dengan menggunakan bahan tambah parafin dengan kadar 2,5%, 5%, 7,5%, 10% terhadap berat total semen ditambah pasir. Mutu beton rencana yang digunakan adalah 35 MPa dan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan

beton, kuat tarik belah beton, dan emissivitas beton. Pengujian dilakukan ketika umur beton 28 hari.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai penambahan material PCM pada beton yang bisa dilihat perbandingannya pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	(Meshgin & Xi, 2012)	(Dong et al., 2016)	(Jayalath et al., 2016)	(Razak et al., 2020)	(Ren et al., 2021)	Penulis (2024)
Judul Penelitian	<i>Effect of Phase-Change Materials on Properties of Concrete</i>	<i>Development of Hollow Steel Ball Macro-Encapsulated PCM for Thermal Energy Storage Concrete</i>	<i>Properties Of Cementitious Mortar and Concrete Containing Micro-Encapsulated Phase Change Materials</i>	<i>Paraffin as a Phase Change Material in Concrete for Enhancing Thermal Energy Storage</i>	<i>Thermal And Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete Incorporated with Microencapsulated Phase Change Material</i>	Studi Pengaruh Pengaplikasian Phase Change Material (Pcm) Parafin pada Beton Mutu Sedang Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Emisivitas Beton
Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh bahan berubah fasa terhadap sifat beton	Mengetahui pengaruh penggunaan bola baja berongga <i>macro-encapsulated</i> PCM untuk beton penyimpan energi termal terhadap suhu dan kuat tekan beton	Mengetahui sifat mortar dan beton bersemen yang mengandung PCM terkapsulasi mikro	Untuk meneliti parafin sebagai PCM dalam beton untuk meningkatkan penyimpanan energi termal	Mengetahui sifat-sifat termal dan mekanikal beton mutu tinggi yang terintegrasi dengan PCM terkapsulasi mikro.	Meneliti pengaruh pengaplikasian <i>phase change material</i> (PCM) pada beton mutu sedang

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	(Meshgin & Xi, 2012)	(Dong et al., 2016)	(Jayalath et al., 2016)	(Razak et al., 2020)	(Ren et al., 2021)	Penulis (2024)
Benda Uji	Silinder 2 x 4 inci	Berukuran 1m ³	Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm (Mortar) 10 cm x 20 cm dan 15 cm x 30 cm (Silinder Beton)	Kubus	Berukuran 4 cm x 4 cm x 16 cm	Silinder 15 cm x 30 cm (Silinder Beton)
Jenis Pengujian	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tekan, Suhu Permukaan Benda Uji
Jenis Bahan Tambah	Parafin	Parafin Octadecane	Parafin Wax	Parafin	Parafin Wax	Parafin
Variasi Kadar Bahan	Substitusi hingga 20% dari agregat halus	Substitusi 25%, 50%, 75%, dan 100% agregat kasar normal berupa kerikil dengan bola baja berongga yang diisi dengan parafin octadecane	<ul style="list-style-type: none"> - Substitusi pasir dengan 1%, 3%, dan 5% parafin untuk beton - Substitusi pasir dengan 5%, 10%, 20%, 35% dan 55% parafin untuk beton 	Penambahan 0%, 5%, 10% 15% and 20%	Penambahan 5% dan 10%	Penambahan 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	(Meshgin & Xi, 2012)	(Dong et al., 2016)	(Jayalath et al., 2016)	(Razak et al., 2020)	(Ren et al., 2021)	Penulis (2024)
Hasil Penelitian	Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap penambahan PCM ke dalam beton akan mengurangi kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton dibandingkan dengan beton konvensional. Ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan dalam kekuatan tekan dan lentur, tetapi tidak signifikan.	Kekuatan tekan beton menurun dengan peningkatan kandungan PCM dalam campuran beton.	Seiring dengan meningkatnya volume PCM yang disubstitusi, konduktivitas termal berkurang dan kapasitas panas meningkat namun menyebabkan penurunan kekuatan	Beton dengan 5% parafin memperoleh tingkat penyimpanan energi termal yang paling tinggi, uji kuat tekan menunjukkan bahwa semakin rendah persentase parafin dalam campuran beton, semakin tinggi kekuatan tekan yang dapat dicapai.	Penambahan 10% PCM mengakibatkan penurunan 35% kekuatan tekan dengan <i>curing</i> uap selama 3 hari	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan campuran dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus dengan atau tanpa *admixture* (bahan tambah) (SNI 2847-2019). Bahan tambah pada campuran beton bisa berupa cairan (*liquid*) maupun berbentuk bubuk yang ditambahkan pada saat proses *mixing*. Kualitas beton yang optimal tercermin dalam kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan dalam proses pengerjaan, efisiensi ekonomis, serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang baik (Rusnani et al., 2023). Beton adalah unsur struktural bangunan yang telah dikenal luas dan secara luas dimanfaatkan hingga saat ini. Beton juga merupakan salah satu bahan struktural yang digunakan dalam konstruksi berbagai struktur, seperti gedung, jembatan, jalan, dan sebagainya (Lestari et al., 2023)

3.2 Phase Change Material (PCM)

PCM adalah bahan atau material yang dapat berubah fase dari *melting* (meleleh) atau *freeze* (membeku) sehingga mengakibatkan penyerapan atau pelepasan panas pada suhu yang hampir konstan. Hasil dari sejumlah penelitian yang signifikan menunjukkan bahwa beban termal dapat dikurangi dengan menambahkan PCM ke dalam selubung bangunan, terutama dalam konteks situasi suhu yang cenderung panas saat musim panas berlangsung (Zain R.A et al., 2023)

3.3 Parafin

Bahan perubahan fase (PCM), yang merupakan penyimpanan panas laten, telah digunakan dalam untuk strategi pendinginan bangunan. Penemuan lain menyatakan bahwa PCM membantu menjaga suhu dalam ruangan agar tetap stabil dalam jangka waktu yang lebih lama. Oleh karena itu, penggunaan PCM bisa menjadi solusi yang

efektif untuk meningkatkan kinerja termal bangunan. Ketika suhu naik hingga mencapai titik lelehnya, PCM akan mulai menyerap panas dari lingkungan sekitar dan berubah dari fase padat menjadi fase cair. Namun, saat suhu turun, PCM akan melepaskan energi dan kembali ke fase padatnya. Parafin adalah salah satu jenis PCM organik yang merupakan padatan lembut berwarna putih atau tidak berwarna, yang dapat diperoleh dari sumber seperti minyak bumi, batu bara, atau batu bara minyak (Razak et al., 2020)

3.4 Material Beton untuk Konstruksi Gedung

Pembangunan gedung sebagian besar menggunakan beton bertulang sebagai struktur utamanya sehingga konstruksi gedung didominasi oleh beton bertulang. Beton mempunyai kelebihan dapat bertahan dari api dan air. Beton mempunyai variasi mutu yang bermacam-macam. Biaya yang digunakan untuk membuat beton berbeda-beda tergantung dari mutu betonnya. Keamanan terhadap beban juga menjadi dasar dalam menentukan mutu beton yang akan digunakan dalam pembangunan konstruksi (Pahreza et al., 2023). Pembangunan bangunan publik seperti sekolah ataupun pondok pesantren masih menggunakan beton bertulang baik konvensional maupun beton pra cetak. Konstruksi beton pracetak perlu direncanakan dengan matang agar didapatkan hasil yang maksimal termasuk pada sambungan beton pra cetak (Johan et al., 2023).

Beton pra cetak dianggap lebih mempunyai banyak keuntungan dibandingkan beton konvensional. Penggunaan beton pracetak mampu meminimalkan kesalahan pembuatan beton konvensional oleh manusia. Beton pra cetak juga dapat berfungsi menjadi dinding panel untuk isolasi dalam rangka efisiensi energi dengan cara mengurangi panas dan mengoptimalkan pendinginan. Inovasi beton pra cetak terus dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi beton pra cetak yang efektif dan efisien (Sucita et al., 2023). Secara estetika, beton juga bisa diekspos untuk menambah keindahan dari tampilan bangunan. Adanya anggapan bahwa beton ekspos lebih mudah rusak menjadikan beton ekspos kurang maksimal dalam pembangunan gedung. Beton ekspos dianggap akan mengurangi kekuatan struktur dengan adanya iklim tropis di Indonesia yang mempunyai panas dan hujan (Satria et al., 2024).

Beton pra cetak mempunyai kelebihan dalam waktu pengerjaan yang lebih cepat, menghemat biaya, mengurangi pembuangan saat pengerjaan begisting. Pengerjaan beton pra cetak mempunyai kelemahan saat pengiriman barang jadi yang kadangkala terjadi keterlambatan (Koesoema et al., 2023).

3.5 Phase Change Material (PCM) pada Bangunan Gedung

Penggunaan PCM digunakan untuk mengurangi suhu udara di dalam ruang yang terlalu tinggi (panas). PCM seringkali diterapkan pada dinding bangunan gedung sebagai panel isolasi untuk mendapatkan kenyamanan termal penghuni bangunan. Modifikasi pencampuran PCM terus dilakukan untuk mendapatkan efisiensi dinding dalam menurunkan suhu udara. Beberapa PCM di antaranya yaitu scoria dan perlit yang diperluas serta produk sampingan industri, abu minyak berat, yang dikombinasikan dengan polietilen glikol (Mohaisen et al., 2022). Komposit bahan perubahan fase mikroenkapsulasi (MPCM) berbasis kerangka logam-organik (MOF). MOF-MPCM baru adalah material dengan fungsi ganda yang secara bersamaan dapat menyerap/melepaskan panas dan kelembapan dari udara sekitar dan secara pasif mengatur lingkungan higrotermal dalam ruangan. MIL-160(Al), bahan MOF baru yang berasal dari biomassa dan ramah lingkungan dengan kinerja penyerapan yang sangat baik dan potensi produksi skala besar, disiapkan untuk penyangga kelembapan (Qin et al., 2022).

Prospek global beton yang mengandung PCM sebagai bagian dari upaya untuk mencapai SDGs PBB akan memotivasi para arsitek, perancang, insinyur, dan peneliti untuk mempercepat upaya mereka dalam mendorong pertimbangan beton yang mengandung PCM pada akhirnya untuk mencapai tujuan tersebut (Sharma et al., 2022). PCM mempunyai kriteria untuk penerapan dalam bangunan. Pengisian PCM dalam suatu panel tertentu perlu disesuaikan dengan fungsi bangunan agar penerapan PCM menjadi lebih efektif (Vitorino et al., 2016). Efek ME-PCM pada beton terjadi pada tingkat semen atau agregat halus, kontribusi agregat kasar tidak relevan dengan hasil umum yang ingin dicapai dalam penelitian. PCM ditambahkan ke dalam campuran dasar semen-pasir, menunjukkan kekuatan tertinggi dibandingkan dari proporsi campuran yang lain (Norvell et al., 2013).

3.6 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton atau mix design dalam penelitian ini menggunakan metode sesuai dengan SNI 2834-2000 yang berisi dengan rencana langkah pembuatan campuran beton normal. Langkah perhitungan proporsi campuran beton normal secara urut adalah sebagai berikut

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu
2. Menghitung deviasi standar

Deviasi standar yang didapatkan berdasar dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut persamaan sebagai berikut

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \quad (3.1)$$

dengan :

s = deviasi standar

x_i = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

\bar{x} = adalah kuat tekan beton rata-rata menurut rumus sebagai berikut

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

dengan :

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji) dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung deviasi standar harus memenuhi sebagai berikut.

- a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan $f'c$ yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.
- c. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- d. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil yang memenuhi persyaratan di atas tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang

dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.1 sebagai berikut

Tabel 3. 1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Berdasarkan 5
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2843-2000

- e. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'c + 12 \text{ MPa})$
3. Menghitung nilai tambah
 Nilai tambah dihitung menurut persamaan sebagai berikut

$$M = 1,64 \times Sr \quad (3.2)$$

dengan keterangan sebagai berikut

M = Nilai tambah

1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

Sr = Deviasi standar rencana

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut persamaan sebagai berikut

$$f_{cr} = f'c + M \quad (3.3)$$

$$f'_{cr} = f'c + 1,64 Sr \quad (3.4)$$

dengan keterangan sebagai berikut

f'_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah

Sr = Deviasi standar

5. Menetapkan jenis semen
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus
7. Menentukan faktor air semen

Faktor air semen ditentukan dengan tahap sebagai berikut

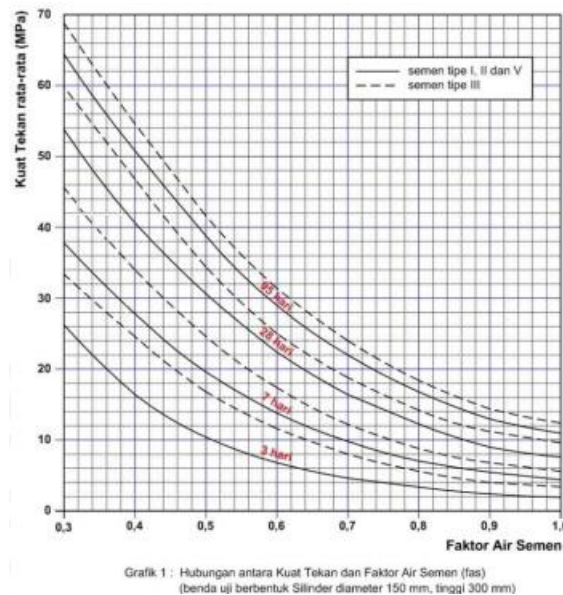
- a. Menentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari berdasarkan jenis semen dan agregat yang digunakan menggunakan Tabel 3.2 sebagai berikut

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II,V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834 (2000)

- b. Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh pada point 7a di atas dengan factor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

- c. Menentukan faktor air semen yang diperlukan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh dari poin 4 dengan kurva lengkung baru pada poin 7b
8. Menetapkan faktor air semen maksimum
Menentukan faktor air semen maksimum yang kemudian diambil nilai faktor air semen terkecil antara perhitungan poin 7 dengan poin 8
 9. Menetapkan slump
 10. Menetapkan ukuran agregat maksimum
Ukuran agregat maksimum ditentukan dari hasil pengujian properties agregat
 11. Menentukan nilai kadar air bebas
Kadar air bebas ditentukan menggunakan Tabel 3.3 dan persamaan sebagai berikut

Tabel 3. 3 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/M3) Yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat				
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2843-2000

$$w = \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut

w = Kadar air bebas (kg/m³)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m³)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m³)

12. Menghitung jumlah semen

Jumlah semen yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.6)$$

dengan keterangan sebagai berikut

c = Jumlah semen (kg/m³)

w = Kadar air bebas (kg/m³)

fas = Faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen semimum mungkin

Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan lokasi beton rencana sesuai pada Tabel 3.4 sebagai berikut

Tabel 3. 4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

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	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
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 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI-03-2834-2000

14. Menentukan jumlah semen yang digunakan

Jumlah semen yang digunakan ditentukan dengan mengambil jumlah semen terbanyak dari hasil perhitungan, jumlah semen maksimum (apabila ditetapkan) dan jumlah semen minimum.

15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan

Faktor air semen yang disesuaikan ditentukan apabila terjadi perubahan jumlah semen dari hasil perhitungan pada poin 12 menjadi jumlah semen maksimum atau jumlah semen minimum.

16. Menentukan susunan butir agregat halus

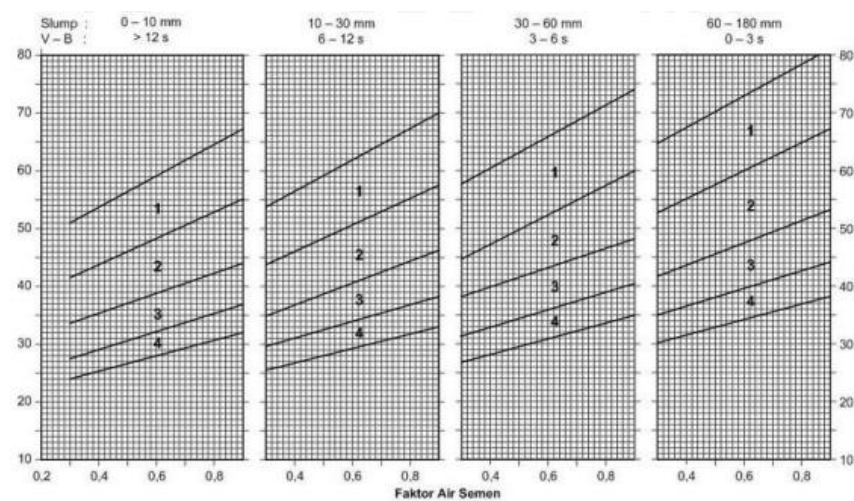
Susunan butir agregat halus ditentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus.

17. Menentukan susunan agregat kasar

Susunan butir agregat kasar ditentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar.

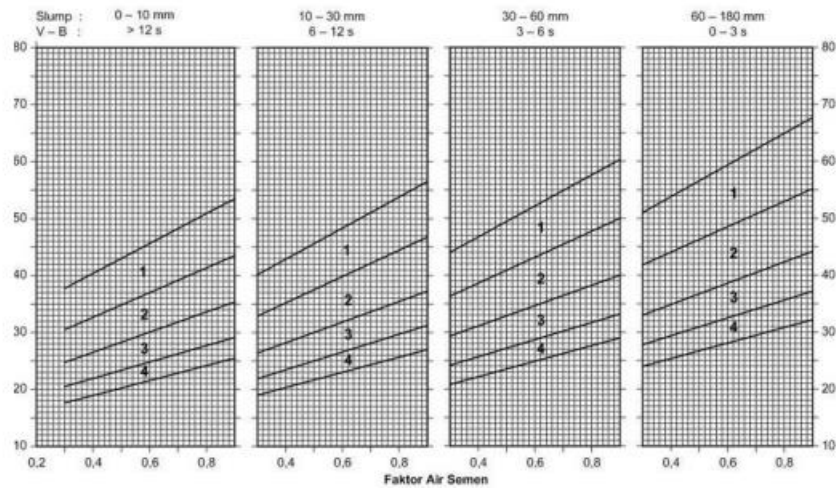
18. Menentukan persentase agregat halus

Persentase agregat halus ditentukan menggunakan Gambar 3.2 samapai dengan Gambar 3.4. Penggunaan grafik disesuaikan pada ukuran butir maksimum agregat kasar dan gradasi agregat halus



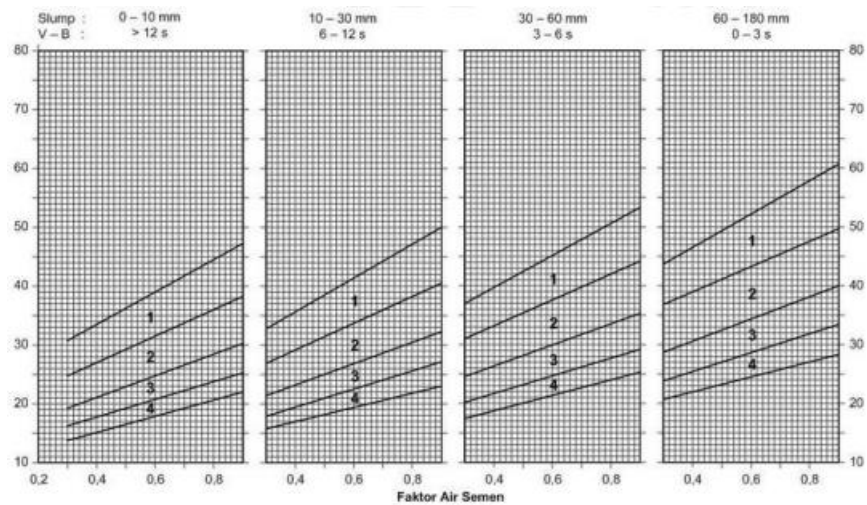
Gambar 3. 2 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber : SNI-03-2843-2000)



Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber : SNI-03-2843-2000)



Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber : SNI-03-2843-2000)

19. Menghitung berat jenis relative agregat

Berat jenis relatif agregat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$BJ_{gab} = \%Ag.Halus \times BJ_{Ag Halus} + \%Ag Kasar \times BJ_{Ag Kasar} \quad (3.7)$$

dengan keterangan sebagai berikut

BJ_{gab} = Berat jenis relative/gabungan agregat

%Ag.Halus = Presentase agregat halus (%)

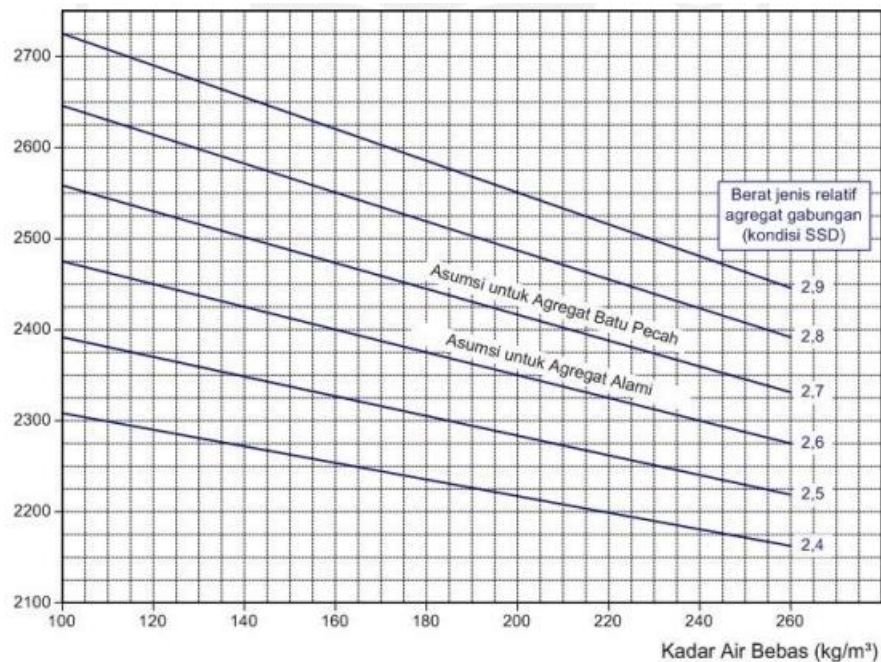
%Ag Kasar = Presentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag Halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag Kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan kadar air bebas dan berat jenis relative/gabungan agregat menggunakan Gambar 3.5 sebagai berikut



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 3. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$W_{Ag\ gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.8)$$

dengan keterangan sebagai berikut

$W_{Ag\ gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{beton} = Berat isi beton (kg/m^3)

W_{semen} = Kadar semen (kg/m^3)

w = Kadar air beton (kg/m^3)

22. Menghitung kadar agregat halus

Kadar agregat halus dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$W_{Ag\ halus} = \%Ag\ halus \times W_{Ag.gab} \quad (3.9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut

$W_{Ag\ halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$\%Ag\ halus$ = Presentase agregat halus (kg/m^3)

$W_{Ag.gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

23. Menghitung kadar agregat kasar

Kadar agregat kasar dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$W_{Ag\ kasar} = W_{Ag\ gab} - W_{Ag\ halus} \quad (3.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut

$W_{Ag\ kasar}$ = Kadar agregat kasar (kg/m^3)

$W_{Ag\ gab}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$W_{Ag\ halus}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

24. Menentukan proporsi campuran

Proporsi campuran ditentukan untuk tiap m^3 beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Proporsi campuran uji untuk tiap m^3 beton ditentukan dengan mengalikan dengan volume total benda uji

25. Menghitung koreksi proporsi campuran

Koreksi proporsi campuran diperlukan untuk kondisi agregat yang tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Koreksi dilakukan terhadap kandungan air dalam agregat

3.7 Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengukur kemampuan maksimum beton untuk menanggung beban, yang kemudian digunakan untuk menilai kualitas setiap sampel beton. Proses pemberian beban pada sampel bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan beton dalam menahan tekanan. (Nasution, 2022). Berdasarkan SNI 1947-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan 3.11 dan sketsa pengujian pada gambar 3.6 berikut berikut

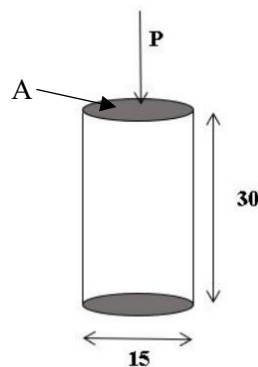
$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

Keterangan :

f_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)



Gambar 3.6 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

(Sumber : Researchgate.net)

3.8 Uji Kuat Tarik Belah

Uji kuat tarik belah dilakukan menggunakan benda uji beton berbentuk silinder. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai kekuatan tarik belah beton, di mana benda uji diletakkan secara horizontal atau sejajar dengan permukaan meja tekan pada mesin uji tekan. Berdasarkan SNI 03-2491-2014, nilai kuat tarik belah dapat

dihitung menggunakan persamaan 3.12 dan sketsa pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.12)$$

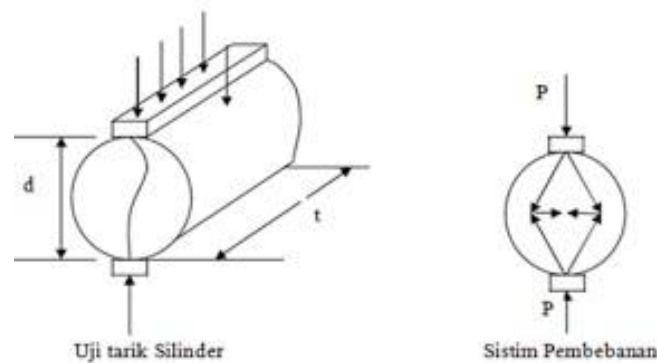
Keterangan :

f_{ct} = Kuat Tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Tinggi silinder beton (mm)

D = Diameter silinder beton (mm)



Gambar 3.7 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

(Sumber : Sinausipil.com)

3.9 Bangunan Hijau dengan Material Dinding Beton PCM

Bangunan hijau merujuk pada struktur dan desain bangunan yang berkelanjutan secara lingkungan dan dibangun dengan efisiensi, termasuk dalam tahap perencanaan, konstruksi, pemeliharaan, renovasi, dan bahkan pembongkaran. Prinsip-prinsipnya mencakup aspek ekonomis, fungsional, keberlanjutan, dan kenyamanan. Tujuannya adalah untuk mengurangi dampak negatif bangunan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dengan memanfaatkan sumber daya seperti energi dan air secara efisien, serta mengurangi sampah, polusi, dan degradasi lingkungan. (Arafah Diniari et al., 2021). Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, serta kriteria *Greenship* dari *Green Building Council*

Indonesia, sebuah bangunan dapat dianggap sebagai bangunan ramah lingkungan jika memenuhi syarat salah satunya adalah menggunakan bahan bangunan yang ramah lingkungan. (Ayuningtyas et al., 2022). Menurut penelitian sebelumnya, efektivitas PCM dalam dinding bangunan dipengaruhi oleh sejumlah faktor termasuk suhu udara sekitar, karakteristik fisik dan termal PCM yang digunakan, serta jenis bahan konstruksi. Penambahan lapisan PCM dalam dinding beton mampu mengurangi suhu permukaan dalam ruang hingga 5,4°C. (Marani & Madhkhan, 2021)

3.10 Thermal Imaging

Salah satu cara dalam penyelidikan masalah termal adalah dengan menggunakan *thermal imaging*. *Thermal imaging* memungkinkan untuk mendeteksi dan mengukur energi termal pada suatu objek melalui kamera inframerah (IR). Inframerah adalah jenis cahaya yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia karena panjang gelombangnya terlalu besar. Objek yang lebih panas akan memancarkan radiasi inframerah yang lebih tinggi.

Dalam sektor bangunan, teknik ini digunakan untuk menyelidiki masalah termal pada bangunan. *Thermal imaging camera* atau kamera IR digunakan untuk memetakan hilangnya energi dari bangunan. Kamera inframerah akan merekam dan mengukur radiasi energi inframerah. Data termal yang diperoleh kemudian diubah menjadi peta suhu berwarna yang membantu dalam memeriksa kinerja bangunan (Syamsudin, 2011).



Gambar 3.8 *Thermal Imaging* pada Sebuah Bangunan

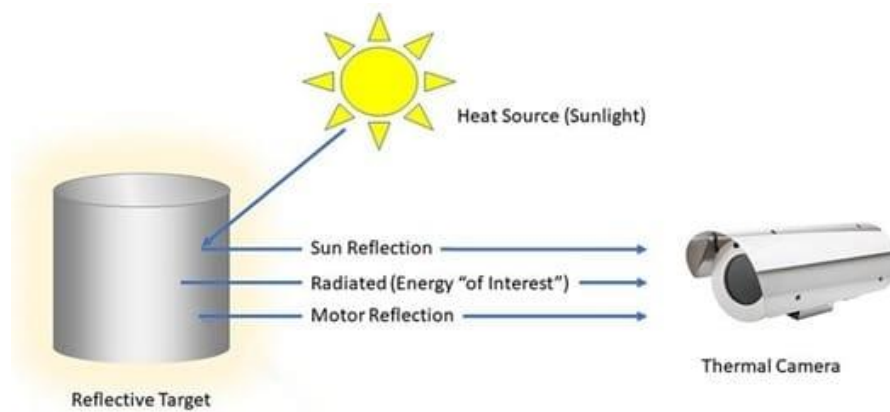
(Sumber : Inspectitfirst.com)

3.11 Emisivitas Beton

Emisivitas permukaan dapat diartikan sebagai kapasitas suatu objek untuk memancarkan energi yang dimilikinya. Energi yang dimaksud adalah energi termal yang ada pada objek, baik dalam keadaan panas maupun dingin (Fawzi, 2014). Emisivitas merupakan ukuran dari kemampuan suatu benda untuk melepas energi yang diserapnya. Namun emisivitas sangat dipengaruhi karakter benda itu sendiri (Syamsudin, 2011). Suhu ruang pada bangunan ber dinding beton di wilayah Banjarmasin berkisar antara 28-29 derajat celcius. Namun perubahan suhu lebih tinggi bisa terjadi saat suhu udara ruang luar terjadi pemanasan melebihi daerah Banjarmasin (Abdurrahman et al., 2020). Suhu udara luar rata-rata di Banjarmasin berkisar 23-32 derajat celcius (BMKG, 2024).

Pengukuran langsung radiasi yang dipantulkan oleh material dapat digunakan untuk mengevaluasi emisivitas (Barreira et al., 2021). Kamera inframerah menangkap radiasi yang dipancarkan oleh material yang sedang dianalisis dan merender energi ini menjadi gambar termal (*thermal image*). Gambar termal akan menunjukkan hubungan antara radiasi yang dipancarkan oleh material tersebut dan kemampuannya dalam menahan panas yang dikenal sebagai emisivitas. Nilai

emisivitas yang benar dapat memberikan informasi terkait interpretasi gambar termal yang diperoleh dari survei termografi (Avdelidis & Moropoulou, 2003).



Gambar 3.9 Skema Emisivitas pada Benda

(Sumber : Movitherm.com)

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menerapkan metode penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan PCM (*Phase Change Material*) parafin dalam campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bahan tambah PCM parafin terhadap kuat tekan beton serta suhu permukaan benda uji.

4.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas, meliputi kadar bahan tambah PCM pada campuran beton
2. Variabel terikat, meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan emisivitas beton
3. Variabel tetap, meliputi bentuk benda uji, dimensi benda uji, kuat tekan beton rencana (f'_c), dan *curing* beton.

4.3 Bahan Yang Digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland* (PC)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland* tipe I

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat halus yang berasal dari daerah Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta

dengan dilakukan analisa saringan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal berasal dari daerah Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan dalam penelitian ini tidak mengandung benda-benda lain yang dapat dilihat secara visual

5. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah *Phase Change Material* Parafin

4.4 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Set Saringan Agregat

Set saringan agregat adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengelompokkan agregat berdasarkan ukuran butirnya. Alat ini digunakan dalam pengujian analisa saringan agregat, baik agregat halus maupun agregat kasar.

2. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat bahan yang akan digunakan sesuai dengan hasil perhitungan desain campuran (*mix design*) yang telah direncanakan

3. Neraca *Ohaus*

Neraca *Ohaus* digunakan sebagai perangkat untuk mengukur berat bahan yang akan digunakan dengan akurasi yang lebih baik daripada timbangan biasa

4. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk menguji berat jenis dan kemampuan penyerapan air dari agregat halus

5. Oven

Oven adalah alat yang dipakai untuk mengeringkan agregat halus maupun kasar.

Oven digunakan untuk menguji berat jenis dan daya serap air dari agregat.

6. *Concrete Mixer*

Concrete Mixer adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton dengan proporsi yang sesuai dengan perhitungan yang telah direncanakan untuk campuran beton.

7. Sekop

Sekop adalah alat yang dipakai untuk menuangkan beton secara langsung ke dalam cetakan beton.

8. Kerucut Abrams

Kerucut abrams merupakan alat yang dipakai untuk mengukur *slump* beton segar.

9. Bekisting Beton

Bekisting beton adalah alat yang digunakan untuk membentuk beton sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan. Bekisting beton yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

10. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan alat perangkat yang dipakai untuk menentukan nilai beban yang mampu ditanggung oleh suatu benda uji hingga benda uji tersebut hancur. Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan tekan beton.

11. *Infrared Thermometer*

Infrared Thermometer digunakan untuk mengukur suhu permukaan benda uji.

12. Kamera pencitraan termal (*thermal imaging camera*)

Kamera pencitraan termal berfungsi untuk mendeteksi radiasi inframerah dan menghasilkan gambar berdasarkan perbedaan suhu pada permukaan objek.

4.5 Benda Uji

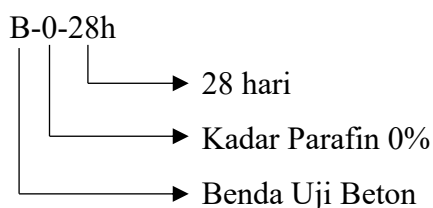
Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan dan tanpa bahan tambah PCM Parafin dengan variasi kadar 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%. Beton diisi dengan PCM parafin dengan suhu leleh 27,5°C (Astika, 2019). Pengujian

dilakukan ketika umur benda uji 28 hari. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari beton berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun rincian benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Kadar Parafin	Umur Benda Uji (Hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan	0%	28	B-0-28h	6
	2,5%	28	B-2,5-28h	3
	5%	28	B-5-28h	3
	7,5%	28	B-7,5-28h	3
	10%	28	B-10-28h	3
Kuat Tarik	0%	28	B-0-28h	6
	2,5%	28	B-2,5-28h	3
	5%	28	B-5-28h	3
	7,5%	28	B-7,5-28h	3
	10%	28	B-10-28h	3
Total Benda Uji				36

Dengan keterangan sebagai berikut.



4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah, termasuk tahap persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan serta pengujian benda uji *trial*, pembuatan dan pemeliharaan benda uji, pengujian benda uji, pengolahan data, analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan tahapan dimana dilaksanakan studi literatur, penyiapan bahan dan penyiapan alat yang akan digunakan selama penelitian.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat melibatkan pengujian terhadap agregat halus dan kasar, dengan tujuan memahami sifat dan ciri-ciri agregat yang akan diterapkan dalam pembuatan beton. Data mengenai sifat dan karakteristik agregat ini penting sebagai panduan dalam merancang campuran beton. Adapun jenis-jenis pengujian agregat adalah sebagai berikut

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990
3. Pengujian analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
7. Pengujian butiran lolos ayakan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996.

Hasil pengujian agregat kemudian dilakukan pengecekan terhadap persyaratan *properties* agregat. Kemudian dapat ditentukan apakah agregat memenuhi atau tidak.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dilaksanakan berdasarkan hasil dari pengujian agregat. Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 2834-2000. Adapun detail perhitungannya dapat dilihat pada bab V pembahasan

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Beton Trial Dengan Umur 3 Hari

Berdasarkan perencanaan campuran beton, kemudian dilakukan pembuatan dan pengujian benda uji *trial*. Pembuatan dan pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kesesuaian perencanaan campuran beton dan hasilnya. Penelitian dilanjutkan setelah hasil pengujian benda uji *trial* memenuhi mutu rencana sesuai perencanaan campuran beton

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder Beton

Pembuatan dan perawatan benda uji dilaksanakan berdasarkan hasil perencanaan campuran beton. Bahan penyusun beton yang telah disesuaikan dengan komposisi hasil perencanaan kemudian dicampur menggunakan alat *concrete mixer*. Selanjutnya, beton segar diuji *slump* dan dicetak dengan menggunakan bekisting beton. Setelah beton mengeras, beton dilepaskan dari bekisting dan dilakukan perawatan beton. Metode perawatan beton yang digunakan pada penelitian ini berupa perendaman benda uji di dalam air sampai mencapai umur rencana.

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilaksanakan setelah beton mencapai umur rencana, dilakukan pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011. Adapun tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

- a. Mengangkat benda uji dari bak rendam kemudian dibiarkan selama ± 24 jam.
- b. Mengukur dimensi benda uji.
- c. Menimbang berat benda uji.
- d. Meletakkan benda uji pada landasan tekan bawah dan memastikan penunjuk beban sudah menunjukkan angka nol.
- e. Menjalankan mesin pengujian tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik.
- f. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima benda uji

4.6.7 Pengukuran Emisivitas Benda Uji

Pengukuran dilakukan terhadap permukaan benda uji menggunakan *infrared thermometer*. Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Mengukur suhu permukaan setiap modul benda uji masing masing titik sebanyak 3 kali
- b. Pengukuran dilakukan setiap 5 menit sekali dalam 3 jam
- c. Hasil pengukuran direkap dengan menggunakan Microsoft Excel

Gambar tahapan pengukuran emisivitas benda uji dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Tahapan Pengukuran Emisivitas

4.6.8 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan dimana dilakukan perbandingan berdasarkan kelompok variable tertentu dengan maksud untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi yang akan digunakan untuk pembahasan

4.6.9 Pembahasan

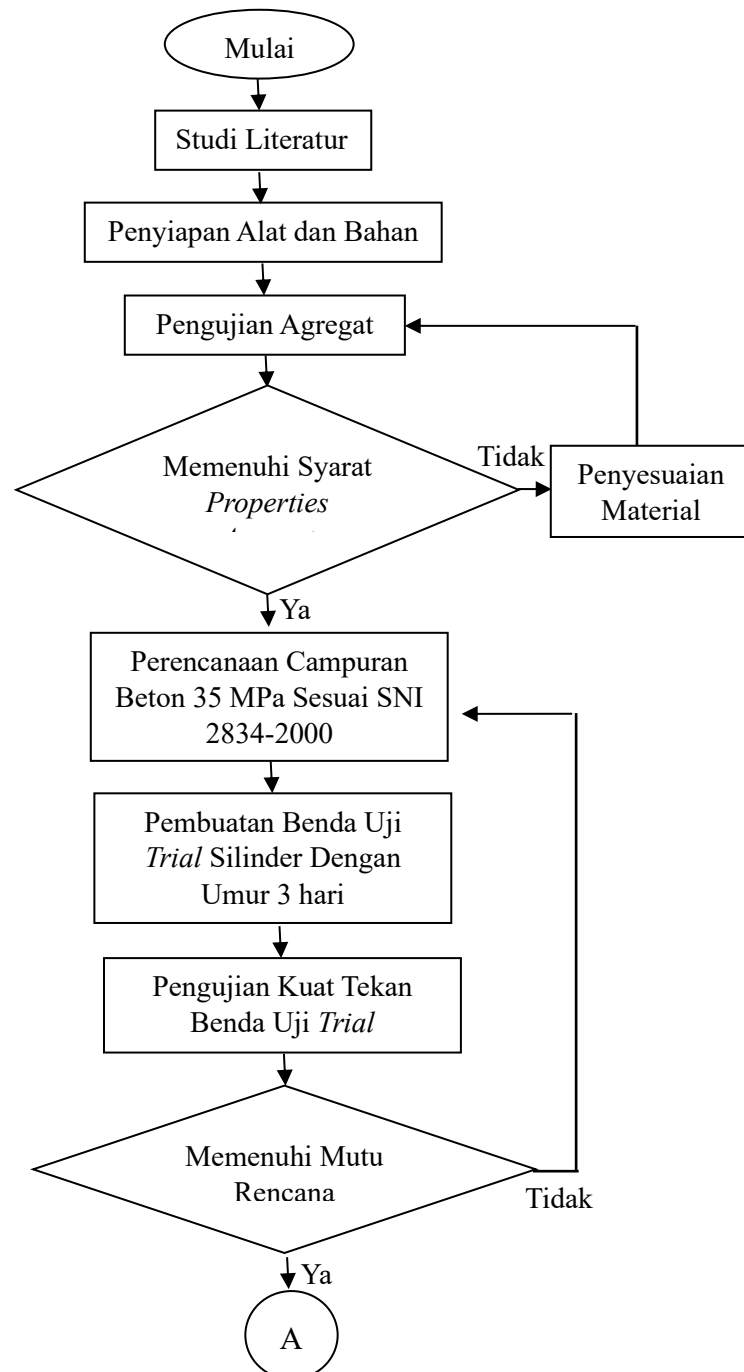
Pembahasan merupakan tahapan dimana dilakukan pembahasan hasil analisis data untuk memperoleh jawaban serta penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai yang ditemui pada tahap analisis data

4.6.10 Kesimpulan dan Saran

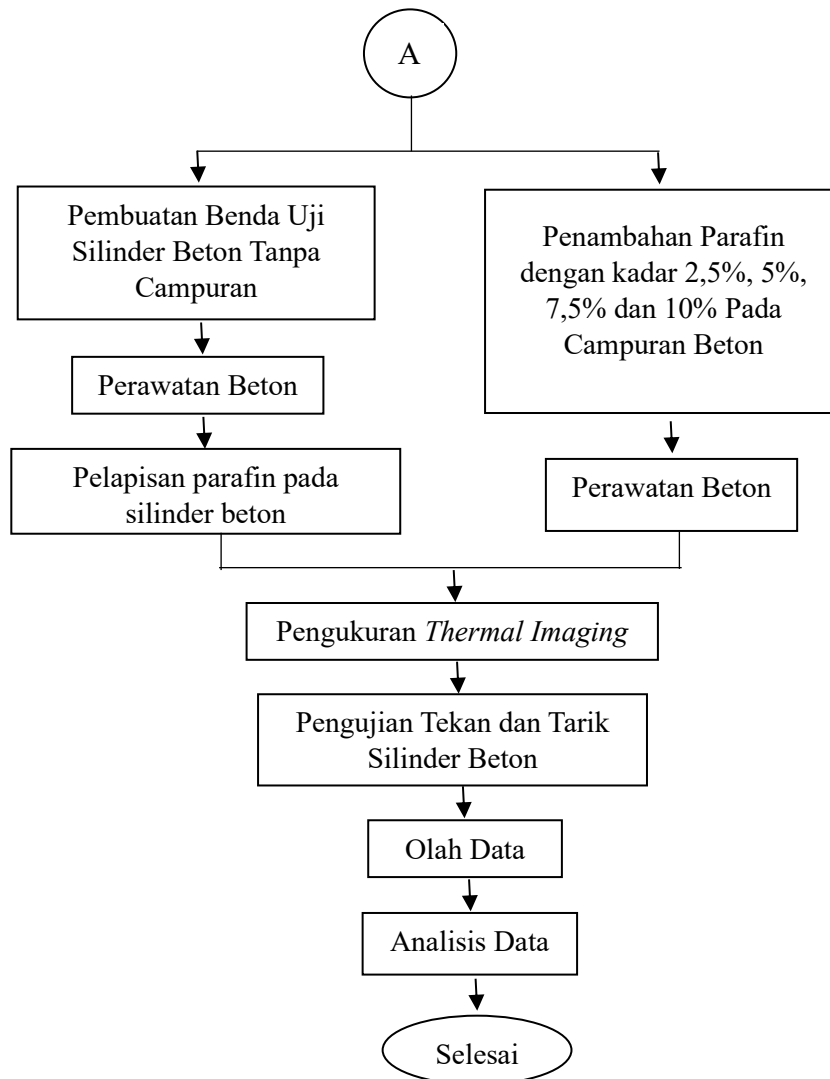
Kesimpulan dan saran adalah tahapan dimana dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pembahasan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selanjutnya, dari kesimpulan yang ada dibuat saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya

4.6.11 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk menilai dan memahami sifat serta karakteristik agregat yang akan digunakan sebagai komponen dalam beton. Agregat harus memenuhi beberapa persyaratan sebelum dapat digunakan dalam proses perencanaan campuran beton (*mix design*). Pengujian agregat terbagi menjadi dua jenis, yaitu pengujian untuk agregat halus (pasir) dan pengujian untuk agregat kasar (kerikil).

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu Pasir Progo. Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan agregat, pengujian berat volume gembur dan padat, serta pengujian kadar lumpur. Adapun hasil pengujian tersebut sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada pasir. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan pada SNI 1970-1990. Adapun perhitungan sampel 1 dapat dilihat di bawah ini.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{488}{(732+500-1034)} \\ &= 2,46\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(732+500-1034)}\end{aligned}$$

$$= 2,53$$

c. Berat Jenis Semu

Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{488}{(732+488-1034)} \\ &= 2,62 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

Penyerapan Air

$$\begin{aligned} &= \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 488)}{488} \times 100\% \\ &= 2,46\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dan dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan air untuk sampel 2, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	488	485	486,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1034	1008	1021
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732	695	713,5
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,46	2,59	2,53
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,53	2,67	2,60
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,62	2,82	2,72
Penyerapan air, (500-Bk)/(Bkx100%)	2,46%	3,09%	2,78%

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) rata-rata sebesar 2,60.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk mengetahui klasifikasi agregat halus (pasir) berdasarkan butirannya (MHB). Pengujian ini mengacu pada SNI-1968-1990, dengan berat sampel uji sebesar 2000 gram yang melewati saringan No. 4 (4,75 mm). Perhitungan untuk analisis saringan agregat halus sampel 1 dijelaskan sebagai berikut.

a. Presentase Berat Tertinggal

$$\text{Presentase Berat Tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 4,80 mm} &= \frac{0}{1998} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 2,40 mm} &= \frac{127}{1998} \times 100\% \\ &= 6,36\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 1,20 mm} &= \frac{241}{1998} \times 100\% \\ &= 12,06\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 0,60 mm} &= \frac{592}{1998} \times 100\% \\ &= 29,63\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 0,30 mm} &= \frac{687}{1998} \times 100\% \\ &= 34,38\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 0,15 mm} &= \frac{263}{1998} \times 100\% \\ &= 13,16\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan (sisa)} &= \frac{88}{1998} \times 100\% \\ &= 4,40\% \end{aligned}$$

b. Presentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan 4,80 mm} = 0\%$$

$$\text{Saringan 2,40 mm} = 0\% + 6,36\%$$

$$= 6,36\%$$

Saringan 1,20 mm	= 6,36% + 12,06%
	= 18,42%
Saringan 0,60 mm	= 18,42% + 29,63%
	= 48,05%
Saringan 0,30 mm	= 48,05% + 34,38%
	= 82,43%
Saringan 0,15 mm	= 82,43% + 13,16%
Pan (sisa)	= 95,60% + 4,40%
	= 100%

c. Presentase Lolos Kumulatif

Saringan 4,80 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Saringan 2,40 mm	= 100% - 6,36%
	= 93,64%
Saringan 1,20 mm	= 100% - 18,42%
	= 81,58%
Saringan 0,60 mm	= 100% - 48,05%
	= 51,95%
Saringan 0,30 mm	= 100% - 82,43%
	= 17,57%
Saringan 0,15 mm	= 100% - 95,60%
	= 4,40%
Pan (sisa)	= 100% - 100%
	= 0%

Berdasarkan perhitungan di atas serta langkah yang sama didapatkan nilai analisa saringan agregat halus sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100
2,40	127	6,36	6,36	93,64
1,20	241	12,06	18,42	81,58
0,60	592	29,63	48,05	51,95
0,30	687	34,38	82,43	17,57
0,15	263	13,16	95,60	4,40
Pan	88	4,40	100	0
Jumlah	1998	100	250,85	

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,80	1	0	0	100
2,40	126	6,30	6,35	93,65
1,20	249	12,46	18,81	81,19
0,60	626	31,32	50,13	49,87
0,30	653	32,67	82,79	17,21
0,15	265	13,26	96,05	3,95
Pan	79	3,95	100	0
Jumlah	1999	100	254,18	

Dari pengujian analisa saringan agregat halus di atas dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) yang didapat sebagai berikut

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$MHB = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB Sampel 1} = \frac{250,85}{100}$$

$$= 2,51$$

$$\text{MHB Sampel 2} = \frac{254,18}{100}$$

$$= 2,54$$

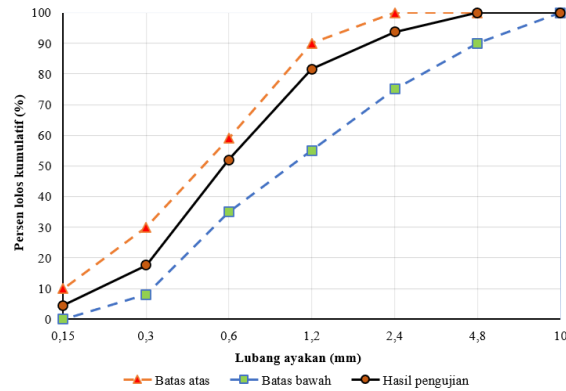
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai MHB sampel 1 dan sampel 2 adalah 2,51 dan 2,54. Mengacu pada SK SNI S-04-1989-F syarat nilai MHB pada agregat halus yaitu 1,5-3,8. Sehingga berdasarkan persyaratan di atas hasil dari pengujian agregat halus MHB yang diperoleh sudah memenuhi ketentuan. Pengujian analisa saringan juga digunakan dalam menentukan gradasi agregat halus (pasir). Gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus

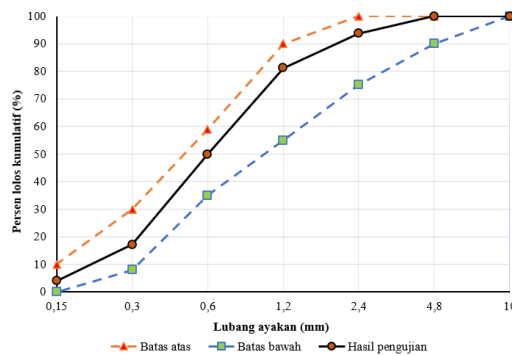
Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.4, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam kategori gradasi pasir daerah II yang artinya pasir sedang. Dari Tabel 5.4 kemudian dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan dengan agregat halus (pasir) yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dengan metode yang mengacu pada SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19162 - 10346 \\
 &= 8816 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30,06 \\
 &= 5297,88 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat Volume Gembur} = \frac{W3}{V}$$

$$= \frac{8816}{5297,88}$$

$$= 1,664 \text{ gram/cm}^3$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19725 - 10346 \\ &= 9379 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30,06 \\ &= 5297,88 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9379}{5297,88} \\ &= 1,77 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka berat volume gembur dan padat sampel 2 dan rata-ratanya didapatkan. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan 5.6 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	14,98	14,95	14,96
Tinggi silinder (t), cm	30,06	30,20	30,13
Berat tabung (W1), gram	10346	10292	10319
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	19162	18913	19037,5
Berat Agregat (W3), gram	8816	8621	8718,5
Volume tabung (V), gram	5297,88	5301,26	5299,57
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,66	1,63	1,64

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	14,98	14,95	14,96
Tinggi silinder (t), cm	30,06	30,20	30,13
Berat tabung (W1), gram	10346	10292	10319
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	19725	19644	19684,5
Berat Agregat (W3), gram	9379	9352	9365,5
Volume tabung (V), gram	5297,88	5301,26	5299,57
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,77	1,76	1,77

Berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan nilai berat volume gembur rata-rata agregat halus sebesar 1,64 dan volume padat agregat halus sebesar 1,77. Berat volume gembur lebih rendah dibandingkan dengan berat volume padat karena dalam pengujian berat volume padat agregat halus dilakukan pemadatan dengan cara menumbuk sebanyak 25 kali untuk setiap 1/3 bagian silinder. Proses ini bertujuan untuk mengurangi rongga udara di antara agregat, sehingga agregat lebih padat.

4. Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kadar Lumpur Pasir)

Pengujian lolos saringan No. 200 dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur yang ada dalam pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos dari saringan No. 4 (4,75 mm) dalam kondisi kering oven sebanyak 500 gram, sesuai dengan metode yang diatur dalam SNI 4142 – 1996. Adapun perhitungan persentase kadar lumpur dalam pasir untuk sampel 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat kering oven (w1)} &= 500 \text{ gram} \\
 \text{Berat kering oven setelah dicuci (W2)} &= 494 \text{ gram} \\
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \\
 &= \frac{500-494}{500} \times 100\% \\
 &= 1,20\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan dan langkah yang sama didapat nilai presentase kadar lumpur sampel 2 yaitu sebesar 1,60% dan nilai rata-rata yang didapat sebesar

1,40%. Adapun rekapitulasi uji kadar lumpur dalam pasir dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (Pasir)

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	494	492	493
Presentase lolos saringan No. 200 $[(W1 - W2)/W1] \times 100$	1,20%	1,60%	1,40%

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan diuji melalui beberapa pengujian yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisa saringan, serta pengujian berat volume gembur dan berat volume padat.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada kerikil. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-1990. Adapun perhitungan sampel 1 dapat dilihat di bawah ini.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{4906}{(5000 - 3104)} \\
 &= 2,59
 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)} &= \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{5000}{(5000 - 3104)} \\
 &= 2,64
 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \\ &= \frac{4906}{(4906-3104)} \\ &= 2,72 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{5000-4906}{4906} \times 100\% \\ &= 1,92\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dan dengan cara perhitungan yang sama didapat nilai berat jenis dan penyerapan air sampel 2, kemudian didapatkan nilai rata-ratanya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4906	4912	4909
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3104	3123	3113,5
Berat Jenis curah (Bk/Bj-Ba)	2,59	2,62	2,60
Berat jenis jenuh kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,64	2,66	2,65
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,72	2,74	2,73
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100%))	1,92%	1,79%	1,85%

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) rata-rata sebesar 2,65.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui klasifikasi agregat kasar (kerikil) berdasarkan modulus halus butirnya (MHB). Pengujian ini menggunakan SNI 1968-1990 dengan berat benda uji sebanyak 5000 gram. Perhitungan pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 1 sebagai berikut.

a. Presentase Berat Tertinggal

$$\text{Presentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\sum \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\text{Saringan 40 mm} = \frac{0}{4998} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\text{Saringan 20 mm} = \frac{141}{4998} \times 100\%$$

$$= 2,82\%$$

$$\text{Saringan 10 mm} = \frac{2673}{4998} \times 100\%$$

$$= 53,48\%$$

$$\text{Saringan 4,80 mm} = \frac{2049}{4998} \times 100\%$$

$$= 40,996\%$$

$$\text{Saringan 2,40 mm} = \frac{107}{4998} \times 100\%$$

$$= 2,14\%$$

$$\text{Saringan 1,20 mm} = \frac{5}{4998} \times 100\%$$

$$= 0,10\%$$

$$\text{Pan (sisa)} = \frac{23}{4998} \times 100\%$$

$$= 0,46\%$$

b. Presentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan 40 mm} = 0\%$$

$$\text{Saringan 20 mm} = 0\% + 2,82\%$$

$$= 2,82\%$$

$$\text{Saringan 10 mm} = 2,82\% + 53,48\%$$

$$= 56,30\%$$

$$\text{Saringan 4,80 mm} = 56,30\% + 40,996\%$$

$$= 97,30\%$$

$$\text{Saringan 2,40 mm} = 97,30\% + 2,14\%$$

$$= 99,44\%$$

$$\text{Saringan 1,20 mm} = 99,44\% + 0,10\%$$

$$= 99,54\%$$

$$\begin{aligned} \text{Pan (sisa)} &= 99,54\% + 0,46\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Presentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Saringan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 20 mm} &= 100\% - 2,82\% \\ &= 97,18\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 10 mm} &= 100\% - 56,30\% \\ &= 43,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 4,80 mm} &= 100\% - 97,30\% \\ &= 2,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 2,40 mm} &= 100\% - 99,44\% \\ &= 0,56\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 1,20 mm} &= 100\% - 99,54\% \\ &= 0,46\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan (sisa)} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dengan langkah yang sama didapat nilai analisa saringan agregat kasar sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan 5.10 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	141	2,82	2,82	97,18
10	2673	53,48	56,30	43,70
4,80	2049	41	97,30	2,70
2,40	107	2,14	99,44	0,56
1,20	5	0,10	99,54	0,46
0,60	0	0	99,54	0,46
0,30	0	0	99,54	0,46
0,15	0	0	99,54	0,46

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
Pan	23	0,46	100	0
Jumlah	4998	100	654,02	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	132	2,64	2,64	97,36
10	2668	53,37	56,01	43,99
4,80	2073	41,47	97,84	2,52
2,40	97	1,94	99,42	0,58
1,20	4	0,08	99,50	0,50
0,60	0	0	99,50	0,50
0,30	0	0	99,50	0,50
0,15	0	0	99,50	0,50
Pan	25	0,5	100	0
Jumlah	4999	100	653,55	

Dari pengujian analisa saringan agregat kasar di atas dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) yang didapat sebagai berikut

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{654,02}{100} \\ &= 6,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{653,55}{100} \\ &= 6,53 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai MHB sampel 1 dan sampel 2 masing masing adalah 6,54 dan 6,53. Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai MHB untuk agregat kasar harus berada di kisaran 5 sampai 8. Sehingga hasil

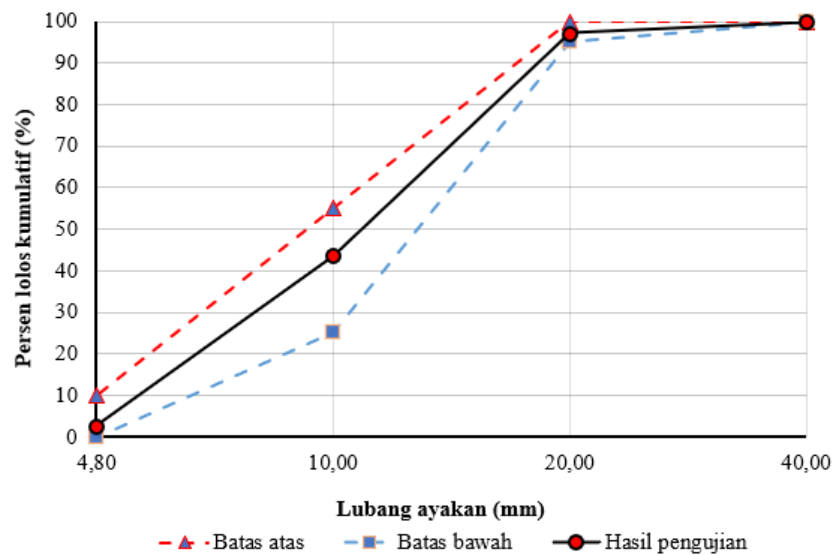
pengujian agregat kasar MHB yang telah dilakukan sudah memenuhi persyaratan. Selain itu, pengujian analisis saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar

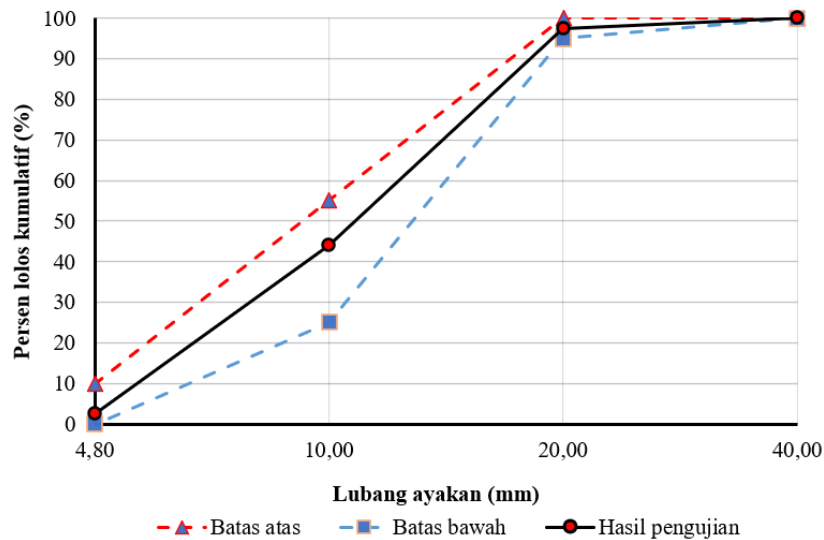
Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Agregat Lolos Saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : SNI 2934-2000

Berdasarkan Dari Tabel 5.11, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini masuk ke dalam kategori besar butiran maksimum 20 mm. Dari Tabel 5.12 kemudian dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4 berikut.



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur Dan Padat Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan dengan agregat kasar (kerikil) yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) dengan menggunakan metode sesuai SNI 4804 – 1998. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1 sebagai berikut

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 17763 - 10446 \\
 &= 7317 \text{ gram} \\
 \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,13^2 \times 30,11 \\
 &= 5413,504 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7317}{5413} \\
 &= 1,35 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 18617 - 10446 \\
 &= 8171 \text{ gram} \\
 \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,13^2 \times 30,11 \\
 &= 5413,504 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8171}{5413} \\
 &= 1,509 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka berat volume gembur dan padat sampel 2 dan rata-ratanya didapatkan. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan 5.13 berikut.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	15,13	14,96	15,045
Tinggi silinder (t), cm	30,11	30,25	30,18
Berat tabung (W1), gram	10446	10263	10354,5
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	17763	17531	17647
Berat Agregat (W3), gram	7317	7268	7292,5
Volume tabung (V), gram	5413,50	5317,14	5365,32
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,35	1,37	1,36

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	15,13	14,96	15,045
Tinggi silinder (t), cm	30,11	30,25	30,18
Berat tabung (W1), gram	10446	10263	10354,5
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18617	18254	18435,5
Berat Agregat (W3), gram	8171	7991	8081
Volume tabung (V), gram	5413,50	5317,14	5365,32
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,51	1,50	1,51

Berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas didapatkan nilai berat volume gembur rata-rata agregat halus sebesar 1,36 dan volume padat agregat halus sebesar 1,51. Berat volume gembur lebih rendah dibandingkan dengan berat volume padat karena dalam pengujian berat volume padat agregat halus dilakukan pemadatan dengan cara menumbuk sebanyak 25 kali untuk setiap 1/3 bagian silinder. Proses ini bertujuan untuk mengurangi rongga udara di antara agregat, sehingga agregat lebih padat.

5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

5.2.1 Perencanaan Campuran Beton Normal

Perencanaan campuran beton dalam penelitian ini berdasarkan SNI 2834 – 2000, yang digunakan sebagai metode untuk menentukan proporsi campuran sesuai dengan kuat tekan beton yang diinginkan. Pada penelitian ini, kuat tekan beton yang direncanakan adalah sebesar 35 MPa. Adapun perencanaan campuran beton (*mix design*) sebagai berikut.

1. Kuat tekan ($f'c$) sebesar 35 MPa dan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan pengujian dilakukan pada umur 28 hari
2. Semen yang digunakan adalah semen tipe *Portland Composite Cement* dengan merk Gresik
3. Sampel pengujian sebanyak 3 buah, maka nilai margin (M) yang digunakan 12 MPa sesuai dengan SNI 03-2834-2000 yang dapat dilihat pada tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2834-2000

Catatan :

Jika jumlah pengujian di lapangan kurang dari 15, maka nilai rata-rata kuat tekan yang direncanakan (f'_{cr}) harus tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa)

4. Kuat tekan beton rata-rata yang di targetkan sebesar 47 MPa yang diperoleh dari berikut ini

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + M \\ &= 35 + 12 \\ &= 47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

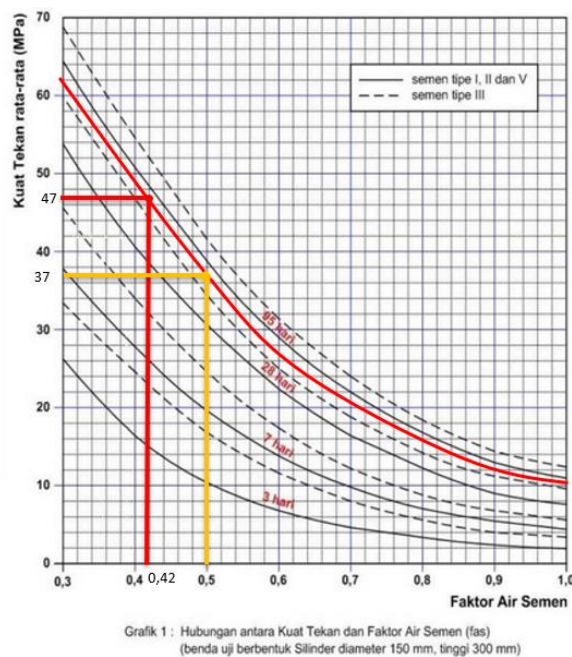
5. Berdasarkan pengujian berat jenis agregat kondisi SSD diperoleh berat jenis agregat halus ($B_{J_{AH}}$) sebesar 2,60 dan berat jenis agregat kasar ($B_{J_{AK}}$) sebesar 2,65.
6. Nilai faktor air semen (fas) yang digunakan sesuai dengan Tabel 5.15 dan Gambar 5.5 berikut
- Faktor air semen (fas) menggunakan 0,42 dengan jenis semen Portland tipe 1 dan agregat batu pecah
 - Kuat tekan beton direncanakan umur 28 hari dengan bentuk benda uji silinder (15 cm x 30 cm)

Tabel 5.15 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) Dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang Digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan Beton (MPa)				Bentuk benda uji
		Umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	17	23	33	40	Silinder
		19	27	37	45	
Semen tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	20	28	40	48	Kubus
		25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000

- c. Berdasarkan Tabel 5.16 diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 umur 28 hari yaitu 37 MPa
- d. Menggunakan Gambar 5.5 di bawah ini, dengan menarik garis vertical ke atas pada nilai fas 0,5 dan menarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan beton sebesar 37 MPa hingga berpotongan dengan nilai fas 0,5
- e. Setelah didapat titik berpotongan kemudian dibuat kurva parabola baru
- f. Tarik garis secara horizontal ke kanan dari f'_{cr} yaitu sebesar 47 MPa hingga menyentuh kurva parabola yang baru dan kemudian tarik garis vertical ke bawah secara tegak lurus sehingga nilai fas yang didapat yaitu sebesar 0,42.



Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji Silinder 15 x 30 cm)

(sumber : SNI-03-2834-2000)

7. Menentukan Kadar Air yang digunakan
Penentuan kadar air yang digunakan dalam campuran beton ini melihat dari Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan Untuk Kemudahan Dalam Adukan Beton

Ukuran agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tidak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tidak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tidak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-3934-2000

Kadar air yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut

$$w = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$$

$$w = \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225$$

$$w = 205 \text{ kg/m}^3$$

8. Menetapkan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum
Jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.17 berikut

Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
c. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
d. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52

Lanjutan Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di luar ruangan bangunan:		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
c. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
c. Air tawar		Lihat Tabel 6
d. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 03-3934-2000

Berdasarkan Tabel 5.17 digunakan jenis pembetonan dengan beton berada di dalam ruangan dan keadaan keliling non korosif, sehingga didapatkan jumlah semen minimum sebesar 275 kg dan nilai fas maksimum sebesar 0,60

9. Menentukan kadar semen
 - a. Diperoleh nilai fas 0,42 dari grafik dan fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60. Diambil nilai fas terkecil, yaitu dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,42.
 - b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air}}{\text{fas}}$$

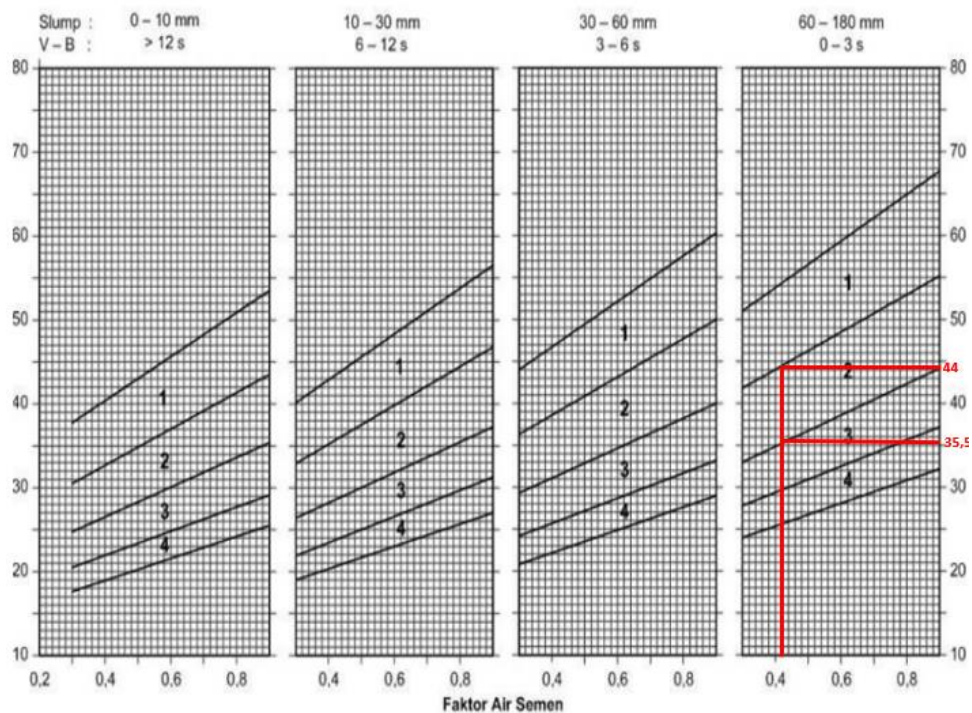
$$= \frac{205}{0,42}$$

$$= 488,10 \text{ kg/m}^3$$

- c. Diperoleh kadar semen hasil hitungan sebesar $488,10 \text{ kg/m}^3$ dan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/m^3 sehingga kadar semen yang digunakan sebesar $488,10 \text{ kg/m}^3$.

10. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar

Persentase agregat halus ditentukan menggunakan grafik yang disesuaikan pada ukuran butir maksimum agregat kasar dan gradasi agregat halus. Ukuran butir maksimum agregat berdasarkan pengujian yang digunakan yaitu 20 mm, slump rencana pada 60-180 mm, nilai fas sebesar 0,42 dan agregat halus yang digunakan masuk dalam gradasi II. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut



Gambar 5.6 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber : SNI-03-2843-2000)

Berdasarkan Gambar 5.6 di atas didapatkan presentase agregat halus batas atas sebesar 44% dan batas bawah sebesar 35,5%. Nilai rata-rata presentase agregat halus didapatkan sebesar 39,75%. Sehingga presentase agregat kasar dapat dihitung dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Presentase agregat kasar} &= 100\% - \text{presentase agregat halus} \\ &= 100\% - 39,75\% \\ &= 60,25\% \end{aligned}$$

11. Menentukan berat jenis relative agregat gabungan (Kondisi SSD)

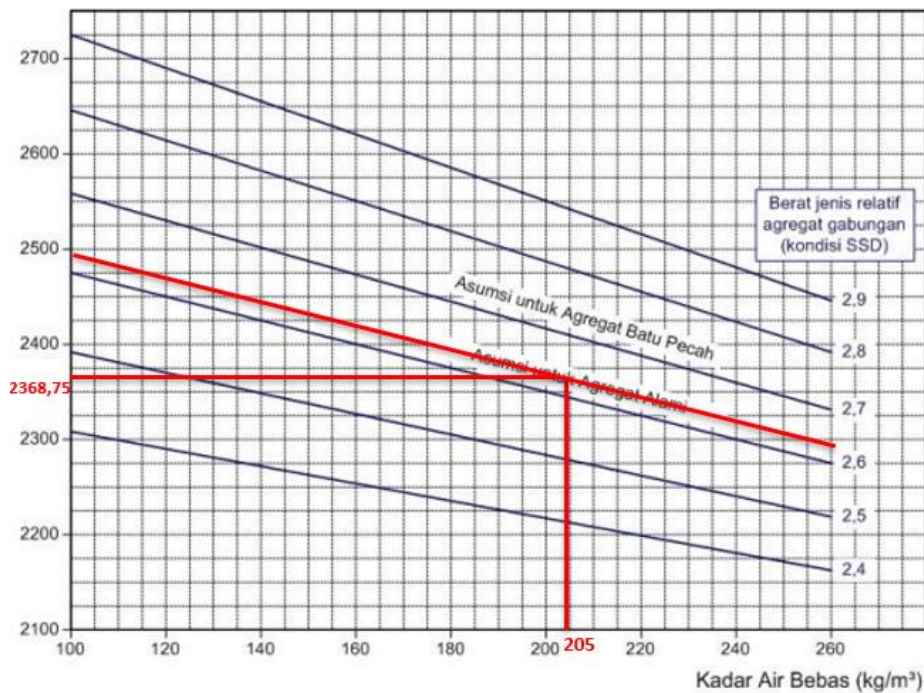
Berat jenis relatif agregat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} BJ_{\text{gab}} &= (\%Ag.Halus \times BJ_{\text{Ag Halus}}) + (\%Ag Kasar \times BJ_{\text{Ag Kasar}}) \\ &= (39,75\% \times 2,60) + (60,25\% \times 2,65) \\ &= 2,63 \end{aligned}$$

12. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan grafik 16 pada SNI 03-2834-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 5.7 di bawah ini

- a. Membuat garis (kurva) baru sesuai dengan berat jenis relative agregat gabungan yaitu sebesar 2,63.
- b. Menarik garis secara vertical ke atas berdasarkan nilai kadar air bebas yang didapatkan yaitu sebesar 205 kg/m³ hingga memotong kurva baru tersebut
- c. Tarik garis baru secara horizontal ke kiri dan titik potong pada butir b, sehingga didapatkan asumsi nilai berat isi beton sebesar 2368,75 kg/m³



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 5.7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

13. Kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan didapatkan dari berat isi beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air bebas. Adapun perhitungan kadar agregat gabungan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2368,75 - 488,10 - 205 \\ &= 1675,65 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

14. Kadar agregat halus

Kadar agregat halus diperoleh dari persen agregat halus dikalikan dengan kadar agregat gabungan. Adapun perhitungan kadar agregat halus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \% \text{Ag halus} \times \text{Kadar agregat gabungan} \\ &= 39,75\% \times 1675,65 \\ &= 666,07 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Kadar agregat kasar

Kadar agregat kasar diperoleh dari selisih kadar agregat gabungan dan kadar agregat halus. Adapun perhitungan kadar agregat kasar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{Kadar agregat halus} \\ &= 1675,65 - 666,07 \\ &= 1009,58 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

16. Proporsi campuran beton per 1m^3

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan campuran beton di atas, sehingga diperoleh proporsi campuran beton per 1m^3 adalah sebagai berikut

- a. Semen = 488,10 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 666,07 kg
- d. Agregat kasar = 1009,58 kg

17. Proporsi campuran beton dengan angka penyusutan

Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan yaitu sebesar 35% sehingga proporsi campuran beton per 1m^3 adalah sebagai berikut

- a. Semen = 658,93 kg
- b. Air = 276,75 kg
- c. Agregat halus = 899,20 kg
- d. Agregat kasar = 1362,94 kg

18. Proporsi campuran setiap variasi

Pada penelitian ini digunakan benda uji silinder sebanyak 5 variasi dengan masing-masing jumlah variasi 6 buah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

$$\begin{aligned}\text{Volume } \textit{mixing} \text{ 6 silinder} &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0318 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sehingga proporsi campuran untuk membuat benda uji setiap kali *mixing* sebagai berikut.

- a. Semen = $0,0318 \times 658,93 = 20,960 \text{ kg}$
- b. Air = $0,0318 \times 276,75 = 8,803 \text{ kg}$

c. Agregat Halus = $0,0318 \times 899,20 = 28,602 \text{ kg}$

d. Agregat Kasar = $0,0318 \times 1362,94 = 43,353 \text{ kg}$

Adapun rekapitulasi proporsi campuran dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Parafin

Kadar Parafin	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Parafin (kg)
0%	20,960	8,803	28,602	43,353	0
2,5%	20,960	8,803	28,602	43,353	1,239
5%	20,960	8,803	28,602	43,353	2,478
7,5%	20,960	8,803	28,602	43,353	3,717
10%	20,960	8,803	28,602	43,353	4,956

19. Rekapitulasi perencanaan campuran beton normal

Berdasarkan perhitungan campuran beton normal yang telah dibuat, berikut hasil rekapitulasi *mix design* (campuran) beton normal yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut

Tabel 5.19 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton Normal

Uraian	Nilai	Satuan
kuat tekan beton yang disarankan	35	Mpa
standar deviasi	-	
nilai tambah/margin (M)	12	Mpa
kuat tekan beton rerata yang dinyatakan	47	
jenis semen	Tipe 1	
jenis agregat kasar	batu pecah	
jenis agregat halus	pasir	
faktor air semen bebas	0,42	
faktor air semen maksimum	0,6	
FAS digunakan	0,42	
slump	60-180	mm
ukuran agregat maksimum	20	mm
kadar air bebas	205	Kg/m ³
kadar semen	488,10	
kadar semen maksimum	-	
kadar semen minimum	275	Kg/m ³
kadar semen digunakan	488,10	Kg/m ³
fas disesuaikan	0,42	

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton Normal

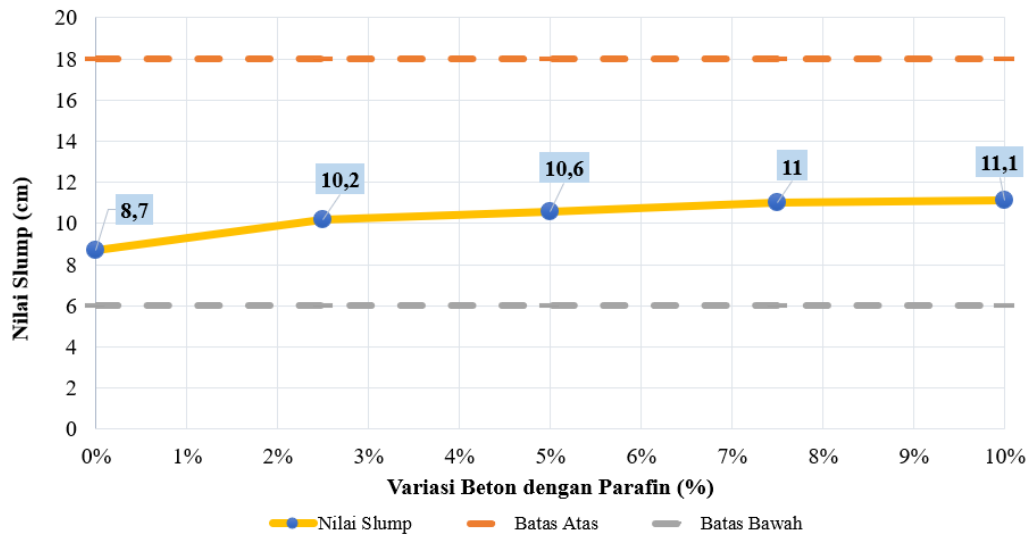
Uraian	Nilai	Satuan
susunan besar butir agregat halus	gradasi ii	
berat jenis agregat kasar (SSD)	2,65	
berat jenis agregat halus (SSD)	2,60	
persen agregat halus	39,75	%
persen agregat kasar	60,25	%
berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,63	
berat isi beton	2368,75	Kg/m ³
kadar agregat gabungan	1675,65	Kg/m ³
kadar agregat halus	666,07	Kg/m ³
kadar agregat kasar	1009,58	Kg/m ³
kadar semen dengan angka penyusutan	658,93	Kg/m ³
kadar agregat halus dengan angka penyusutan	899,20	Kg/m ³
kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1362,94	Kg/m ³
kadar air dengan angka penyusutan	276,75	Kg/m ³

5.3 Hasil Pengujian Slump Beton

Pengujian nilai slump dilakukan setelah campuran beton diaduk dengan mesin pengaduk hingga tercampur dengan baik. Nilai slump ini digunakan untuk menentukan tingkat kelecakan (*workability*) dari campuran beton. Tinggi atau rendahnya nilai slump akan mempengaruhi kemudahan dalam mengolah campuran beton, termasuk proses pengadukan, pencampuran, dan pemadatan. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.20 di bawah ini

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Nilai Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran	Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180 mm)
	Parafin (%)		
B-0-28h	0%	8,7	Memenuhi
B-2,5-28h	2,5%	10,2	Memenuhi
B-5-28h	5%	10,6	Memenuhi
B-7,5-28h	7,5%	11	Memenuhi
B-10-28h	10%	11,1	Memenuhi



Gambar 5.8 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi



Gambar 5.9 Contoh Uji Slump

Berdasarkan gambar 5.8 di atas nilai slump secara keseluruhan memenuhi syarat perencanaan yaitu 60-180 m. Pada beton dengan presentase parafin 0% didapatkan nilai slump 8,7 cm. Sedangkan pada penambahan parafin 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% didapatkan nilai slump naik secara berturut sebesar 10,2 cm, 10,6 cm, 11 cm, dan 11,1 cm. Hal ini dapat dilihat bahwa penambahan parafin dapat menyebabkan naiknya nilai slump. Penambahan PCM mempengaruhi kemampuan kerja beton segar. Karena pengaruh dari ukuran partikel PCM yang ada, beton segar

menjadi lebih cair ketika ditambahkan PCM (Haaren, 2012). PCM (Phase Change Material) memiliki kemampuan menyerap dan melepaskan panas, yang berpengaruh pada suhu serta viskositas campuran beton. Saat suhu campuran beton menurun, viskositasnya juga berkurang, sehingga meningkatkan kelancaran aliran beton dan mempermudah proses pencampuran serta pengecoran (Jiang et al., 2022).

5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*). Terdapat 18 sampel silinder untuk uji tekan dan 18 silinder untuk uji tarik, serta semua benda uji diukur suhu permukaannya untuk mendapat nilai emissivitas beton, dengan 5 variasi penambahan parafin masing-masing sebanyak 6 sampel. Sebelum pengujian, permukaan atas beton diratakan terlebih dahulu dengan proses *capping* menggunakan sulfur. Proses *capping* bertujuan untuk memastikan distribusi beban dari mesin tekan merata di permukaan beton. Pengujian dilanjutkan hingga benda uji mengalami kerusakan (retak), yang menunjukkan bahwa beton tidak lagi mampu menahan beban dari mesin uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton varian parafin 2,5% umur 28 hari sampel 1

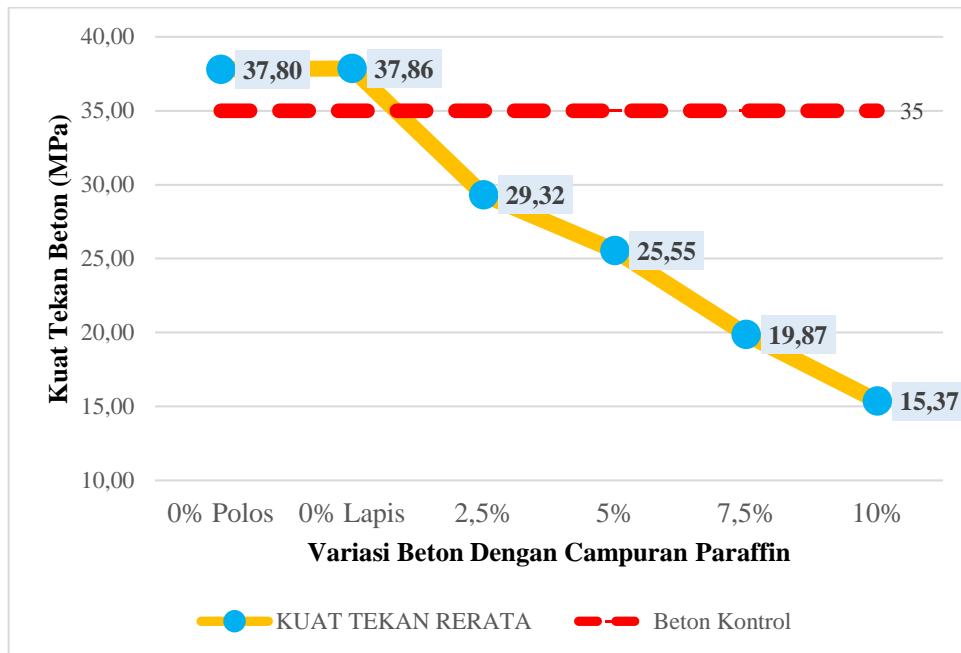
$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{486770}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,143^2} \\
 &= 27,03 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton

Kode Benda Uji		Umur (Hari)	Berat (gr)	Ukuran Benda Uji		Luas Penampang mm ²	Beban Maximum		Kuat Tekan Pada Umur Kuat Tekan Mpa	Kuat Tekan Rerata (Mpa)
				D (mm)	H (mm)		kN	N		
B-0-28h Polos	1	28	12541	150,060	300,030	17685,6	657,08	657080	37,15	37,80
	2	28	12733	150,430	301,860	17772,9	670,81	670810	37,74	
	3	28	12714	150,200	301,600	17718,6	682,17	682170	38,50	
B-0-28h Lapis	1	28	12903	150,560	300,030	17803,7	742,35	742350	41,70	37,86
	2	28	12736	150,060	301,400	17685,6	642,85	642850	36,35	
	3	28	12613	150,100	300,100	17695,0	628,93	628930	35,54	
B-2,5-28h	1	28	12872	151,430	302,460	18010,0	486,77	486770	27,03	29,32
	2	28	12531	150,200	301,560	17718,6	573,68	573680	32,38	
	3	28	12810	151,070	302,600	17924,5	512,03	512030	28,57	
B-5-28h	1	28	12414	150,500	300,560	17789,5	467,61	467610	26,29	25,55
	2	28	12354	150,700	301,400	17836,8	482,84	482840	27,07	
	3	28	12202	150,130	300,600	17702,1	412,21	412210	23,29	
B-7,5-28h	1	28	11840	150,130	301,230	17702,1	338,04	338040	19,10	19,87
	2	28	11926	151,600	300,550	18050,5	368,74	368740	20,43	
	3	28	12036	151,800	301,630	18098,1	363,51	363510	20,09	
B-10-28h	1	28	11760	151,460	301,830	18017,1	264,97	264970	14,71	15,37
	2	28	11610	149,950	301,430	17659,7	231,85	231850	13,13	
	3	28	11611	150,300	301,800	17742,2	324,17	324170	18,27	

Berdasarkan Tabel.21 di atas didapat grafik hasil pengujian kuat tekan pada beton normal dan beton dengan bahan tambah parafin. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut



Gambar 5.10 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Paraffin



Gambar 5.11 Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini didapat nilai rata-rata beton normal sebagai beton kontrol, pembuatan beton normal dibagi menjadi dua jenis yaitu beton normal polos dan beton normal yang diberi lapisan paraffin. Nilai rata-rata beton normal polos sebesar 37,80 MPa dan nilai rata-rata beton normal lapis sebesar 37,86, keduanya sudah mencapai f'_c rencana sebesar 35 MPa. Dalam penelitian ini juga didapatkan rata-rata kuat tekan beton dengan bahan tambah paraffin 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat pasir ditambah dengan agregat halus. Nilai rata-rata kuat tekan tertinggi

pada variasi 2,5% sebesar 29,32 MPa sedangkan nilai kuat tekan beton rata-rata terkecil pada variasi 10% sebesar 15,37 MPa, hal ini dikarenakan penambahan parafin pada campuran beton dapat mempengaruhi nilai kuat tekan pada beton. Penambahan PCM (Phase Change Material) pada material berbasis semen menyebabkan penurunan kekuatan (Jayalath et al., 2016). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton menurun seiring dengan peningkatan jumlah parafin dalam campuran. Penurunan ini disebabkan oleh ketidakhomogenan campuran, karena parafin dapat berada dalam fase padat maupun cair yang tidak bereaksi dengan komponen beton. Pada persentase parafin yang lebih tinggi, jumlah rongga dalam beton juga meningkat. Untuk uji kuat tekan, semakin rendah persentase parafin dalam beton, semakin tinggi kekuatan tekan yang diperoleh (Razak et al., 2020).

5.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dalam penelitian ini dilakukan ketika benda uji mencapai umur 28 hari. Sebelum pengujian, diameter dan tinggi benda uji diukur untuk menentukan luas penampangnya. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji tekan, di mana benda uji diletakkan secara horizontal hingga mencapai nilai kekuatan maksimum. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 03-2491-2002 mengenai pengujian kuat tarik belah beton. Berikut merupakan contoh perhitungan dari pengujian kuat tarik belah beton dengan variasi 2,5% sampel 1.

1. Kuat tarik belah beton varian parafin 2,5% umur 28 hari sampel 1

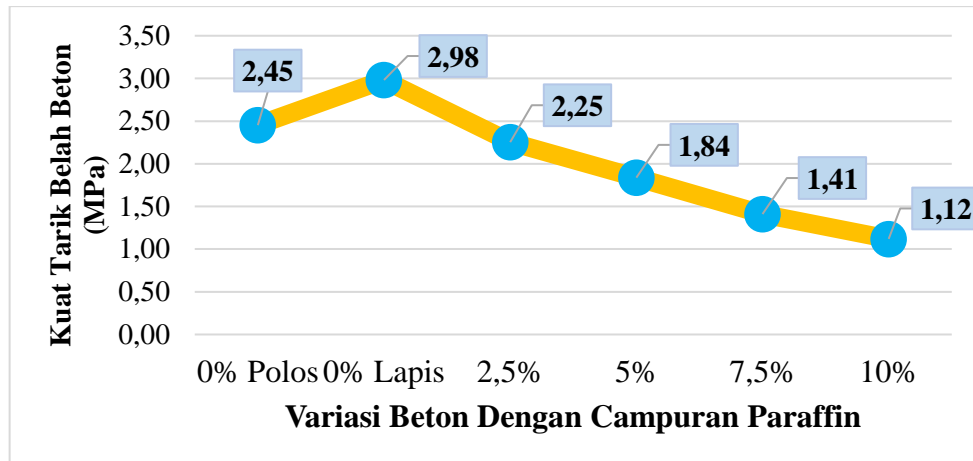
$$\begin{aligned}
 f_{ct} &= \frac{2P}{\pi LD} \\
 &= \frac{2 \times 165000}{\pi \times 30,193 \times 150,53} \\
 &= 2,31 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil nilai kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Belah Beton

Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (gr)	Ukuran Benda Uji		Luas Penampang	Beban Maximum		Kuat Tarik Belah Beton	Kuat Tekan Rerata (Mpa)	
			D (mm)	H (mm)	mm ²	kN	N	Mpa		
B-0-28h Polos	1	28	12643	150,130	300,600	17702,1	182	182000	2,57	2,45
	2	28	12812	150,320	302,200	17746,9	168	168000	2,35	
	3	28	12735	150,080	301,300	17690,3	173	173000	2,44	
B-0-28h Lapis	1	28	12831	150,110	301,450	17697,4	197	197000	2,77	2,98
	2	28	12750	150,400	302,560	17765,8	182	182000	2,55	
	3	28	12723	150,010	301,850	17673,8	258	258000	3,63	
B-2,5-28h	1	28	12622	150,530	301,930	17796,6	165	165000	2,31	2,25
	2	28	12643	151,330	303,070	17986,2	153	153000	2,12	
	3	28	12737	150,700	303,500	17836,8	167	167000	2,32	
B-5-28h	1	28	12201	150,900	301,160	17884,2	110	110000	1,54	1,84
	2	28	12415	150,160	300,750	17709,2	132	132000	1,86	
	3	28	12432	150,600	300,450	17813,1	150	150000	2,11	
B-7,5-28h	1	28	11901	150,950	300,760	17896,0	100	100000	1,40	1,41
	2	28	11851	150,230	301,330	17725,7	97	97000	1,36	
	3	28	11790	150,500	300,000	17789,5	104	104000	1,47	
B-10-28h	1	28	11695	150,600	300,530	17813,1	75	75000	1,05	1,12
	2	28	11502	150,830	301,430	17867,6	80	80000	1,12	
	3	28	11578	150,330	300,330	17749,3	84	84000	1,18	

Berdasarkan Tabel 5.22 didapatkan grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton pada Tiap Variasi



Gambar 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton dengan Paraffin

Berdasarkan tabel dan grafik rata-rata kekuatan, kuat tarik belah beton normal menunjukkan nilai tertinggi pada beton lapis sebesar 2,98 MPa, sedangkan untuk beton dengan variasi bahan tambah, nilai tertinggi diperoleh pada variasi kadar 2,5% yakni 2,25 MPa. Penurunan berturut pada variasi kadar 5%, 7,5%, dan 10% disebabkan oleh pasta yang tidak tercampur merata sehingga menyebabkan nilai porositas beton naik. Porositas (pori) dapat memengaruhi berbagai sifat fisik

dan mekanik material. Menurut Ling & Poon (2013) beton PCM yang mengandung MCPCM memiliki nilai porositas lebih tinggi dibandingkan dengan beton control tanpa MPCM.

5.6 Hasil Pengujian Emissivitas Beton

5.6.1 Hasil Pengujian *Infrared Thermometer*

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *infrared thermometer* setiap 5 menit selama 3 jam. Terdapat 5 variasi dengan sampel dan masing-masing variasi berjumlah 6 buah. Pengukuran suhu pada benda uji dibagi menjadi 3 bagian yaitu bagian selimut, alas, dan tutup silinder. Berikut merupakan contoh perhitungan dari pengujian suhu permukaan beton dengan variasi 2,5% sampel 1 pada pukul 08.00.

1. Suhu permukaan beton dengan variasi 2,5% sampel 1

$$\begin{aligned}\text{Suhu permukaan beton} &= \frac{21,4+21,9+21,9}{3} \\ &= 21,7 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil nilai suhu permukaan beton dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Suhu Permukaan Beton Sampel 1

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,7	22,5	21,7	22,9	23,3	23,4
2	08.05	21,4	22,4	21,6	23,0	23,4	23,4
3	08.10	21,5	22,5	21,3	22,8	23,2	23,3
4	08.15	21,3	22,2	21,2	22,9	23,3	23,3
5	08.20	21,4	22,1	21,4	23,0	23,4	23,4
6	08.25	21,5	22,3	21,4	22,9	23,3	23,4
7	08.30	21,5	22,1	21,5	23,1	23,6	23,3
8	08.35	21,3	22,3	21,4	22,6	23,4	23,5
9	08.40	21,5	22,4	21,3	22,9	23,5	23,5
10	08.45	21,4	22,2	21,3	23,0	23,4	23,3
11	08.50	21,6	22,4	21,5	23,0	23,3	23,3
12	08.55	21,7	22,5	21,4	23,1	23,2	23,6
12	09.00	21,7	22,5	21,4	23,1	23,2	23,6
14	09.05	22,3	22,1	22,1	23,3	23,5	23,5
15	09.10	22,4	22,3	22,3	23,2	23,7	23,4
16	09.15	22,4	22,2	22,2	23,3	23,5	23,4
17	09.20	22,5	22,4	22,3	23,2	23,4	23,6
18	09.25	22,7	22,4	22,4	23,3	23,3	23,4
19	09.30	23,1	22,5	22,5	23,4	23,5	23,5
20	09.35	23,5	22,2	22,3	23,3	23,6	23,6

Lanjutan Tabel 5.23 Suhu Permukaan Beton Sampel 1

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,7	22,5	22,3	23,4	23,5	23,3
22	09.45	24,3	22,5	22,5	23,3	23,5	23,5
23	09.50	24,6	23,6	22,5	23,4	23,4	23,4
24	09.55	24,7	23,5	22,5	23,3	23,6	23,4
25	10.00	25,2	23,7	22,7	23,2	23,5	23,6
26	10.05	25,0	24,3	23,4	23,4	23,7	23,5
27	10.10	25,5	24,6	23,6	23,6	23,6	23,4
28	10.15	25,6	24,2	23,7	23,7	23,8	23,5
29	10.20	25,5	24,8	23,9	23,6	23,7	23,6
30	10.25	25,6	25,1	23,8	23,4	23,6	23,4
31	10.30	25,5	25,2	24,2	23,7	23,8	23,7
32	10.35	25,7	25,6	24,4	23,3	23,6	23,8
33	10.40	26,1	25,7	24,7	24,1	23,7	23,8
34	10.45	26,4	25,6	25,3	24,4	23,8	23,7
35	10.50	26,2	26,2	25,6	24,6	24,2	23,8
36	10.55	26,5	26,3	25,8	25,2	24,4	23,9
37	11.00	26,7	26,6	26,3	25,4	24,3	23,8

Tabel 5.24 Suhu Permukaan Beton Sampel 2

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,8	22,7	21,5	22,8	23,5	23,5
2	08.05	21,6	22,6	21,4	22,5	23,6	23,6
3	08.10	21,7	22,2	21,5	22,6	23,6	23,7
4	08.15	21,6	22,5	21,5	22,8	23,5	23,5
5	08.20	21,4	22,3	21,6	22,8	23,6	23,7
6	08.25	21,5	22,3	21,5	22,7	23,4	23,6
7	08.30	21,6	22,6	21,6	23,2	23,7	23,6
8	08.35	21,6	22,4	21,5	22,8	23,6	23,6
9	08.40	21,4	22,7	21,5	22,8	23,7	23,5
10	08.45	21,5	22,6	21,4	22,7	23,7	23,5
11	08.50	22,1	22,6	21,4	22,8	23,8	23,6
12	08.55	22,2	22,4	21,8	22,8	23,7	23,7
12	09.00	22,6	22,5	22,2	22,9	23,6	23,7
14	09.05	22,6	22,6	22,2	23,3	23,7	23,6
15	09.10	22,6	22,5	22,5	23,6	23,7	23,7
16	09.15	22,8	22,4	22,5	23,5	23,5	23,5
17	09.20	23,2	22,5	22,6	23,6	23,8	23,6
18	09.25	23,5	22,4	22,5	23,7	23,6	23,7
19	09.30	23,6	22,6	22,4	23,6	23,7	23,6
20	09.35	23,7	22,7	22,5	23,4	23,6	23,5

Lanjutan Tabel 5.24 Suhu Permukaan Beton Sampel 2

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,7	22,7	22,5	23,5	23,5	23,6
22	09.45	24,1	23,0	22,4	23,4	23,7	23,5
23	09.50	24,6	23,7	22,5	23,5	23,5	23,6
24	09.55	24,8	23,6	22,4	23,4	23,5	23,5
25	10.00	25,1	24,4	22,5	23,5	23,6	23,6
26	10.05	25,2	24,3	23,5	23,6	23,7	23,6
27	10.10	25,5	24,6	23,6	23,5	23,6	23,6
28	10.15	25,7	24,7	23,6	23,5	23,5	23,5
29	10.20	25,6	25,0	23,5	23,6	23,6	23,6
30	10.25	25,6	25,3	23,4	23,7	23,7	23,7
31	10.30	25,8	25,6	24,2	23,5	23,7	23,5
32	10.35	26,0	25,4	24,7	24,4	23,5	23,6
33	10.40	26,5	25,6	24,7	24,3	23,6	23,4
34	10.45	26,6	25,6	25,2	24,7	23,8	23,4
35	10.50	26,4	26,4	25,7	24,7	24,4	23,6
36	10.55	26,7	26,6	26,3	24,8	24,6	24,0
37	11.00	26,7	26,5	26,8	25,6	24,8	23,9

Tabel 5.25 Suhu Permukaan Beton Sampel 3

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,3	21,6	22,9	23,7	23,7
2	08.05	21,7	22,4	21,5	22,5	23,6	23,6
3	08.10	21,8	22,3	21,5	22,7	23,5	23,5
4	08.15	21,5	22,7	21,3	22,9	23,5	23,4
5	08.20	21,4	22,3	21,4	23,0	23,6	23,7
6	08.25	21,4	22,5	21,2	22,9	23,5	23,5
7	08.30	21,5	22,7	21,5	23,0	23,5	23,6
8	08.35	21,7	22,6	21,4	22,5	23,6	23,7
9	08.40	21,3	22,5	21,5	22,9	23,7	23,8
10	08.45	21,4	22,3	21,6	23,1	23,8	23,5
11	08.50	21,4	22,7	21,4	22,9	23,5	23,6
12	08.55	21,9	22,6	21,5	22,8	23,7	23,8
12	09.00	22,0	22,6	22,1	22,9	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,5	22,0	22,9	23,5	23,5
15	09.10	22,4	22,3	22,2	23,3	23,6	23,6
16	09.15	22,6	22,6	22,4	23,4	23,4	23,8
17	09.20	22,7	22,4	22,2	23,5	23,5	23,5
18	09.25	22,5	22,6	22,3	23,5	23,6	23,5
19	09.30	22,8	22,7	22,4	23,4	23,5	23,8
20	09.35	23,6	22,6	22,6	23,5	23,7	23,4

Lanjutan Tabel 5.25 Suhu Permukaan Beton Sampel 3

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,4	22,4	22,5	23,7	23,5	23,6
22	09.45	23,9	23,1	22,3	23,5	23,6	23,5
23	09.50	24,5	23,4	22,7	23,4	23,7	23,6
24	09.55	25,2	23,6	22,6	23,3	23,5	23,7
25	10.00	25,3	24,1	22,7	23,4	23,6	23,6
26	10.05	25,4	24,2	23,5	23,7	23,5	23,4
27	10.10	25,6	24,4	23,7	23,8	23,7	23,6
28	10.15	25,7	24,6	23,6	23,7	23,8	23,7
29	10.20	25,6	24,8	23,5	23,6	23,5	23,5
30	10.25	25,7	25,4	23,6	23,6	23,6	23,6
31	10.30	25,6	25,3	24,3	23,5	23,8	23,7
32	10.35	25,7	25,4	24,6	24,1	23,7	23,6
33	10.40	26,4	25,6	24,7	24,3	23,6	23,7
34	10.45	26,5	25,5	25,3	24,6	23,7	23,4
35	10.50	26,4	26,1	25,5	25,1	24,4	23,6
36	10.55	26,6	26,4	26,2	25,2	24,7	23,9
37	11.00	26,5	26,6	26,3	25,6	24,6	24,1

Tabel 5.26 Suhu Permukaan Beton Sampel 4

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,3	21,7	22,5	23,6	23,5
2	08.05	21,3	22,5	21,6	22,7	23,5	23,5
3	08.10	21,6	22,6	21,5	22,6	23,5	23,4
4	08.15	21,7	22,4	21,5	22,9	23,7	23,6
5	08.20	21,6	22,5	21,6	22,8	23,5	23,5
6	08.25	21,8	22,6	21,6	22,9	23,4	23,6
7	08.30	21,6	22,5	21,7	22,7	23,6	23,7
8	08.35	21,7	22,6	21,6	22,6	23,7	23,5
9	08.40	21,6	22,5	21,8	22,9	23,6	23,5
10	08.45	21,7	22,5	21,6	22,7	23,8	23,7
11	08.50	21,6	22,7	21,7	22,6	23,6	23,6
12	08.55	22,0	22,6	21,9	22,8	23,5	23,5
12	09.00	22,1	22,5	22,3	22,6	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,8	22,5	22,9	23,5	23,5
15	09.10	22,5	22,7	22,6	23,4	23,6	23,7
16	09.15	22,8	22,5	22,7	23,5	23,8	23,8
17	09.20	22,7	22,6	22,6	23,6	23,6	23,6
18	09.25	22,5	22,5	22,5	23,7	23,5	23,7
19	09.30	22,9	22,6	22,6	23,6	23,6	23,7
20	09.35	23,5	22,7	22,6	23,7	23,6	23,5

Lanjutan Tabel 5.26 Suhu Permukaan Beton Sampel 4

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,6	23,3	22,7	23,7	23,7	23,5
22	09.45	24,1	23,5	22,6	23,5	23,6	23,6
23	09.50	24,4	23,5	22,8	23,5	23,7	23,7
24	09.55	25,2	23,6	22,7	23,6	23,6	23,5
25	10.00	25,3	24,5	22,9	23,5	23,7	23,5
26	10.05	25,4	24,6	23,6	23,5	23,6	23,6
27	10.10	25,6	24,7	23,7	23,6	23,5	23,7
28	10.15	25,7	24,9	23,6	23,6	23,6	23,5
29	10.20	25,8	25,3	23,7	23,5	23,6	23,6
30	10.25	25,8	25,6	23,8	23,5	23,8	23,4
31	10.30	26,0	25,7	24,3	23,7	23,6	23,6
32	10.35	26,3	25,6	24,7	24,2	23,5	23,5
33	10.40	26,5	25,6	25,0	24,5	23,7	23,7
34	10.45	26,4	25,9	25,3	24,7	24,0	23,5
35	10.50	26,6	26,3	25,6	25,3	24,2	23,5
36	10.55	26,8	26,6	26,3	25,6	24,5	23,8
37	11.00	26,7	26,6	26,6	25,7	24,6	24,0

Tabel 5.27 Suhu Permukaan Beton Sampel 5

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,5	21,9	22,4	23,6	23,6
2	08.05	21,6	22,4	21,6	22,5	23,5	23,6
3	08.10	21,4	22,5	21,5	22,7	23,6	23,7
4	08.15	21,6	22,6	21,5	22,9	23,5	23,5
5	08.20	21,5	22,4	21,6	23,0	23,4	23,7
6	08.25	21,6	22,6	21,5	22,9	23,6	23,6
7	08.30	21,5	22,7	21,5	22,9	23,5	23,8
8	08.35	21,5	22,8	21,6	22,8	23,5	23,6
9	08.40	21,6	22,7	21,8	22,9	23,7	23,7
10	08.45	21,8	22,6	21,6	22,8	23,6	23,6
11	08.50	21,8	22,7	21,5	22,9	23,5	23,7
12	08.55	22,2	22,6	21,7	22,7	23,6	23,7
12	09.00	22,3	22,7	22,2	22,8	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,6	22,2	22,9	23,7	23,5
15	09.10	22,5	22,7	22,5	23,4	23,5	23,7
16	09.15	22,6	22,5	22,5	23,4	23,5	23,6
17	09.20	22,6	22,6	22,6	23,5	23,6	23,6
18	09.25	22,5	22,7	22,6	23,5	23,6	23,5
19	09.30	23,4	22,5	22,5	23,4	23,5	23,6
20	09.35	23,5	22,6	22,6	23,6	23,5	23,7

Lanjutan Tabel 5.27 Suhu Permukaan Beton Sampel 5

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,7	22,7	22,5	23,7	23,6	23,6
22	09.45	24,3	23,2	22,4	23,5	23,7	23,7
23	09.50	24,6	23,6	22,7	23,5	23,5	23,8
24	09.55	25,3	23,7	22,6	23,3	23,6	23,6
25	10.00	25,4	24,3	22,7	23,5	23,5	23,5
26	10.05	25,5	24,5	23,4	23,5	23,6	23,6
27	10.10	25,6	24,6	23,4	23,6	23,6	23,7
28	10.15	25,7	24,6	23,6	23,4	23,5	23,7
29	10.20	25,8	24,8	23,5	23,6	23,5	23,6
30	10.25	25,7	25,4	23,6	23,5	23,6	23,5
31	10.30	26,2	25,6	24,2	23,6	23,5	23,5
32	10.35	26,5	25,7	24,6	24,2	23,5	23,6
33	10.40	26,5	25,7	24,8	24,2	23,7	23,7
34	10.45	26,7	25,8	25,1	24,4	23,6	23,5
35	10.50	26,6	26,2	25,6	24,7	24,3	23,6
36	10.55	26,6	26,4	26,2	25,3	24,5	23,8
37	11.00	26,7	26,4	26,6	25,6	24,7	24,2

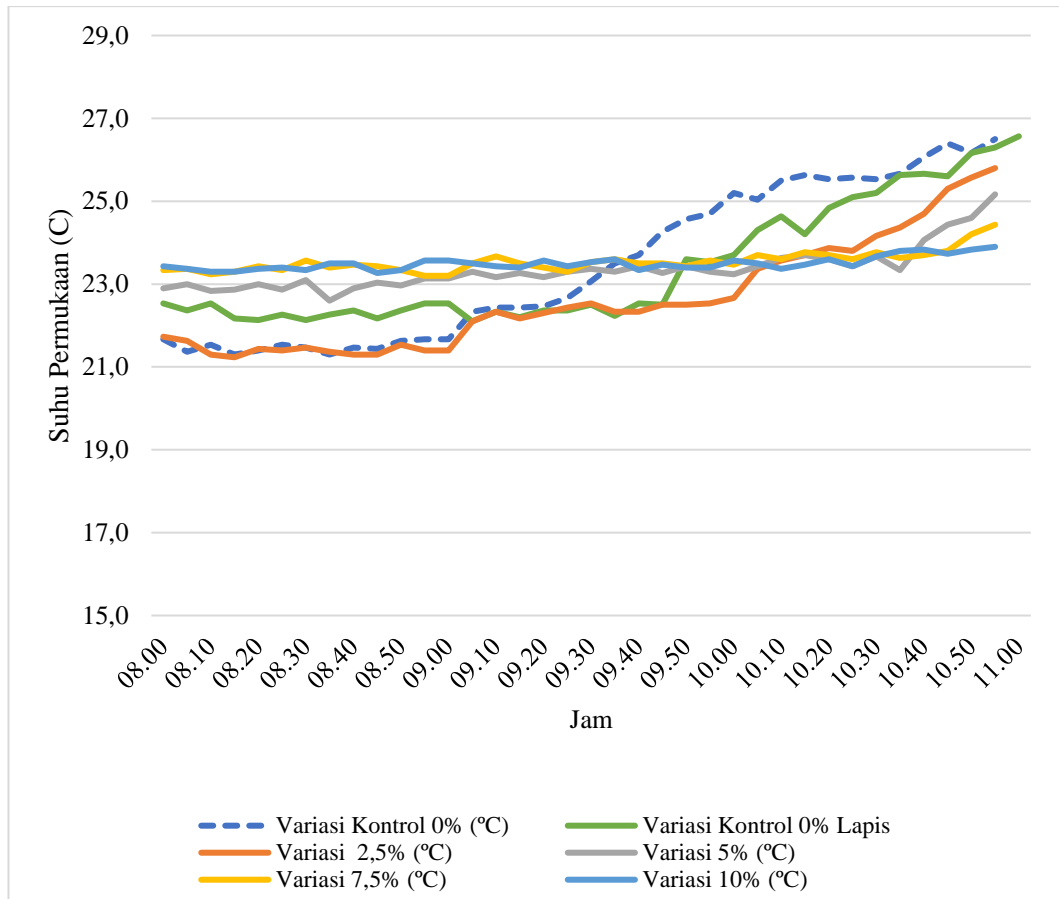
Tabel 5.28 Suhu Permukaan Beton Sampel 6

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,4	21,5	22,4	23,6	23,6
2	08.05	21,5	22,6	21,6	22,5	23,6	23,5
3	08.10	21,6	22,5	21,6	22,6	23,5	23,6
4	08.15	21,5	22,6	21,7	22,5	23,6	23,7
5	08.20	21,7	22,7	21,6	22,6	23,5	23,7
6	08.25	21,5	22,6	21,7	22,6	23,6	23,5
7	08.30	21,7	22,8	21,7	22,6	23,7	23,4
8	08.35	21,6	22,6	21,7	22,7	23,5	23,6
9	08.40	21,7	22,7	21,8	22,6	23,6	23,6
10	08.45	21,8	22,6	21,7	22,8	23,6	23,7
11	08.50	22,0	22,7	21,6	22,9	23,8	23,6
12	08.55	22,3	22,7	21,7	22,9	23,6	23,8
12	09.00	22,4	22,6	22,1	22,8	23,6	23,7
14	09.05	22,7	22,7	22,2	23,0	23,6	23,5
15	09.10	22,8	22,8	22,5	23,4	23,5	23,7
16	09.15	22,7	22,6	22,6	23,5	23,6	23,6
17	09.20	22,7	22,5	22,7	23,5	23,7	23,7
18	09.25	22,9	22,4	22,7	23,6	23,8	23,7
19	09.30	23,4	22,5	22,6	23,7	23,7	23,6
20	09.35	23,5	22,6	22,5	23,7	23,7	23,7

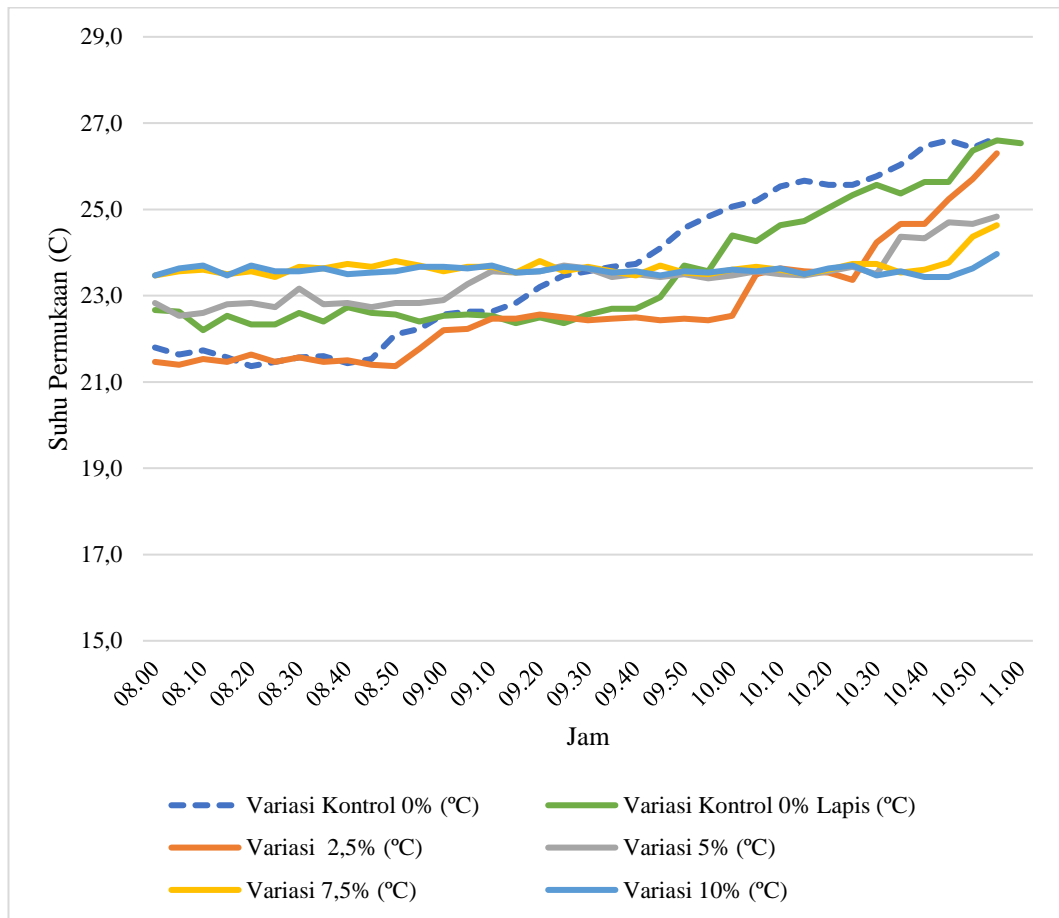
Lanjutan Tabel 5.28 Suhu Permukaan Beton Sampel 6

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,6	22,7	22,7	23,7	23,6	23,6
22	09.45	24,5	23,3	22,8	23,5	23,6	23,7
23	09.50	24,7	23,6	22,7	23,8	23,7	23,8
24	09.55	25,3	23,7	22,6	23,7	23,7	23,6
25	10.00	25,5	24,2	22,8	23,5	23,6	23,7
26	10.05	25,5	24,4	23,3	23,6	23,7	23,6
27	10.10	25,6	24,6	23,6	23,7	23,6	23,7
28	10.15	25,7	24,9	23,6	23,6	23,6	23,6
29	10.20	25,8	25,3	23,6	23,7	23,8	23,6
30	10.25	26,0	25,5	23,8	23,6	23,6	23,5
31	10.30	26,3	25,6	24,3	23,8	23,5	23,5
32	10.35	26,6	25,6	24,5	24,0	23,7	23,6
33	10.40	26,7	25,7	24,7	24,4	23,7	23,7
34	10.45	26,8	25,8	25,1	24,6	23,8	23,5
35	10.50	26,7	26,1	25,4	24,7	24,2	23,6
36	10.55	26,7	26,5	25,9	25,4	24,5	23,9
37	11.00	26,8	26,6	26,4	25,6	24,6	24,1

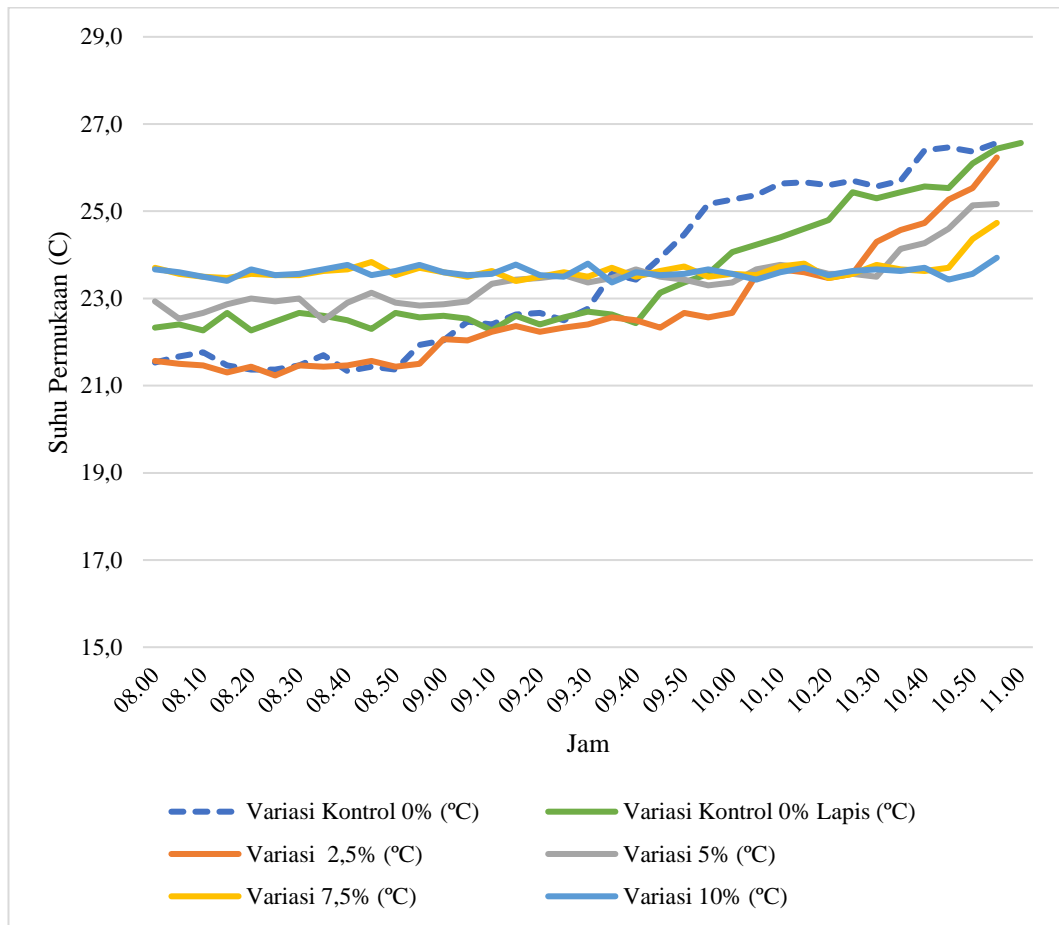
Berdasarkan tabel di atas didapatkan grafik hasil pengujian suhu permukaan beton sampel 1-6 yang dapat dilihat pada gambar berikut.



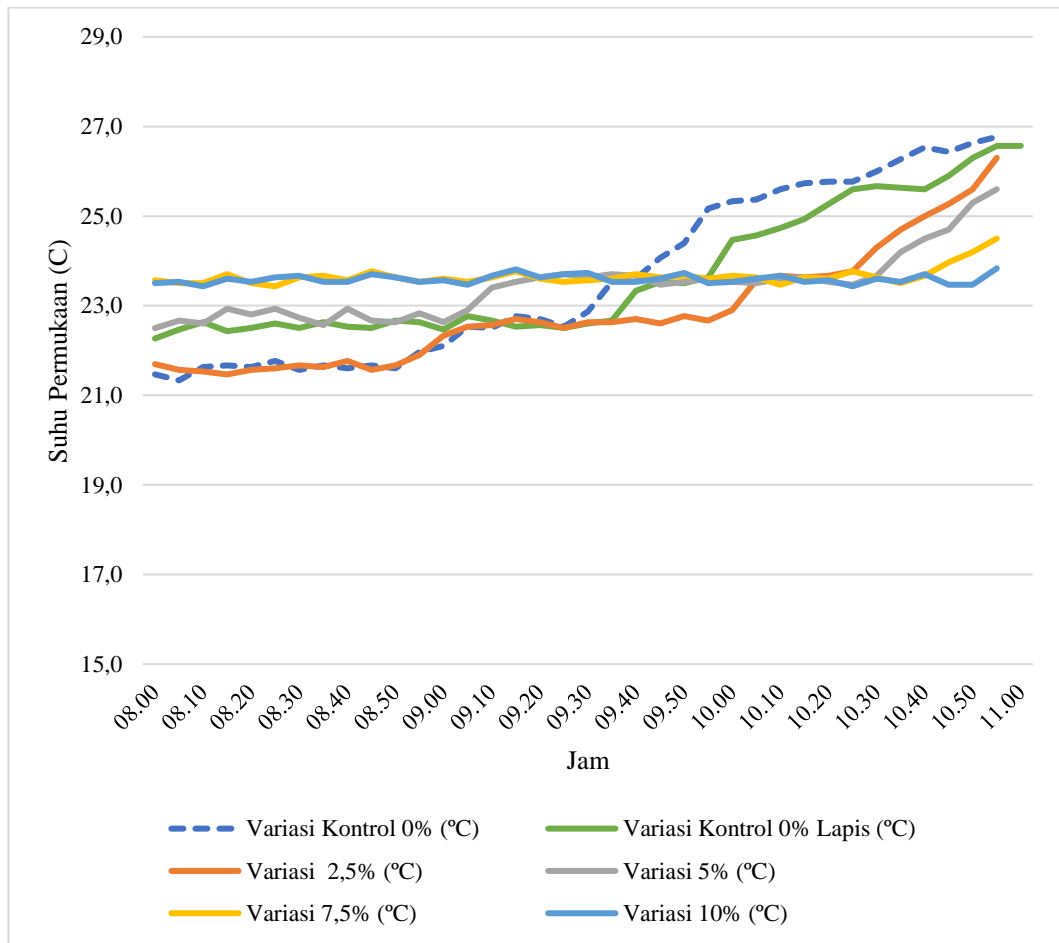
Gambar 5.14 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 1



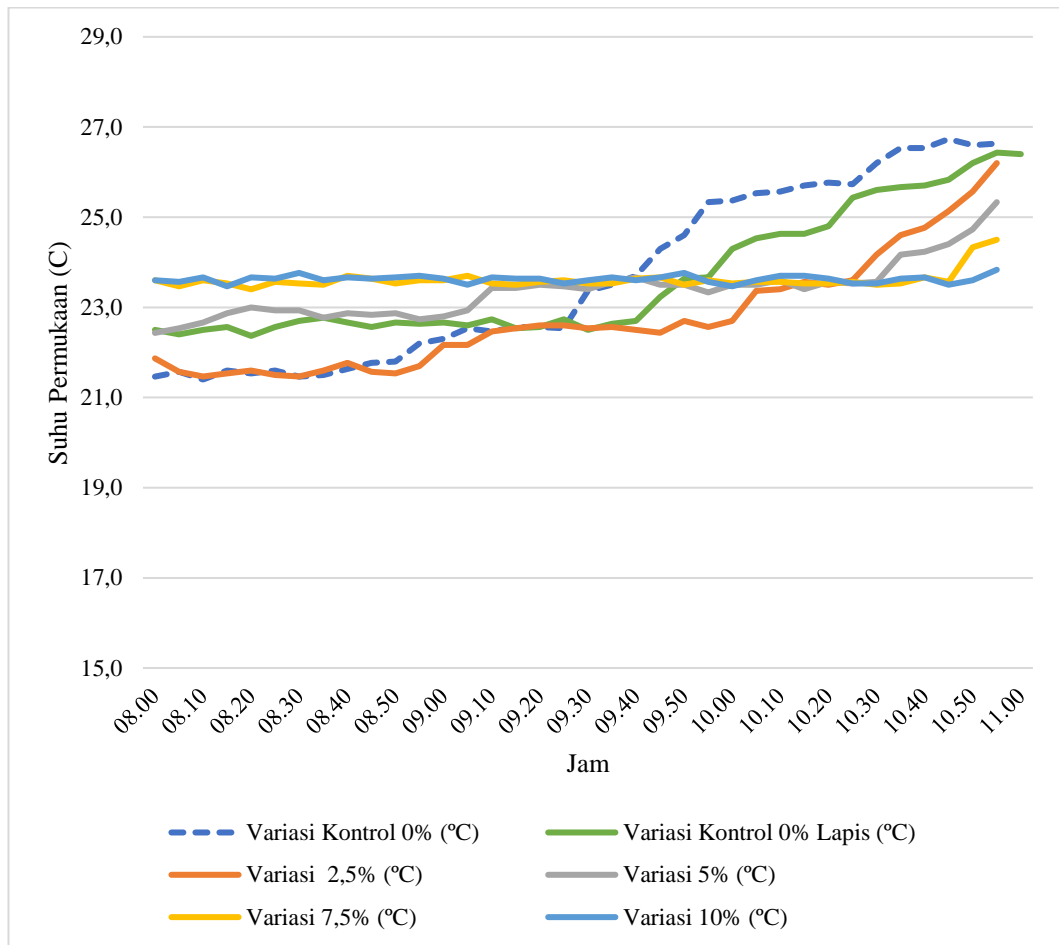
Gambar 5.15 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 2



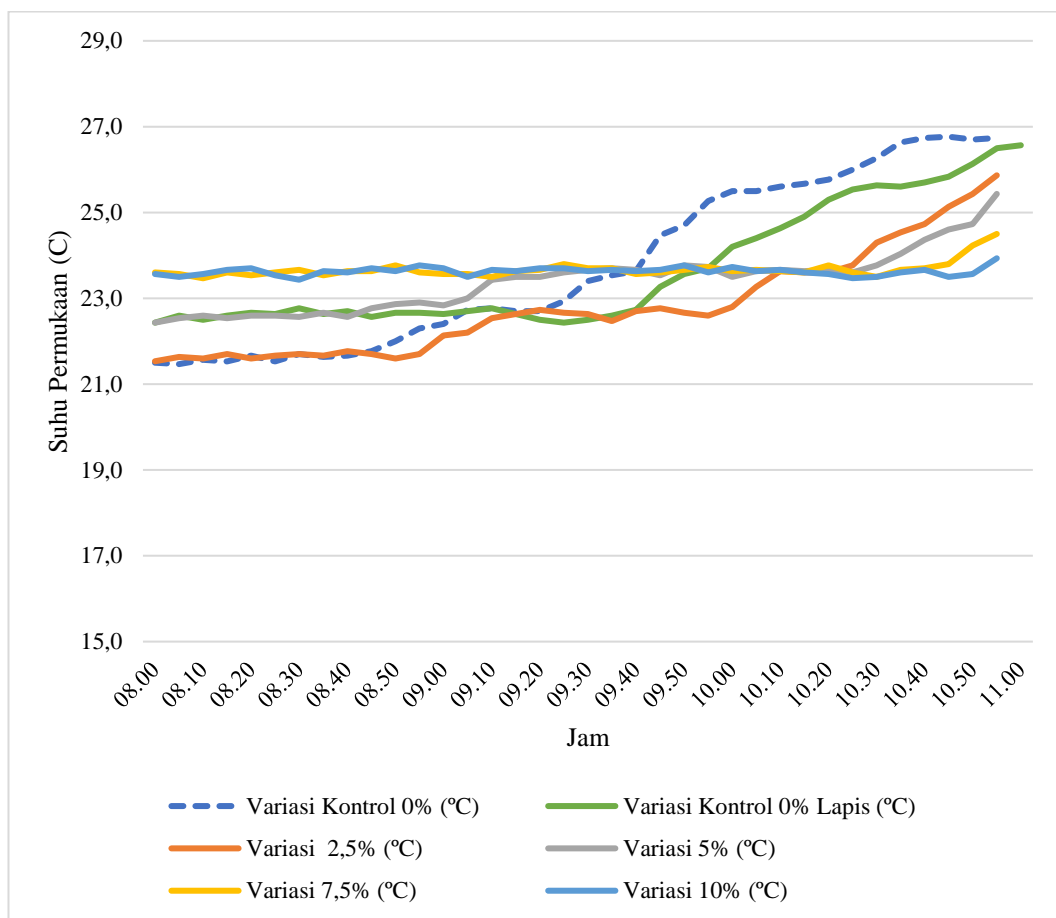
Gambar 5.16 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 3



Gambar 5.17 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 4



Gambar 5.18 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 5



Gambar 5.19 Grafik Nilai Suhu Permukaan Beton Sampel 6

Berdasarkan tabel dan grafik, beton dengan kandungan 10% parafin memiliki suhu puncak paling rendah yang menandakan kemampuan penyimpanan panas parafin tertinggi. Menurut Razak et al (2020) suhu puncak yang cenderung rendah ini disebabkan oleh penyimpanan panas sensibel, yang berperan dalam menurunkan suhu di dalam beton.

Variasi beton kontrol tanpa lapisan PCM menunjukkan kenaikan suhu yang signifikan hingga mencapai puncaknya pada siang hari. Beton kontrol yang dilapisi PCM stabil selama 110–120 menit sebelum akhirnya naik signifikan, meskipun suhu permukaannya tetap lebih rendah dibandingkan beton kontrol tanpa lapisan. Beton dengan kandungan PCM 2,5% stabil hingga 50–60 menit, lalu meningkat perlahan hingga siang hari. Beton dengan kandungan PCM 5% relatif stabil dan naik perlahan hingga 150 menit, kemudian naik signifikan hingga siang hari. Beton

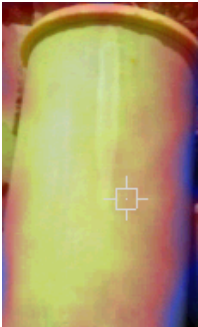





dengan kandungan PCM 7,5% cenderung stabil hingga 160–170 menit sebelum mengalami kenaikan signifikan hingga siang hari. Sementara itu, beton dengan kandungan PCM 10% cenderung stabil hingga 170 menit, meskipun terdapat sedikit kenaikan perlahan pada 10 menit terakhir.

Variasi kontrol 0% sama dengan variasi 2,5% pada pagi hari sekitar pukul 08.00 sampai 09.30, sedangkan pada pukul 09.30 sampai pada pukul 11.00 memperlihatkan suhu permukaan yang berbeda. Persamaan hasil pada pagi hari antara variasi 0% dan 2,5% disebabkan karena pada pagi hari belum terjadi kenaikan suhu yang signifikan dan kandungan parafin yang rendah tidak terlalu berpengaruh sehingga terjadi kesamaan hasil antara variasi 2,5% dan variasi kontrol 0%. Pada siang hari, kandungan parafin mulai menunjukkan pengaruhnya dalam memberikan suhu yang lebih rendah dibandingkan variasi kontrol 0%. Karakteristik parafin yang akan menstabilkan suhu terjadi pada siang hari. Pada variasi kontrol 0% lapis dan variasi 5% terjadi kemiripan hasil suhu permukaan pada pagi hari dan terjadi perbedaan pada siang hari nya. Perbedaan hasil pada siang hari diakibatkan karakter parafin yang menstabilkan meskipun hasilnya tidak sama dengan variasi kontrol 0% dan variasi 2,5% karena variasi kontrol 0% telah dilapisi dengan parafin. Variasi 7,5% dan variasi 10% mempunyai suhu permukaan yang mirip sepanjang waktu karena kandungan parafin yang besar mempengaruhi kestabilan suhu permukaan. Kandungan 7,5% bisa dianggap menjadi titik puncak dari kandungan parafin yang bisa menstabilkan suhu. Variasi 10% parafin bisa menstabilkan suhu paling baik dibandingkan yang lain.

5.6.2 Hasil Pengujian *Thermal Imaging Camera*

Pengukuran dilakukan pada pukul 11.00 pada salah satu sample tiap variasi setelah pengukuran dengan *infrared thermometer* selesai dilakukan. Thermal imaging pada bangunan berfungsi untuk mendeteksi dan menganalisis perbedaan suhu pada permukaan bangunan.

Tabel 5.29 *Thermal Imaging* Beton

Variasi	0%	0% Lapis	2,5%	5%	7,5%	10%
Gambar Hasil						

Berdasarkan gambar pada tabel 5.29 di atas, memperlihatkan perbedaan warna di variasi beton kontrol dan beton dengan bahan tambah parafin, semakin biru warna yang dihasilkan pada kamera *thermal imaging* maka semakin dingin dan stabil suhu pada objek. Hasil *thermal imaging* pada objek menunjukkan bahwa hingga siang hari beton dengan penambahan PCM masih memiliki suhu yang relatif rendah. Menurut Meshgin & Xi (2012) penambahan PCM pada beton meningkatkan kapasitas panas (specific heat) dan mengurangi konduktivitas termal. Dengan perubahan fase pada suhu, bahan penyimpan panas laten dapat menyimpan energi termal secara efisien. Oleh karena itu, penambahan Phase Change Material (PCM) ke dalam elemen bangunan berperan dalam mengatur kenyamanan termal di dalam ruangan sekaligus meningkatkan kapasitas material dalam menyimpan energi panas (Rathore et al., 2022).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada beton dengan bahan tambah parafin yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai rerata kuat tekan beton maksimum berada pada variasi 2,5% sebesar 29,32 MPa, dan nilai rerata minimum berada pada kuat tekan beton variasi 10% sebesar 15,37 MPa. Penambahan PCM pada beton dapat mengurangi kekuatan tekan beton dibandingkan beton konvensional, namun pada variasi 2,5% dan 5% mutu rerata kuat tekan beton yang dihasilkan masih mencapai 29,32 MPa dan 25,55 MPa yang berarti masih memenuhi batas minimum beton mutu sedang (21-40MPa). Hasil kuat tekan rerata variasi 7,5% di bawah ambang batas beton mutu sedang sebesar 19,87 MPa.
2. Nilai rerata kuat tarik beton maksimum berada pada variasi 2,5% sebesar 2,25 MPa, dan nilai rerata minimum berada pada kuat tarik beton variasi 10% sebesar 1,12 Mpa. Semakin besar presentase kandungan PCM pada beton, maka semakin rendah kuat tarik betonnya. Pada variasi 2,5% kuat tarik beton belum terlalu rendah sehingga masih mempunyai kuat tarik yang cukup besar. Pada variasi 5% masih cukup kuat tarik beton yang terjadi, sedangkan variasi 7,5% dan 10% memiliki kuat tarik beton yang kecil.
3. Nilai emisivitas yang dilihat dari suhu permukaan dan *thermal imaging* berhubungan positif dengan penambahan presentase PCM nya. Suhu permukaan paling stabil dan paling sedikit kenaikannya ada pada variasi penambahan parafin 10%. Semakin besar presentase PCM yang terkandung di dalam beton, maka semakin stabil suhu yang didapat pada suhu permukaan. Warna dari *thermal imaging* yang menandakan dingin adalah adanya warna biru yang mendominasi beton yang diambil gambarnya. Pada variasi 2,5%, warna merah muda masih mendominasi hasil *thermal imaging* beton. Pada variasi 10%, warna biru mendominasi hasil *thermal imaging* beton. Ketika suhu beton

variasi 0% mulai meningkat, suhu permukaan yang cukup dingin terjadi pada beton variasi 5% dan 7,5%. Penambahan PCM pada beton menurunkan konduktivitas termal. Hal ini disebabkan oleh peningkatan porositas beton. Penggunaan PCM untuk penyimpanan panas termal dalam beton memiliki potensi yang dapat diaplikasikan untuk konstruksi dan bangunan dalam mengatasi pemanasan global. Namun, beton PCM memiliki kekurangan seperti kekuatan yang lebih rendah dari beton konvensional.

4. Hasil pengaruh penambahan *phase change material* parafin pada beton mutu sedang 35 MPa adalah meningkatkan nilai slump pada mix design yang direncanakan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PCM dapat membuat beton lebih cair sehingga penambahan PCM pada beton dapat memengaruhi *workability* atau tingkat kelecakan beton segar. Penambahan material PCM optimum dalam penelitian ini ada pada kadar 5% yang menghasilkan kenaikan suhu yang tidak signifikan dan cenderung stabil selama 3 jam dengan penurunan mutu yang tidak signifikan dan masih memenuhi batas minimum beton mutu sedang (21-40 MPa). Melihat hasil secara keseluruhan dari kuat tekan beton, kuat tarik beton dan nilai emisivitas beton maka dapat disimpulkan bahwa beton yang paling baik menggunakan variasi 5% dengan alasan nilai kuat tekan dan tarik beton masih cukup dengan emisivitas yang menghasilkan suhu permukaan rendah.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan pada beton dengan penambahan PCM, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Perlu dilakukan variasi kadar bahan tambah dalam interval 1%-5% untuk mendapat nilai optimum dengan konsentrasi yang lebih spesifik.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parafin sebagai bahan tambah pada beton terhadap suhu permukaan dan mutu beton di umur 7, 14, dan 21 hari.

3. Perlu dilakukan pengujian – pengujian beton yang lainnya, seperti pengujian modulus elastisitas dan kuat lentur untuk mengetahui pengaruh penambahan PCM parafin pada beton mutu sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M. F., Santoso, I., & Erminawati, E. (2020). Hubungan Jenis Dinding dan Atap dengan Suhu dan Kelembaban Rumah Pada Pemukiman Lahan Basah. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN: Jurnal Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 17(2), 107–112. <https://doi.org/10.31964/jkl.v17i2.256>
- Alaneme, K. K., Anaele, J. U., Oke, T. M., Kareem, S. A., Adediran, M., Ajibuwa, O. A., & Anabaranze, Y. O. (2023). Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. *Alexandria Engineering Journal*, 83(September), 234–250. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012>
- Arafah Diniari, Maranatha Wijayaningtyas, & Sutanto Hidayat. (2021). Analisis Kriteria Bangunan Hijau Berdasarkan Greenship Homes V.1.0 Pada Perumahan Di Kota Malang. *Infomanpro*, 10(2), 19–26. <https://doi.org/10.36040/infomanpro.v10i2.4372>
- Astika, I. M. dkk. (2019). *Phase Change Materials for Building Applications: A Review*. 9, 5.
- Avdelidis, N. P., & Moropoulou, A. (2003). Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, 35(7), 663–667. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00210-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00210-4)
- Ayuningtyas, U., Made Agus Dharma Susila, I., Leopold Sihombing, A. S., Adi Sasongko, N., Anggraeni, P., Pribadi Adi Nugroho, T., & Tjahyo Eka Darmayanti, N. (2022). Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan Dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat 2022*, 51–56.
- Barreira, E., Almeida, R. M. S. F., & Simões, M. L. (2021). Emissivity of building materials for infrared measurements. *Sensors*, 21(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/s21061961>
- Dong, Z., Cui, H., Tang, W., Chen, D., & Wen, H. (2016). Development of hollow steel ball macro-encapsulated PCM for thermal energy storage concrete. *Materials*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/ma9010059>
- Fawzi, N. I. (2014). Pemetaan Emisivitas Menggunakan Indeks Vegetasi (Surface Emissivity Mapping Using Vegetation Indices). *Majalah Ilmiah Globë*, 16(2), 133–140.
- Haaren, M. Van. (2012). *Application of PCM in concrete Improvement of the indoor comfort and reducing energy*. 76.

- Haris, H. (2020). Studi Kelayakan Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 41–46. <https://doi.org/10.22487/renstra.v1i2.29>
- Jayalath, A., San Nicolas, R., Sofi, M., Shanks, R., Ngo, T., Aye, L., & Mendis, P. (2016). Properties of cementitious mortar and concrete containing micro-encapsulated phase change materials. *Construction and Building Materials*, 120, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.116>
- Jiang, J., Zheng, C., Wang, F., Xu, W., Wang, L., Chen, Z., & Su, W. (2022). Novel 3D Printing Phase Change Aggregate Concrete: Mechanical and Thermal Properties Analysis. *Materials*, 15(23). <https://doi.org/10.3390/ma15238393>
- Johan, M., Sundari, T., Nugroho, M. W., & Ramadhani, R. (2023). Redesign Struktur Gedung Madrasah Aliyah Madrasatul Qur'an Tebuireng Jombang Dengan Penggunaan Beton Pracetak. *Jurnal Sipil Terapan*, 1(2), 1–14.
- Koesoema, H., Kushartono, W., & Prabowo, A. (2023). Analisis Penggunaan Beton Pracetak Di Proyek Pembangunan Mall Xyz Kota Wisata. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(2), 407–414. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.23026>
- Latjemma, S., Program, D., Teknik, S., Teknik, F., & Madako, U. (2022). *Analysis of the Addition of Coconut Coir Fiber to the Concrete Analisis Penambahan Serat Sabut Kelapa pada Campuran Beton*. 2(4), 1681–1698.
- Lestari, R. A., Feriska, Y., & Diantoro, W. (2023). *Analisa Kuat Tekan Beton K-250 pada Pengecoran Lantai Gudang Penyimpanan, Jalan Lingkar Utara Tegal*. 7, 8696–8706.
- Ling, T. C., & Poon, C. S. (2013). Use of phase change materials for thermal energy storage in concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 46(September 2013), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.031>
- Marani, A., & Madhkan, M. (2021). Thermal performance of concrete sandwich panels incorporating phase change materials: An experimental study. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 760–775. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.022>
- Meshgin, P., & Xi, Y. (2012). Effect of phase-change materials on properties of concrete. *ACI Materials Journal*, 109(1), 71–80. <https://doi.org/10.14359/51683572>
- Mohaisen, K. O., Hasan Zahir, M., Maslehuddin, M., & Al-Dulaijan, S. U. (2022). Development of a shape-stabilized phase change material utilizing natural and industrial byproducts for thermal energy storage in buildings. *Journal of Energy Storage*, 50(January), 104205. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104205>
- Nasution, M. (2022). Perbandingan kuat tekan beton menggunakan agregat halus.

- Menggunakan agregat halus (pasir). *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil Dan Sains*, 1(2), 57–63.
- Norvell, C., Sailor, D. J., & Dusicka, P. (2013). The effect of microencapsulated phase-change material on the compressive strength of structural concrete. *Journal of Green Building*, 8(3), 116–124. <https://doi.org/10.3992/jgb.8.3.116>
- Pahreza, I. A., Hazairin, & Widyaningsih, E. (2023). Faktor Penggunaan Mutu Beton terhadap Biaya Konstruksi. *Prosiding Seminar Nasional ITN*, 324–329.
- Qin, M., Feaugas, O., & Zu, K. (2022). Novel metal-organic framework (MOF) based phase change material composite and its impact on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 273, 112382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112382>
- Rahardja, I. B., Mahfud, A., Dermawan, Y., & ... (2019). Pelatihan Pembuatan Lilin Untuk Penerangan Rumah Tangga Menggunakan Bahan Dasar Crude Palm Oil (CPO). *Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 3(September), 1–4.
- Razak, R. A., Khang Zhe, A. C., Bakri Abdullah, M. M. Al, Yahya, Z., Junaidi, S., Muhamad, K., & Mohd Mortar, N. A. (2020). Paraffin as a Phase Change Material in Concrete for Enhancing Thermal Energy Storage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 743(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/743/1/012012>
- Ren, M., Wen, X., Gao, X., & Liu, Y. (2021). Thermal and mechanical properties of ultra-high performance concrete incorporated with microencapsulated phase change material. *Construction and Building Materials*, 273, 121714. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121714>
- Reveshti, A. M., Ebrahimpour, A., & Razmara, J. (2023). Investigating the effect of new and old weather data on the energy consumption of buildings affected by global warming in different climates. *International Journal of Thermofluids*, 19(January), 100377. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100377>
- Rusnani, Enita, Tukidi, & Haryanto, E. (2023). PENGARUH GRADASI AGREGAT TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK BETON. *Journal of Scientech Research and Development*, 3(1), 24–32. <https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR/article/view/14>
- Satria, W. D., Damanik, N. H. C., Marda, A. Z., Juniarto, A., & Fauzi, Z. A. (2024). Kajian Penggunaan Material Beton Ekspos Pada Gedung Panjang Taman Ismail Marzuki Jakarta. *MARKA (Media Arsitektur Dan Kota) : Jurnal Ilmiah Penelitian*, 7(2), 73–90. <https://doi.org/10.33510/marka>
- Sharma, R., Jang, J. G., & Hu, J. W. (2022). Phase-Change Materials in Concrete: Opportunities and Challenges for Sustainable Construction and Building Materials. *Materials*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/ma15010335>
- SK SNI S-04-1989-F. (n.d.). Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan

bangunan bukan logam). Bandung.

- SNI 03-2834. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2847. 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta.
- SNI 03-2491-2002. (n.d.). Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton . Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974 2011. (n.d.). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- Sucita, I. K., Pramusandi, S., Almatiin, H. A., & Gufron, M. (2023). Teknologi Beton Precast Ramah Lingkungan Untuk Mendukung Pbl D4 Teknik Konstruksi Gedung (Tkg). *SNIV: SEMINAR NASIONAL INOVASI VOKASI*, 2(1), 406–413.
- Sun, J., Zhao, J., Zhang, W., Xu, J., Wang, B., Wang, X., Zhou, J., Guo, H., & Liu, Y. (2023). Composites with a Novel Core–shell Structural Expanded Perlite/Polyethylene glycol Composite PCM as Novel Green Energy Storage Composites for Building Energy Conservation. *Applied Energy*, 330(PA), 120363. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120363>
- Syamsudin. (2011). Tugas Akhir. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Vitorino, N., Abrantes, J. C. C., & Frade, J. R. (2016). Quality criteria for phase change materials selection. *Energy Conversion and Management*, 124, 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.063>
- Zhan, H., Mahyuddin, N., Sulaiman, R., & Khayatian, F. (2023). Phase change material (PCM) integrations into buildings in hot climates with simulation access for energy performance and thermal comfort: A review. *Construction and Building Materials*, 397(July), 132312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132312>
- Ziemele, J., Gendelis, S., & Dace, E. (2023). Impact of global warming and building renovation on the heat demand and district heating capacity: Case of the city of Riga. *Energy*, 276(April), 127567. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127567>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	488	485	486,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1034	1008	1021
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732	695	713,5
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,46	2,59	2,53
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,53	2,67	2,60
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,62	2,82	2,72
Penyerapan air, $(500-Bk)/(Bk \times 100\%)$	2,46%	3,09%	2,78%

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Asal Pasir : Progo

Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100
2,40	127	6,36	6,36	93,64
1,20	241	12,06	18,42	81,58
0,60	592	29,63	48,05	51,95
0,30	687	34,38	82,43	17,57
0,15	263	13,16	95,60	4,40
Pan	88	4,40	100	0
Jumlah	1998	100	250,85	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{250,85}{100} \\ &= 2,51 \end{aligned}$$

Sampel : 2

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,80	1	0	0	100
2,40	126	6,30	6,35	93,65
1,20	249	12,46	18,81	81,19
0,60	626	31,32	50,13	49,87
0,30	653	32,67	82,79	17,21
0,15	265	13,26	96,05	3,95
Pan	79	3,95	100	0
Jumlah	1999	100	254,18	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{254,18}{100} \\ &= 2,54 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 2834-2000

Keterangan :

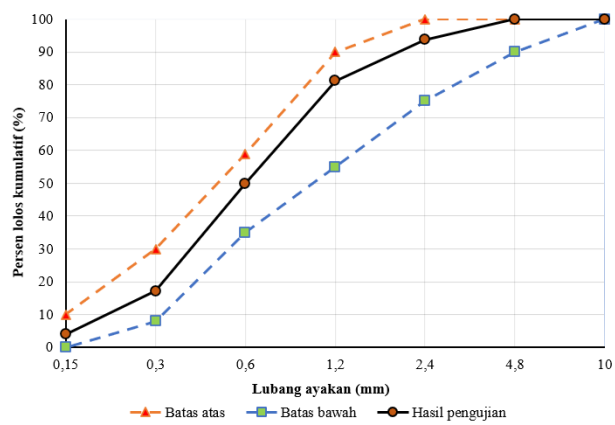
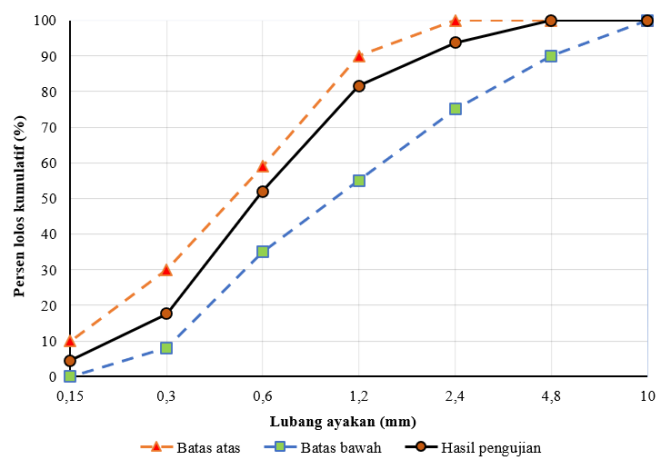
- Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)

Sampel 2 : Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT
AGREGAT HALUS**

Asal pasir : Progo

Pemeriksaan : Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	14,98	14,95	14,96
Tinggi silinder (t), cm	30,06	30,20	30,13
Berat tabung (W1), gram	10346	10292	10319
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	19162	18913	19037,5
Berat Agregat (W3), gram	8816	8621	8718,5
Volume tabung (V), gram	5297,88	5301,26	5299,57
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,66	1,63	1,64

Pemeriksaan : Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	14,98	14,95	14,96
Tinggi silinder (t), cm	30,06	30,20	30,13
Berat tabung (W1), gram	10346	10292	10319
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	19725	19644	19684,5
Berat Agregat (W3), gram	9379	9352	9365,5
Volume tabung (V), gram	5297,88	5301,26	5299,57
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,77	1,76	1,77

**PEMERIKSAAN LOLOS SARINGAN NO. 200 (UJI
KANDUNGAN LUMPUR) AGREGAT HALUS**

Asal pasir : Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- Rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	494	492	493
Presentase lolos saringan No. 200 $[(W1 - W2)/W1] \times 100$	1,20%	1,60%	1,40%

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

AGREGAT KASAR

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4906	4912	4909
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3104	3123	3113,5
Berat Jenis curah (Bk/Bj-Ba)	2,59	2,62	2,60
Berat jenis jenuh kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,64	2,66	2,65
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,72	2,74	2,73
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100%))	1,92%	1,79%	1,85%

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	141	2,82	2,82	97,18
10	2673	53,48	56,30	43,70
4,80	2049	41	97,30	2,70
2,40	107	2,14	99,44	0,56
1,20	5	0,10	99,54	0,46
0,60	0	0	99,54	0,46
0,30	0	0	99,54	0,46
0,15	0	0	99,54	0,46
Pan	23	0,46	100	0
Jumlah	4998	100	654,02	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{654,02}{100} \\ &= 6,54 \end{aligned}$$

Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	132	2,64	2,64	97,36
10	2668	53,37	56,01	43,99
4,80	2073	41,47	97,84	2,52
2,40	97	1,94	99,42	0,58
1,20	4	0,08	99,50	0,50
0,60	0	0	99,50	0,50
0,30	0	0	99,50	0,50
0,15	0	0	99,50	0,50
Pan	25	0,5	100	0
Jumlah	4999	100	653,55	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{653,55}{100} \\ &= 6,53 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Agregat Lolos Saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

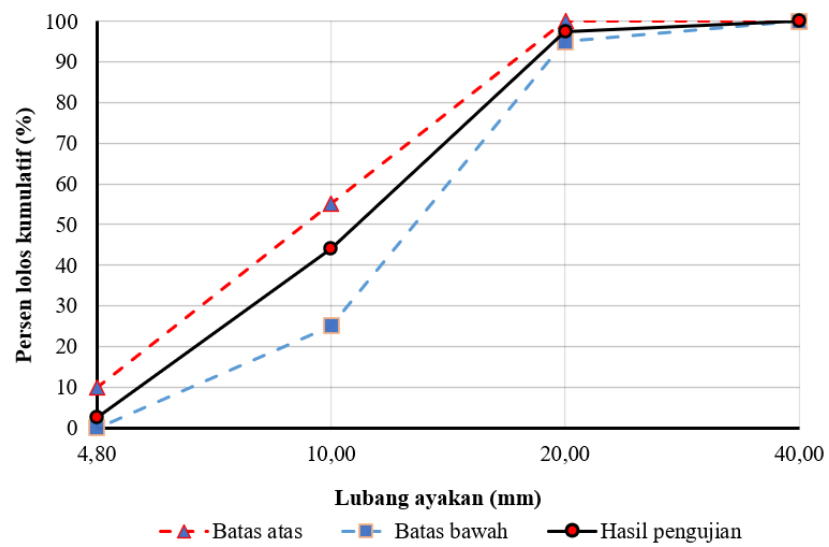
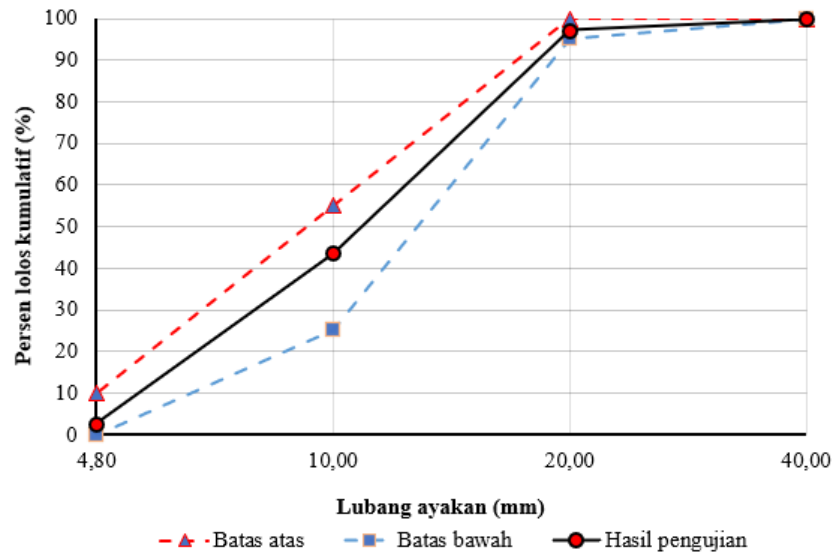
Sumber : SNI 2934-2000

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Ukuran maksimum agregat 20 mm

Sampel 2 : Ukuran maksimum agregat 20 mm

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT
AGREGAT KASAR**

Pemeriksaan : Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	15,13	14,96	15,045
Tinggi silinder (t), cm	30,11	30,25	30,18
Berat tabung (W1), gram	10446	10263	10354,5
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	17763	17531	17647
Berat Agregat (W3), gram	7317	7268	7292,5
Volume tabung (V), gram	5413,50	5317,14	5365,32
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,35	1,37	1,36

Pemeriksaan : Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	15,13	14,96	15,045
Tinggi silinder (t), cm	30,11	30,25	30,18
Berat tabung (W1), gram	10446	10263	10354,5
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18617	18254	18435,5
Berat Agregat (W3), gram	8171	7991	8081
Volume tabung (V), gram	5413,50	5317,14	5365,32
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,51	1,50	1,51

Lampiran 2 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan Campuran Beton Normal

Uraian	Nilai	Satuan
kuat tekan beton yang disarankan	35	Mpa
standar deviasi	-	
nilai tambah/margin (M)	12	Mpa
kuat tekan beton rerata yang dinyatakan	47	
jenis semen	Tipe 1	
jenis agregat kasar	batu pecah	
jenis agregat halus	pasir	
faktor air semen bebas	0,42	
faktor air semen maksimum	0,6	
FAS digunakan	0,42	
slump	60-180	mm
ukuran agregat maksimum	20	mm
kadar air bebas	205	Kg/m ³
kadar semen	488,10	
kadar semen maksimum	-	
kadar semen minimum	275	Kg/m ³
kadar semen digunakan	488,10	Kg/m ³
fas disesuaikan	0,42	
susunan besar butir agregat halus	gradasi ii	
berat jenis agregat kasar (SSD)	2,65	
berat jenis agregat halus (SSD)	2,60	
persen agregat halus	39,75	%
persen agregat kasar	60,25	%
berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,63	
berat isi beton	2368,75	Kg/m ³
kadar agregat gabungan	1675,65	Kg/m ³
kadar agregat halus	666,07	Kg/m ³
kadar agregat kasar	1009,58	Kg/m ³
kadar semen dengan angka penyusutan	658,93	Kg/m ³
kadar agregat halus dengan angka penyusutan	899,20	Kg/m ³
kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1362,94	Kg/m ³
kadar air dengan angka penyusutan	276,75	Kg/m ³

Perencanaan Beton Parafin

Proporsi Campuran Beton Parafin per 6 silinder dengan Angka Penyusutan					
Kadar Parafin	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Parafin (kg)
0%	20,960	8,803	28,602	43,353	0
2,5%	20,960	8,803	28,602	43,353	1,239
5%	20,960	8,803	28,602	43,353	2,478
7,5%	20,960	8,803	28,602	43,353	3,717
10%	20,960	8,803	28,602	43,353	4,956

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-2.1 Agregat Kasar



Gambar L-2.2 Timbangan



Gambar L-2.3 Saringan Agregat



Gambar L-2.4 Sekop Material



Gambar L-2.5 Proses Pembuatan Benda Uji



Gambar L-2.6 Perawatan Benda Uji



Gambar L-2.7 Cetakan Capping Beton



Gambar L-2.8 Mesin Uji Tekan Beton



Gambar L-2.9 Mesin Uji Tarik Belah Beton



Gambar L-2.10 Benda Uji untuk Pengujian Tarik Belah Beton



Gambar L-2.10 Benda Uji untuk Pengujian Tekan Beton



Gambar L-2.10 Pengukuran Suhu Permukaan Beton

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian *Workability* Beton Parafin

Benda Uji	Komposisi Campuran	Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180 mm)
	Parafin (%)		
B-0-28h	0%	8,7	Memenuhi
B-2,5-28h	2,5%	10,2	Memenuhi
B-5-28h	5%	10,6	Memenuhi
B-7,5-28h	7,5%	11	Memenuhi
B-10-28h	10%	11,1	Memenuhi

Lampiran 5 Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Parafin

Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (gr)	Ukuran Benda Uji		Luas Penampang	Beban Maximum		Kuat Tekan Pada Umur Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata (Mpa)	
			D (mm)	H (mm)		mm ²	kN			N
B-0-28h Polos	1	28	12541	150,060	300,030	17685,6	657,08	657080	37,15	37,80
	2	28	12733	150,430	301,860	17772,9	670,81	670810	37,74	
	3	28	12714	150,200	301,600	17718,6	682,17	682170	38,50	
B-0-28h Lapis	1	28	12903	150,560	300,030	17803,7	742,35	742350	41,70	37,86
	2	28	12736	150,060	301,400	17685,6	642,85	642850	36,35	
	3	28	12613	150,100	300,100	17695,0	628,93	628930	35,54	
B-2,5-28h	1	28	12872	151,430	302,460	18010,0	486,77	486770	27,03	29,32
	2	28	12531	150,200	301,560	17718,6	573,68	573680	32,38	
	3	28	12810	151,070	302,600	17924,5	512,03	512030	28,57	
B-5-28h	1	28	12414	150,500	300,560	17789,5	467,61	467610	26,29	25,55
	2	28	12354	150,700	301,400	17836,8	482,84	482840	27,07	
	3	28	12202	150,130	300,600	17702,1	412,21	412210	23,29	
B-7,5-28h	1	28	11840	150,130	301,230	17702,1	338,04	338040	19,10	19,87
	2	28	11926	151,600	300,550	18050,5	368,74	368740	20,43	
	3	28	12036	151,800	301,630	18098,1	363,51	363510	20,09	
B-10-28h	1	28	11760	151,460	301,830	18017,1	264,97	264970	14,71	15,37
	2	28	11610	149,950	301,430	17659,7	231,85	231850	13,13	
	3	28	11611	150,300	301,800	17742,2	324,17	324170	18,27	

Lampiran 5 Data Hasil Uji Tarik Belah Beton Parafin

Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (gr)	Ukuran Benda Uji		Luas Penampang mm ²	Beban Maximum		Kuat Tarik Belah Beton Mpa	Kuat Tekan Rerata (Mpa)	
			D (mm)	H (mm)		kN	N			
B-0-28h Polos	1	28	12643	150,130	300,600	17702,1	182	182000	2,57	2,45
	2	28	12812	150,320	302,200	17746,9	168	168000	2,35	
	3	28	12735	150,080	301,300	17690,3	173	173000	2,44	
B-0-28h Lapis	1	28	12831	150,110	301,450	17697,4	197	197000	2,77	2,98
	2	28	12750	150,400	302,560	17765,8	182	182000	2,55	
	3	28	12723	150,010	301,850	17673,8	258	258000	3,63	
B-2,5-28h	1	28	12622	150,530	301,930	17796,6	165	165000	2,31	2,25
	2	28	12643	151,330	303,070	17986,2	153	153000	2,12	
	3	28	12737	150,700	303,500	17836,8	167	167000	2,32	
B-5-28h	1	28	12201	150,900	301,160	17884,2	110	110000	1,54	1,84
	2	28	12415	150,160	300,750	17709,2	132	132000	1,86	
	3	28	12432	150,600	300,450	17813,1	150	150000	2,11	
B-7,5-28h	1	28	11901	150,950	300,760	17896,0	100	100000	1,40	1,41
	2	28	11851	150,230	301,330	17725,7	97	97000	1,36	
	3	28	11790	150,500	300,000	17789,5	104	104000	1,47	
B-10-28h	1	28	11695	150,600	300,530	17813,1	75	75000	1,05	1,12
	2	28	11502	150,830	301,430	17867,6	80	80000	1,12	
	3	28	11578	150,330	300,330	17749,3	84	84000	1,18	

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Suhu Permukaan Beton

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 1

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,7	22,5	21,7	22,9	23,3	23,4
2	08.05	21,4	22,4	21,6	23,0	23,4	23,4
3	08.10	21,5	22,5	21,3	22,8	23,2	23,3
4	08.15	21,3	22,2	21,2	22,9	23,3	23,3
5	08.20	21,4	22,1	21,4	23,0	23,4	23,4
6	08.25	21,5	22,3	21,4	22,9	23,3	23,4
7	08.30	21,5	22,1	21,5	23,1	23,6	23,3
8	08.35	21,3	22,3	21,4	22,6	23,4	23,5
9	08.40	21,5	22,4	21,3	22,9	23,5	23,5
10	08.45	21,4	22,2	21,3	23,0	23,4	23,3
11	08.50	21,6	22,4	21,5	23,0	23,3	23,3
12	08.55	21,7	22,5	21,4	23,1	23,2	23,6
12	09.00	21,7	22,5	21,4	23,1	23,2	23,6
14	09.05	22,3	22,1	22,1	23,3	23,5	23,5
15	09.10	22,4	22,3	22,3	23,2	23,7	23,4
16	09.15	22,4	22,2	22,2	23,3	23,5	23,4
17	09.20	22,5	22,4	22,3	23,2	23,4	23,6

Lanjutan Tabel Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 1

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
18	09.25	22,7	22,4	22,4	23,3	23,3	23,4
19	09.30	23,1	22,5	22,5	23,4	23,5	23,5
20	09.35	23,5	22,2	22,3	23,3	23,6	23,6
21	09.40	23,7	22,5	22,3	23,4	23,5	23,3
22	09.45	24,3	22,5	22,5	23,3	23,5	23,5
23	09.50	24,6	23,6	22,5	23,4	23,4	23,4
24	09.55	24,7	23,5	22,5	23,3	23,6	23,4
25	10.00	25,2	23,7	22,7	23,2	23,5	23,6
26	10.05	25,0	24,3	23,4	23,4	23,7	23,5
27	10.10	25,5	24,6	23,6	23,6	23,6	23,4
28	10.15	25,6	24,2	23,7	23,7	23,8	23,5
29	10.20	25,5	24,8	23,9	23,6	23,7	23,6
30	10.25	25,6	25,1	23,8	23,4	23,6	23,4
31	10.30	25,5	25,2	24,2	23,7	23,8	23,7
32	10.35	25,7	25,6	24,4	23,3	23,6	23,8
33	10.40	26,1	25,7	24,7	24,1	23,7	23,8
34	10.45	26,4	25,6	25,3	24,4	23,8	23,7
35	10.50	26,2	26,2	25,6	24,6	24,2	23,8
36	10.55	26,5	26,3	25,8	25,2	24,4	23,9
37	11.00	26,7	26,6	26,3	25,4	24,3	23,8

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 2

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,8	22,7	21,5	22,8	23,5	23,5
2	08.05	21,6	22,6	21,4	22,5	23,6	23,6
3	08.10	21,7	22,2	21,5	22,6	23,6	23,7
4	08.15	21,6	22,5	21,5	22,8	23,5	23,5
5	08.20	21,4	22,3	21,6	22,8	23,6	23,7
6	08.25	21,5	22,3	21,5	22,7	23,4	23,6
7	08.30	21,6	22,6	21,6	23,2	23,7	23,6
8	08.35	21,6	22,4	21,5	22,8	23,6	23,6
9	08.40	21,4	22,7	21,5	22,8	23,7	23,5
10	08.45	21,5	22,6	21,4	22,7	23,7	23,5
11	08.50	22,1	22,6	21,4	22,8	23,8	23,6
12	08.55	22,2	22,4	21,8	22,8	23,7	23,7
12	09.00	22,6	22,5	22,2	22,9	23,6	23,7
14	09.05	22,6	22,6	22,2	23,3	23,7	23,6
15	09.10	22,6	22,5	22,5	23,6	23,7	23,7
16	09.15	22,8	22,4	22,5	23,5	23,5	23,5
17	09.20	23,2	22,5	22,6	23,6	23,8	23,6
18	09.25	23,5	22,4	22,5	23,7	23,6	23,7
19	09.30	23,6	22,6	22,4	23,6	23,7	23,6
20	09.35	23,7	22,7	22,5	23,4	23,6	23,5

Lanjutan Tabel Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 2

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,7	22,7	22,5	23,5	23,5	23,6
22	09.45	24,1	23,0	22,4	23,4	23,7	23,5
23	09.50	24,6	23,7	22,5	23,5	23,5	23,6
24	09.55	24,8	23,6	22,4	23,4	23,5	23,5
25	10.00	25,1	24,4	22,5	23,5	23,6	23,6
26	10.05	25,2	24,3	23,5	23,6	23,7	23,6
27	10.10	25,5	24,6	23,6	23,5	23,6	23,6
28	10.15	25,7	24,7	23,6	23,5	23,5	23,5
29	10.20	25,6	25,0	23,5	23,6	23,6	23,6
30	10.25	25,6	25,3	23,4	23,7	23,7	23,7
31	10.30	25,8	25,6	24,2	23,5	23,7	23,5
32	10.35	26,0	25,4	24,7	24,4	23,5	23,6
33	10.40	26,5	25,6	24,7	24,3	23,6	23,4
34	10.45	26,6	25,6	25,2	24,7	23,8	23,4
35	10.50	26,4	26,4	25,7	24,7	24,4	23,6
36	10.55	26,7	26,6	26,3	24,8	24,6	24,0
37	11.00	26,7	26,5	26,8	25,6	24,8	23,9

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 3

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,3	21,6	22,9	23,7	23,7
2	08.05	21,7	22,4	21,5	22,5	23,6	23,6
3	08.10	21,8	22,3	21,5	22,7	23,5	23,5
4	08.15	21,5	22,7	21,3	22,9	23,5	23,4
5	08.20	21,4	22,3	21,4	23,0	23,6	23,7
6	08.25	21,4	22,5	21,2	22,9	23,5	23,5
7	08.30	21,5	22,7	21,5	23,0	23,5	23,6
8	08.35	21,7	22,6	21,4	22,5	23,6	23,7
9	08.40	21,3	22,5	21,5	22,9	23,7	23,8
10	08.45	21,4	22,3	21,6	23,1	23,8	23,5
11	08.50	21,4	22,7	21,4	22,9	23,5	23,6
12	08.55	21,9	22,6	21,5	22,8	23,7	23,8
12	09.00	22,0	22,6	22,1	22,9	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,5	22,0	22,9	23,5	23,5
15	09.10	22,4	22,3	22,2	23,3	23,6	23,6
16	09.15	22,6	22,6	22,4	23,4	23,4	23,8
17	09.20	22,7	22,4	22,2	23,5	23,5	23,5
18	09.25	22,5	22,6	22,3	23,5	23,6	23,5
19	09.30	22,8	22,7	22,4	23,4	23,5	23,8
20	09.35	23,6	22,6	22,6	23,5	23,7	23,4

Lanjutan Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 3

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,4	22,4	22,5	23,7	23,5	23,6
22	09.45	23,9	23,1	22,3	23,5	23,6	23,5
23	09.50	24,5	23,4	22,7	23,4	23,7	23,6
24	09.55	25,2	23,6	22,6	23,3	23,5	23,7
25	10.00	25,3	24,1	22,7	23,4	23,6	23,6
26	10.05	25,4	24,2	23,5	23,7	23,5	23,4
27	10.10	25,6	24,4	23,7	23,8	23,7	23,6
28	10.15	25,7	24,6	23,6	23,7	23,8	23,7
29	10.20	25,6	24,8	23,5	23,6	23,5	23,5
30	10.25	25,7	25,4	23,6	23,6	23,6	23,6
31	10.30	25,6	25,3	24,3	23,5	23,8	23,7
32	10.35	25,7	25,4	24,6	24,1	23,7	23,6
33	10.40	26,4	25,6	24,7	24,3	23,6	23,7
34	10.45	26,5	25,5	25,3	24,6	23,7	23,4
35	10.50	26,4	26,1	25,5	25,1	24,4	23,6
36	10.55	26,6	26,4	26,2	25,2	24,7	23,9
37	11.00	26,5	26,6	26,3	25,6	24,6	24,1

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 4

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,3	21,7	22,5	23,6	23,5
2	08.05	21,3	22,5	21,6	22,7	23,5	23,5
3	08.10	21,6	22,6	21,5	22,6	23,5	23,4
4	08.15	21,7	22,4	21,5	22,9	23,7	23,6
5	08.20	21,6	22,5	21,6	22,8	23,5	23,5
6	08.25	21,8	22,6	21,6	22,9	23,4	23,6
7	08.30	21,6	22,5	21,7	22,7	23,6	23,7
8	08.35	21,7	22,6	21,6	22,6	23,7	23,5
9	08.40	21,6	22,5	21,8	22,9	23,6	23,5
10	08.45	21,7	22,5	21,6	22,7	23,8	23,7
11	08.50	21,6	22,7	21,7	22,6	23,6	23,6
12	08.55	22,0	22,6	21,9	22,8	23,5	23,5
12	09.00	22,1	22,5	22,3	22,6	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,8	22,5	22,9	23,5	23,5
15	09.10	22,5	22,7	22,6	23,4	23,6	23,7
16	09.15	22,8	22,5	22,7	23,5	23,8	23,8
17	09.20	22,7	22,6	22,6	23,6	23,6	23,6
18	09.25	22,5	22,5	22,5	23,7	23,5	23,7
19	09.30	22,9	22,6	22,6	23,6	23,6	23,7
20	09.35	23,5	22,7	22,6	23,7	23,6	23,5

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 4

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,6	23,3	22,7	23,7	23,7	23,5
22	09.45	24,1	23,5	22,6	23,5	23,6	23,6
23	09.50	24,4	23,5	22,8	23,5	23,7	23,7
24	09.55	25,2	23,6	22,7	23,6	23,6	23,5
25	10.00	25,3	24,5	22,9	23,5	23,7	23,5
26	10.05	25,4	24,6	23,6	23,5	23,6	23,6
27	10.10	25,6	24,7	23,7	23,6	23,5	23,7
28	10.15	25,7	24,9	23,6	23,6	23,6	23,5
29	10.20	25,8	25,3	23,7	23,5	23,6	23,6
30	10.25	25,8	25,6	23,8	23,5	23,8	23,4
31	10.30	26,0	25,7	24,3	23,7	23,6	23,6
32	10.35	26,3	25,6	24,7	24,2	23,5	23,5
33	10.40	26,5	25,6	25,0	24,5	23,7	23,7
34	10.45	26,4	25,9	25,3	24,7	24,0	23,5
35	10.50	26,6	26,3	25,6	25,3	24,2	23,5
36	10.55	26,8	26,6	26,3	25,6	24,5	23,8
37	11.00	26,7	26,6	26,6	25,7	24,6	24,0

Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 5

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,5	21,9	22,4	23,6	23,6
2	08.05	21,6	22,4	21,6	22,5	23,5	23,6
3	08.10	21,4	22,5	21,5	22,7	23,6	23,7
4	08.15	21,6	22,6	21,5	22,9	23,5	23,5
5	08.20	21,5	22,4	21,6	23,0	23,4	23,7
6	08.25	21,6	22,6	21,5	22,9	23,6	23,6
7	08.30	21,5	22,7	21,5	22,9	23,5	23,8
8	08.35	21,5	22,8	21,6	22,8	23,5	23,6
9	08.40	21,6	22,7	21,8	22,9	23,7	23,7
10	08.45	21,8	22,6	21,6	22,8	23,6	23,6
11	08.50	21,8	22,7	21,5	22,9	23,5	23,7
12	08.55	22,2	22,6	21,7	22,7	23,6	23,7
12	09.00	22,3	22,7	22,2	22,8	23,6	23,6
14	09.05	22,5	22,6	22,2	22,9	23,7	23,5
15	09.10	22,5	22,7	22,5	23,4	23,5	23,7
16	09.15	22,6	22,5	22,5	23,4	23,5	23,6
17	09.20	22,6	22,6	22,6	23,5	23,6	23,6
18	09.25	22,5	22,7	22,6	23,5	23,6	23,5
19	09.30	23,4	22,5	22,5	23,4	23,5	23,6
20	09.35	23,5	22,6	22,6	23,6	23,5	23,7

Lanjutan Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 5

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,7	22,7	22,5	23,7	23,6	23,6
22	09.45	24,3	23,2	22,4	23,5	23,7	23,7
23	09.50	24,6	23,6	22,7	23,5	23,5	23,8
24	09.55	25,3	23,7	22,6	23,3	23,6	23,6
25	10.00	25,4	24,3	22,7	23,5	23,5	23,5
26	10.05	25,5	24,5	23,4	23,5	23,6	23,6
27	10.10	25,6	24,6	23,4	23,6	23,6	23,7
28	10.15	25,7	24,6	23,6	23,4	23,5	23,7
29	10.20	25,8	24,8	23,5	23,6	23,5	23,6
30	10.25	25,7	25,4	23,6	23,5	23,6	23,5
31	10.30	26,2	25,6	24,2	23,6	23,5	23,5
32	10.35	26,5	25,7	24,6	24,2	23,5	23,6
33	10.40	26,5	25,7	24,8	24,2	23,7	23,7
34	10.45	26,7	25,8	25,1	24,4	23,6	23,5
35	10.50	26,6	26,2	25,6	24,7	24,3	23,6
36	10.55	26,6	26,4	26,2	25,3	24,5	23,8
37	11.00	26,7	26,4	26,6	25,6	24,7	24,2

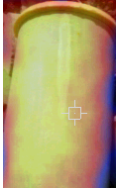




Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 6

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
1	08.00	21,5	22,4	21,5	22,4	23,6	23,6
2	08.05	21,5	22,6	21,6	22,5	23,6	23,5
3	08.10	21,6	22,5	21,6	22,6	23,5	23,6
4	08.15	21,5	22,6	21,7	22,5	23,6	23,7
5	08.20	21,7	22,7	21,6	22,6	23,5	23,7
6	08.25	21,5	22,6	21,7	22,6	23,6	23,5
7	08.30	21,7	22,8	21,7	22,6	23,7	23,4
8	08.35	21,6	22,6	21,7	22,7	23,5	23,6
9	08.40	21,7	22,7	21,8	22,6	23,6	23,6
10	08.45	21,8	22,6	21,7	22,8	23,6	23,7
11	08.50	22,0	22,7	21,6	22,9	23,8	23,6
12	08.55	22,3	22,7	21,7	22,9	23,6	23,8
12	09.00	22,4	22,6	22,1	22,8	23,6	23,7
14	09.05	22,7	22,7	22,2	23,0	23,6	23,5
15	09.10	22,8	22,8	22,5	23,4	23,5	23,7
16	09.15	22,7	22,6	22,6	23,5	23,6	23,6
17	09.20	22,7	22,5	22,7	23,5	23,7	23,7
18	09.25	22,9	22,4	22,7	23,6	23,8	23,7
19	09.30	23,4	22,5	22,6	23,7	23,7	23,6
20	09.35	23,5	22,6	22,5	23,7	23,7	23,7

Lanjutan Pengujian : Suhu Permukaan Beton Sampel 6

No	Jam	Variasi Kontrol 0% (°C)	Variasi Kontrol 0% Lapis (°C)	Variasi 2,5% (°C)	Variasi 5% (°C)	Variasi 7,5% (°C)	Variasi 10% (°C)
21	09.40	23,6	22,7	22,7	23,7	23,6	23,6
22	09.45	24,5	23,3	22,8	23,5	23,6	23,7
23	09.50	24,7	23,6	22,7	23,8	23,7	23,8
24	09.55	25,3	23,7	22,6	23,7	23,7	23,6
25	10.00	25,5	24,2	22,8	23,5	23,6	23,7
26	10.05	25,5	24,4	23,3	23,6	23,7	23,6
27	10.10	25,6	24,6	23,6	23,7	23,6	23,7
28	10.15	25,7	24,9	23,6	23,6	23,6	23,6
29	10.20	25,8	25,3	23,6	23,7	23,8	23,6
30	10.25	26,0	25,5	23,8	23,6	23,6	23,5
31	10.30	26,3	25,6	24,3	23,8	23,5	23,5
32	10.35	26,6	25,6	24,5	24,0	23,7	23,6
33	10.40	26,7	25,7	24,7	24,4	23,7	23,7
34	10.45	26,8	25,8	25,1	24,6	23,8	23,5
35	10.50	26,7	26,1	25,4	24,7	24,2	23,6
36	10.55	26,7	26,5	25,9	25,4	24,5	23,9
37	11.00	26,8	26,6	26,4	25,6	24,6	24,1

Lampiran 7 Data Hasil Pengujian *Thermal Imaging* Beton

Variasi Beton	Gambar Hasil
0%	
0% lapis	
2,5%	
5%	
7,5%	
10%	