

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SERBUK
GYPSUM TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT
LENTUR BETON
(*THE EFFECT OF ADDING GYPSUM POWDER
MIXTURE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE*)**

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



**Perkenan Perdana Thohari
19511262**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SERBUK GYPSUM TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON (THE EFFECT OF ADDING GYPSUM POWDER MIXTURE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)

Disusun oleh

Perkenan Perdana Thohari
19 511 262

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan Untuk
Memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada Tanggal 19 Januari 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

1.2.24

Astriana Harjawati, S.T., M.Eng
NIK : 165111501

Penguji I

Elvis Saputra, S.T., M.T
NIK : 205111302

Penguji II

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIK : 845110101

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

2/2 2024

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumber secara jelas sesuai dengan norma, etika, dan kaidah penulisan karya ilmiah.

Yogyakarta, 9 Desember 2023
Yang membuat Pernyataan,



Perkenan Perdana Thohari
(19511262)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas kehadiran-Nya dan rahmat-Nya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton” dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam kita haturkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat yang telah membawa zaman jahiliyah ke zaman yang terang benerang seperti sekarang.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menyelesaikan studi jenjang Strata 1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selama melaksanakan dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Prof. Ir. Sarwidi., MSCE., Ph.D. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Baroroh Mustaqimah, S.H dan Bapak Muh Agus Suprpto, M. Mar. kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan yang tidak dapat terhitung baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.

6. Moevtia Kartika Dewi, S.Sos. yang senantiasa memberikan semangat dan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Keluarga Besar Eyang Yasin Thohari, yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis.
8. Dr. Arif Ainur Rafiq, S.T., M.T., M.Sc. selaku kakak sepupu yang senantiasa memberikan motivasi dan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Joko Hadinoto Wijoyo, S.T., M.T, selaku alumni Teknik Sipil UII 2001 yang senantiasa membimbing kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Geng Kontrakan (Fandika Ahmad Dwi Saputro, Satria Hardanta Putra, Muh. Reza Fadhila, Yudit Yustisiandi, Mohamad Ridho Saputra, Muhammad Arif), yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis.
11. Bapak Daru Salam dan Bapak Warno yang telah membantu selama proses pembuatan dan pengujian beton di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
12. Seluruh teman-teman Angkatan 2019 yang terlibat dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.
13. Seluruh pihak yang telah membantu proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat demi perbaikan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wassalamu 'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 9 Desember 2023
Penulis,

Perkenan Perdana Thohari
(19511262)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	vx
<i>ABSTRACK</i>	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II STUDI PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Penelitian Terdahulu	5
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Beton	9
3.2 Semen Portland	10
3.3 Air	12
3.4 Agregat	13

3.4.1 Agregat Halus	14
3.4.2 Agregat Kasar	15
3.4.3 Pengujian Agregat Halus	16
3.4.4 Pengujian Agregat Kasar	18
3.5 Serbuk Gypsum	21
3.6 Pengujian Beton	22
3.6.1 Uji Kuat Tekan	22
3.6.2 Uji Kuat Lentur	24
3.7 Korelasi	24
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1 Tinjauan Umum	25
4.2 Bahan	25
4.3 Peralatan	26
4.4 Lokasi Penelitian	28
4.5 Benda Uji	28
4.6 Proses Pelaksanaan Penelitian	29
4.6.1 Proses Persiapan dan Pemeriksaan Bahan	29
4.6.2 Perencanaan Campuran Beton (<i>mix design</i>)	33
4.6.3 Proses Pembuatan Benda Uji	39
4.6.4 Proses Perawatan Benda Uji	40
4.6.5 Proses Pengujian Benda Uji	41
4.7 Pengolahan Data	42
4.8 Langkah-Langkah Penelitian	42
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
5.1 Umum	46
5.2 Pengujian Agregat	46
5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	46
5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	56

5.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	65
5.4 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	74
5.5 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton Silinder	77
5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	80
5.7 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton Balok	86
5.8 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	88
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	98
6.1 Kesimpulan	98
6.2 Saran	98

DAFTAR TABEL

2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Rencana Penelitian	7
3.1 Komposisi Bahan Semen	11
3.2 Tipe-Tipe Semen	13
3.3 Persyaratan Batas Susunan Butir Agregat Halus	15
3.4 Persyaratan Batas Susunan Butir Agregat Kasar	17
4.1 Jumlah Benda Uji	29
4.2 Faktor Pengali Deviasi Standar	34
4.3 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar	35
4.4 Persyaratan Jumlah Minimum Semen dan Faktor Air Semen	36
4.5 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen : 0,5	37
4.6 Perkiraan Kadar Air Bebas	38
5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	49
5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	51
5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	52
5.4 Gradasi Agregat Halus	53
5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	55
5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Pada Agregat Halus	56
5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	57
5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	58
5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	61
5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	61
5.11 Gradasi Agregat Kasar	62
5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	65
5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	65
5.14 Hasil Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton	72

5.15 Proporsi Campuran Beton dengan Serbuk Gypsum <i>Mixing</i> Silinder	75
5.16 Proporsi Campuran Beton dengan Serbuk Gypsum <i>Mixing</i> Balok	75
5.17 Nilai <i>Slump</i> Beton	76
5.18 Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton Silinder	78
5.19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	81
5.20 Perbandingan Hasil Penelitian	85
5.21 Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton Balok	87
5.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur	89
5.23 Korelasi Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur	92
5.24 Harga Satu Campuran Beton Silinder	95
5.25 Harga Satu Campuran Beton Balok	96

DAFTAR GAMBAR

3.1 Uji Kuat Tekan Beton	22
3.2 Uji Kuat Lentur	23
4.1 Semen Portland Dynamix	25
4.2 Agregat Halus Pasir	26
4.3 Agregat Kasar Kerikil	26
4.4 Air	27
4.5 Serbuk Gypsum	27
4.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Sudah Padat	38
4.7 Diagram Alir Penelitian	45
5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1	53
5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2	54
5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	63
5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	63
5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (f_{as}) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm	67
5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	69
5.7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	71
5.8 Hubungan <i>Slump</i> dengan Presentase Serbuk Gypsum	76
5.9 Hubungan Berat Volume Beton Balok dengan Variasi Serbuk Gypsum	79
5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	83
5.11 Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan BN dan BSG ₃	80
5.12 Hubungan Berat Volume dengan Kuat Tekan	85
5.13 Hubungan Berat Volume Beton Balok dengan Variasi Serbuk Gypsum	88
5.14 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	90
5.15 Sampel Setelah Pengujian Kuat Lentur	92

5.16 Hubungan Berat Volume dengan Kuat Lentur Beton	92
5.17 Korelasi Kuat Tekan dan Kuat Lentur	94
5.18 Hubungan Presentase Gypsum dengan Waktu	95
5.19 Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur Beton	95
5.19 Grafik Harga Campuran Beton Silinder	98
5.20 Grafik Harga Campuran Beton Balok	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	101
Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium	102
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat	103
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	109
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	110
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Kuat Lentur Beton	112
Lampiran 7 Gambar Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji	113

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f'c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$f'cr$	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
ft	= Kuat lentur (MPa)
PC	= <i>Portal Cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= <i>Saturated surface dry</i>
MPa	= Megapascal
°C	= Derajat celcius
M	= Nilai tambah
S_r	= Deviasi standar
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
fas	= Faktor air semen
BJ_{gab}	= Berat jenis relatif/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
$W_{ag. gab}$	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
W_{beton}	= Berat isi beton (kg/m^3)
W_{semen}	= Kadar semen (kg/m^3)
$W_{ag. halus}$	= Kadar agregat halus (kg/m^3)
$W_{ag. kasar}$	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)

P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
m	= Meter
mm	= Milimeter
cm	= Centimeter
kN	= Kilonewton
N	= Newton
d	= Diameter tabung silinder (mm)
t	= Tinggi tabung silinder (mm)
kg	= Kilogram
L	= Panjang antar tumpuan benda uji (mm)
B	= Lebar tampang lintang patah (mm)
h	= Tinggi tampang lintang patah (mm)

ABSTRAK

Karakteristik beton memiliki ketahanan terhadap kuat tekan, tetapi memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu inovasi yang diterapkan yaitu dengan penambahan berbagai macam variasi ke dalam campuran beton. Kemajuan teknologi memungkinkan untuk menambahkan bahan-bahan alternatif untuk memperbaiki sifat-sifat beton dan kinerja beton dengan biaya yang relatif murah dan tanpa mengurangi nilai mutu beton.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan campuran serbuk gypsum dengan presentase kadar 3%, 7%, dan 10% dari berat semen pada tiap masing-masing variasi ke dalam adukan beton segar. Serbuk gypsum diaplikasikan sebagai bahan tambah untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat lentur yang dihasilkan oleh beton. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 2834-2000, kuat tekan rencana 25 MPa.

Hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan serbuk gypsum ke dalam campuran beton menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai kuat tekan dan kuat lentur. Beton dengan variasi serbuk gypsum kadar 3% mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 27,079 MPa mengalami kenaikan sebesar 8,32 % dari kuat tekan rencana yaitu 25 MPa, untuk kuat lentur mendapatkan hasil 5,977 MPa. Beton dengan variasi serbuk gypsum kadar 7% mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 25,8 MPa mengalami kenaikan sebesar 3,2 % dari kuat tekan rencana yaitu 25 MPa, untuk kuat lentur mendapatkan hasil 5,088 MPa. Beton dengan variasi serbuk gypsum kadar 10% mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 24,13 MPa mengalami penurunan sebesar 3,48 % dari kuat tekan rencana yaitu 25 MPa, untuk kuat lentur mendapatkan hasil 4,128 MPa.

Kata kunci : Kuat tekan, Kuat lentur, Serbuk gypsum

ABSTRACT

The characteristics of concrete are resistance to compressive strength, but weakness to tensile strength. One of the innovations implemented is the addition of various variations to the concrete mixture. Technological advances make it possible to add alternative materials to improve concrete properties and concrete performance at relatively low costs and without reducing the value of concrete quality.

In this research adding a mixture of gypsum powder with a percentage of 3%, 7%, and 10% of the cement weight for each variation into the fresh concrete mix. Gypsum powder is applied as an additional material to determine the compressive strength and flexural strength values produced by concrete. Calculation of concrete mix planning using SNI 2834-2000, design compressive strength 25 MPa.

The results of the research that has been carried out, the addition of gypsum powder to the concrete mixture shows that there is a decrease in the compressive strength and flexural strength values. Concrete with a variation of 3% gypsum powder obtained a compressive strength value of 27.079 MPa, an increase of 8,32% from the planned compressive strength of 25 MPa, for flexural strength the result was 5.977 MPa. Concrete with a variation of 7% gypsum powder obtained a compressive strength value of 25.8 MPa, an increase of 3,2% from the planned compressive strength of 25 MPa, for flexible strength the result was 5.088 MPa. Concrete with a variation of 10% gypsum powder obtained a compressive strength value of 24.13 MPa, experiencing a decrease of 3,48% from the planned compressive strength of 25 MPa, for flexural strength the result was 4.128 MPa.

Keywords : *Compressive strength, Flexural strength, Gypsum powder*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju pembangunan di segala sektor semakin cepat karena kemajuan industri dan teknologi kebutuhan infrastruktur, perumahan, perjalanan, dan industri. Permintaan bahan kebutuhan pendukung dipengaruhi oleh hal tersebut. Beton merupakan salah satu produk yang permintaannya mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling banyak diminati dibandingkan bahan-bahan lainnya seperti baja ataupun kayu. Hal tersebut terjadi karena harganya yang cukup murah dan memiliki kuat tekan yang tinggi.

Karakteristik beton memiliki ketahanan terhadap kuat tekan, tetapi memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu inovasi yang diterapkan yaitu dengan penambahan berbagai macam variasi ke dalam campuran beton. Kemajuan teknologi memungkinkan untuk menambahkan bahan-bahan alternatif untuk memperbaiki sifat-sifat beton dan kinerja beton dengan biaya yang relatif murah dan tanpa mengurangi nilai mutu beton.

Adanya kendala waktu dalam pelaksanaan proyek seringkali memaksa beton untuk menunjukkan kinerja optimalnya lebih cepat dari waktu yang dibutuhkan beton konvensional. Oleh karena itu, perlu ditambahkan suatu bahan yang dapat membantu beton meningkatkan kinerja dalam waktu singkat. Berkaitan dengan fakta di atas, dalam penelitian ini serbuk gypsum untuk dekorasi bangunan digunakan sebagai campuran beton. Berdasarkan perkiraan diketahui bahwa gypsum merupakan jenis mineral dengan kadar kalsium yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk gypsum dengan kuat tekan dan kuat lentur beton. Sehingga dapat menghitung persentase dalam penambahan serbuk gypsum sebagai bahan tambah terhadap pengaruh kuat tekan dan kuat lentur. Penelitian ini menggunakan jumlah serbuk gypsum dengan persentase 0%, 3%, 7%, dan 10%. Penelitian ini dilaksanakan

untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk gypsum terhadap uji kuat tekan beton dan kuat lentur beton. Untuk variasi direncanakan masing-masing persentase sebanyak 40 sampel yang akan digunakan uji kuat tekan beton dan 20 sampel kuat yang digunakan untuk uji kuat lentur beton pada usia 28 hari dan menggunakan agregat kasar batu pecah untuk semen menggunakan semen Portland tipe I.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk gypsum 0%, 3%, 7%, dan 10% terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk gypsum 0%, 3%, 7%, dan 10% terhadap kuat lentur beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan pengaruh penambahan serbuk gypsum 0%, 3%, 7%, dan 10% terhadap kuat tekan beton.
2. Untuk mendapatkan pengaruh penambahan serbuk gypsum 0%, 3%, 7%, dan 10% terhadap modulus kuat lentur beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil yang diharapkan akan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Secara teoritis, penulis berharap dapat mengembangkan pengetahuan tentang material beton dan dapat menerapkan ilmu mengenai kekuatan beton dan teknologi beton
2. Secara praktisi, penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan berguna jika hasil yang didapatkan sesuai dengan apa yang telah direncanakan oleh penulis tentang pengaruh penambahan serbuk gypsum ke dalam campuran beton.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan yang dibahas untuk menjadikan penelitian ini dapat berfokus dan lebih mendetail seperti yang dijelaskan berikut :

1. Lokasi pengambilan serbuk gypsum di Jaya Utama Gypsum, Trirenggo, Bantul, DIY
2. Penelitian ini menggunakan semen *portland* tipe 1 merk *dynamix*.
3. Sampel benda uji kuat tekan beton menggunakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
4. Sampel benda uji kuat lentur beton menggunakan balok ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm.
5. Benda uji kuat tekan digunakan 40 sampel dan uji kuat lentur digunakan 20 sampel
6. Persentase limbah gypsum yang digunakan yaitu 0%, 3, 7%, dan 10%.
7. Perawatan beton dilakukan dengan cara merendam benda uji selama 27 hari dan waktu pengeringan 1 hari.
8. Pengujian beton dilakukan pada usia 28 hari
9. Desain campuran beton sesuai SNI 03-2834-2000
10. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton merupakan campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta dapat juga ditambahkan bahan aditif. Pada saat keras, beton dapat memikul beban sehingga sifat yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan pada beton dipengaruhi oleh jumlah air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen dan derajat kekompakannya. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (Tjokrodimuljo, 1996). Beton yang terdiri dari agregat, semen dan air yang bercampur menjadi satu dalam keadaan plastis, sehingga mudah untuk digunakan dalam konstruksi bangunan.

Beton terdiri dari $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, dan sebaliknya kerikil dan pasir. Setelah beton mengeras campuran tersebut memiliki sifat yang berbeda-beda, tergantung pada saat pelaksanaan pembuatannya. Perbandingan campuran, cara campuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan akan mempengaruhi sifat-sifat beton (Samekto, 2001). Dalam tinjauan pustaka ini, penting untuk dilakukan agar mengetahui penelitian terdahulu yang dapat dijadikan bahan acuan dan pertimbangan penelitian yang akan dilakukan karena adanya kesamaan metode pengujian, bahan tambah yang digunakan, dan material yang digunakan. Akan tetapi terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang sebelumnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan tinjauan pustaka pada penelitian yang dilaksanakan oleh peneliti.

1. Pengaruh Limbah Gypsum Pada Kuat Tekan Beton oleh Mulyono dan Yoga Surya Wijaya, 2020.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui manfaat pemberian penambahan bahan pengganti sebagai agregat halus dengan menggunakan limbah gipsium untuk bahan campuran beton. Benda uji yang digunakan menggunakan kerucut abrasi dengan diameter dasar 203 mm, 102 mm, dan tinggi 305 mm. Perbandingan hasil kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari pada kadar limbah gipsium 0% mengalami peningkatan 36,48%, pada kadar gipsium 5% mengalami peningkatan 32,61%, dan pada kadar gipsium 10% mengalami peningkatan 43,41%. Hasil kuat tekan beton pada setiap variasi limbah gipsium 0%, 5%, dan 10% didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 42,95 Mpa, 39,93 Mpa, dan 34,02 Mpa.

2. Pengaruh Kuat Tekan Beton Terhadap Bahan Pengganti Sebagian Semen dan Agregat Kasar Dengan Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan Tempurung Kelapa 10% oleh Tanaka Dynasty, 2017.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil uji kuat tekan dengan limbah gipsium 5%, 7,5%, dan 12,5% dengan tambahan tempurung kelapa 10% berturut-turut yaitu 19,04 Mpa, 16,63 Mpa, 20,35 Mpa, dan 16,94 Mpa. Hasil kuat tekan optimum terletak pada kadar limbah gipsium 10% dengan limbah tempurung kelapa sebesar 10%. Penggunaan limbah gipsium 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan tempurung kelapa 10% mempengaruhi nilai slump dan nilai bleeding. Nilai slump tertinggi sebesar 17,5 cm terdapat variasi limbah gipsium 12,5% dengan tempurung kelapa 10%. Sedangkan nilai bleeding tertinggi sebesar 22,5 ml terdapat pada variasi limbah gipsium 5% dengan tempurung kelapa 10%.

3. Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton oleh Rafki Imani, Widiawati Purba, dan Rainaldi S Nainggolan, 2020.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah terhadap kuat tekan beton. Metode penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan mutu beton yang diinginkan dari penambahan limbah gipsium. Hasil uji kuat tekan

beton menggunakan kubus beton $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$ dimana beton normal 0% usia 14 hari diperoleh nilai kuat tekan yaitu $186,87 \text{ kg/cm}^2$ dan usia 28 hari yaitu $164,44 \text{ kg/cm}^2$. Beton campuran 5% pada usia 14 hari dan 28 hari diperoleh yaitu $157,04 \text{ kg/cm}^2$. Beton campuran 10% pada usia 14 hari yaitu $101,01 \text{ kg/cm}^2$ dan usia 28 hari yaitu $88,89 \text{ kg/cm}^2$. Beton campuran 15% pada usia 14 hari yaitu $70,71 \text{ kg/cm}^2$, pada usia 28 hari yaitu $62,22 \text{ kg/cm}^2$.

4. Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gypsum dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton oleh Muhammad Yogi Ismayadi, 2018.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan atau filler limbah serbuk gipsum dan cangkang kelapa sawit terhadap nilai kuat tekan beton. Pada penelitian ini penambahan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan limbah serbuk gypsum dan cangkang kelapa sawit. Metode pengujian beton pada penelitian ini yaitu pembuatan beton normal dan variasi masing-masing 5 benda uji pada umur beton 7 hari dan 28 hari, dan pencampuran beton normal memakai limbah serbuk gipsum 17% + cangkang kelapa sawit 10%, dan limbah serbuk gipsum 20% + cangkang kelapa sawit 10% dengan jumlah semua 30 benda uji. Kemudian dilakukan perendaman dengan umur beton 7 dan 28 hari, setelah itu kemudian dilakukan uji kuat tekan. Hasil pengujian yang diperoleh pada penelitian kali ini adalah di mana beton normal memiliki nilai kuat tekan sebesar 39,28 MPa pada umur 7 hari dan 34,80 MPa pada umur 28 hari. Pada beton variasi campuran dengan limbah serbuk gipsum 17% + cangkang kelapa sawit 10% memiliki kuat tekan 41,03 MPa pada umur 7 hari dan 35,87 MPa pada umur 28 hari, dengan limbah serbuk gipsum 20% + cangkang kelapa sawit 10% sebesar 42,56 MPa umur 7 hari dan 36,60 MPa umur 28 hari. Didapat dari hasil penelitian yang dilakukan, semakin tinggi pencampuran nilai limbah serbuk gipsum terhadap campuran beton, maka nilai kuat tekan beton semakin naik.

Peneliti	Tanaka Dynasty (2017)	Muhammad Yogi Ismayadi (2018)	Mulyono dan Yoga Surya Wijaya (2020)	Rafki Imani, Widiawati Purba, dan Rainaldi S Nainggolan (2020)	Perkenan Perdana Thohari (2023)
Judul Penelitian	Pengaruh Kuat Tekan Beton Terhadap Bahan Pengganti Sebagian Semen dan Agregat Kasar Dengan Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan Tempurung Kelapa 10%	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gypsum dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton	Pengaruh Limbah Gypsum Pada Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Kuat lentur Beton
Kadar Serat	5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%	17% + 10%, 20% + 10%	0%, 5%, dan 10%	0%, 5%, dan 10%	0%, 3%, 7%, 10%
Jenis Pengujian	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton
Benda Uji	Silinder	Silinder	Silinder	Silinder	Silinder dan Kubus
Umur Beton	28 hari	28 hari	7 dan 28 hari	14 dan 28 hari	28 hari
Hasil Pengujian	Hasil uji kuat tekan dengan limbah gypsum 5%, 7,5% dan 12,5% dengan	Hasil pengujian yang di peroleh pada penelitian kali ini adalah di mana	Perbandingan hasil kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari, pada kadar	Nilai kuat tekan beton normal (0%) umur 14 hari diperoleh sebesar 186,87 kg/cm ² , dan	Nilai kuat tekan beton normal rata-rata usia 28 hari diperoleh sebesar 28,623 MPa dan kuat

	<p>tambahan Tempurung kelapa 10% berturut-turut adalah 19,04 Mpa, 16,63 Mpa, 20,35Mpa dan 16,94 Mpa. Hasil kuat tekan optimum terletak pada kadar limbah gypsum 10% dengan limbah tempurung kelapa sebesar 10%. Penggunaan limbah gypsum 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan tempurung kelapa 10% mempengaruhi nilai slump dan nilai bleeding. Nilai slump tertinggi sebesar 17,5cm terdapat pada variasi limbah gypsum 12,5% dengan tempurung kelapa 10%.</p>	<p>beton normal memiliki nilai kuat tekan sebesar 39,28 MPa pada umur 7 hari dan 34,80 MPa pada umur 28 hari. Pada beton variasi campuran dengan limbah serbuk gypsum 17% + cangkang kelapa sawit 10% memiliki kuat tekan 41,03 MPa pada umur 7 hari dan 35,87 MPa pada umur 28 hari, dengan limbah serbuk gypsum 20% + cangkang kelapa sawit 10% sebesar 42,56 MPa umur 7 hari dan 36,60 MPa umur 28 hari. Didapat dari hasil penelitian yang dilakukan, semakin tinggi pencampuran nilai limbah serbuk</p>	<p>limbah gypsum 0% mengalami peningkatan 36,48%, pada kadar gypsum 5% mengalami peningkatan 32,61% dan pada kadar gypsum 10% mengalami peningkatan 43,41%. Semakin banyak kadar limbah gypsum dan semakin tua umur benda uji, maka mengalami peningkatan kuat tekan. Penambahan limbah gypsum 5% dari volume beton normal nilai kuat tekan menurun 8,29% saat umur 28 hari. Penambahan 10% mengalami penurunan nilai kuat tekan 20,79%. Hasil</p>	<p>umur 28 hari sebesar 164,44 kg/cm² , sedangkan pada campuran 5 % limbah gipsum terhadap campuran beton didapatkan nilai kuat tekan untuk umur 14 hari sebesar 178,45 kg/cm² , dan umur 28 hari sebesar 157,04 kg/cm². Pada campuran 10 % limbah gipsum terhadap adukan beton didapatkan nilai kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 101,01 kg/cm² , dan umur 28 hari sebesar 88,89 kg/cm² , serta campuran 15% diperoleh nilai kuat tekan untuk umur 14 hari sebesar 70,71 kg/cm² , dan umur 28 hari sebesar 62,22 kg/cm² . Berdasarkan</p>	<p>lentur beton 6,801 MPa. Nilai kuat tekan beton variasi kadar 3% rata-rata usia 28 hari diperoleh sebesar 27,079 MPa dan kuat lentur beton 5,977 MPa. Nilai kuat tekan beton variasi kadar 7% rata-rata usia 28 hari diperoleh sebesar 25,804 MPa dan kuat lentur beton 5,088 MPa. Nilai kuat tekan beton variasi kadar 10% rata-rata usia 28 hari diperoleh sebesar 24,135 MPa dan kuat lentur beton 4,128 MPa. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk gypsum kedalam campuran beton dapat mengurangi nilai kuat tekan dan kuat lentur beton.</p>
--	---	--	--	--	---

	<p>Sedangkan nilai bleeding tertinggi sebesar 22,5ml terdapat pada variasi limbah gypsum 5% dengan tempurung kelapa 10%.</p>	<p>gypsum terhadap campuran beton, maka nilai kuat tekan beton semakin naik.</p>	<p>nilai kuat tekan beton limbah gypsum 0%, 5% dan 10% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 42,95 Mpa, 39,93 Mpa dan 34,02 Mpa. Hal ini dikarenakan bertambahnya berat limbah gypsum dan menyebabkan berkurangnya berat semen.</p>	<p>hasil di atas, pada penambahan limbah gypsum dengan persentase 5%, 10%, dan 15% terhadap campuran beton tidak mengalami penambahan nilai kuat tekan beton.</p>	
--	--	--	---	---	--

BAB III

LANDASAN TEORI

4.1 Beton

Beton merupakan suatu campuran yang terdiri dari kerikil, pasir, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbentuk dari semen dan air sehingga membentuk suatu massa yang mirip dengan batuan. Seiring bertambahnya umur, beton akan semakin keras dan mencapai kekuatan rencana (f^c) pada usia 28 hari. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain bahan-bahan pada campuran beton, cara persiapan, perawatan beton, dan kondisi pada saat dilakukan percobaan. Masing-masing bahan campuran beton mempunyai variasi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor alami yang tidak dapat dihindari, dengan cara mengetahui sifat-sifat baku beton, maka dapat diketahui kebutuhan bahan baku dan kekuatan yang dididapatkannya. Untuk membuat beton bukan merupakan hal yang mudah seperti mencampurkan bahan-bahan dasar pembentuk campuran beton yang dilakukan pada pembangunan infrastruktur yang sederhana. Dibutuhkan perhitungan yang baik dan matang untuk membuat beton dengan kualitas dan mutu yang baik sesuai persyaratan.

Beton mempunyai kelebihan dibandingkan dengan material lainnya, Adapun kelebihan dari beton yaitu :

1. Beton dapat menahan gaya tekan dengan baik dan mempunyai sifat tahan korosi oleh kondisi sekitar.
2. Mampu memikul beban yang berat.
3. Tahan terhadap api.
4. Biaya pemeliharaan yang terjangkau dibandingkan material lainnya.
5. Dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
6. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.

Beton juga mempunyai kelemahan atau kekurangan, antara lain :

1. Memiliki volume yang tidak stabil
2. Bentuk yang telah dicetak sulit diubah.
3. Mempunyai kuat tarik yang rendah sehingga mudah retak, maka dari itu perlu diberi baja tulangan.
4. Pada saat pengerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
5. Produksi beton yang memiliki biaya tinggi karena pemasangan memerlukan peralatan dan tenaga kerja yang spesialis.

4.2 Semen Portland

Menurut Standar Industri Indonesia (SII 0013-1981), Semen Portland merupakan semen hidraulis yang dibuat dengan cara menghaluskan semen setengah jadi (klinker) yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis Bersama bahan-bahan yang biasa digunakan yaitu gypsum. Semen yang dicampurkan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan pasir (agregat halus) dan air akan menjadi suatu adukan yang disebut mortar. Apabila ditambah dengan kerikil (agregat kasar) akan terbentuk adukan yang disebut beton.

Komposisi kimia semen portland umumnya terdiri dari CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 , yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksidan yang lainnya jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen yaitu MgO , SO_3 , Na_2O , dan K_2O . Dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Semen

Komposisi	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
Silica (SiO_2)	7 – 25
Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
Magnesium (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO_3)	1 – 2
Potash ($\text{Na}_2+\text{K}_2\text{O}$)	0,5 – 1

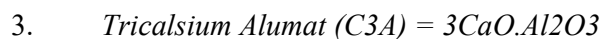
Keempat oksida utama tersebut di dalam semen berupa senyawa C3S, C2S, C3A, dan C4AF, dengan mempunyai perbandingan pada setiap produk semen, tergantung jumlah komposisi bahan bakunya. Senyawa kimia dari semen portland merupakan tidak stabil secara termodinamis, oleh karena itu sangat cenderung bereaksi dengan air. Apabila semen dibiarkan terbuka, maka semen dapat mengeras dikarenakan senyawa tersebut bereaksi dengan uap air yang berada di udara. Keempat unsur tersebut yaitu :



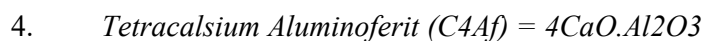
Senyawa ini dapat mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepas panas, kuantitas, dan kualitas yang terbentuk dalam ikatan penentuan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya pada 14 hari pertama.



Senyawa ini berlangsung secara perlahan dengan proses lepas panas yang lambat, proses peningkatan kekuatan yang terjadi pada hari ke 14 sampai 28 dipengaruhi oleh senyawa tersebut, memiliki agresi kimia yang tinggi dan penyusutan yang rendah.



Senyawa ini terhidrasi dengan cepat disertai sejumlah panas, yang menyebabkan pengerasan dini, kurang tahan terhadap agresi kimiawi mudah berubah volume sehingga mengalami retak-retak. Senyawa ini jarang digunakan karena memberi sedikit pada kekuatan mortar.



Senyawa Aluminoforit kurang penting dikarenakan tidak banyak pengaruh untuk kekuatan dan sifat dari semen. Berdasarkan tujuan pemakaiannya semen portland dibagi menjadi 5 tipe, yaitu :

Tabel 3.2 Tipe-Tipe Semen

Tipe Semen	Tujuan
I	Semen portland untuk penggunaan pada umumnya yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
II	Semen portland untuk penggunaan memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi tingkat sedang
III	Semen portland untuk penggunaan yang menuntut kekuatan awal yang tinggi
IV	Semen portland untuk penggunaan yang menuntut persyaratan panas hidrasi tingkat rendah
V	Semen portland untuk penggunaan yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butiran agregat menjadi satu dengan padat dan kompak. Pasta semen juga berfungsi untuk mengisi rongga yang berada diantara butir-butir agregat. Walaupun volume semen hanya sekitar 10% dari volume beton, tetapi semen juga memiliki fungsi yang sangat penting, yaitu sebagai bahan perekat yang aktif dan mempunyai nilai jual yang lebih mahal dibandingkan bahan dasar penyusun beton yang lain, maka dari itu perlu diperhatikan penggunaannya secara baik-baik.

3.3 Air

Air merupakan salah satu bahan yang dibutuhkan untuk proses kimia pada semen untuk membentuk pasta semen. Dalam pembuatan beton, air menjadi salah satu faktor yang penting sebagai bahan yang dapat bereaksi dengan semen. Dengan

mencampurkan air dengan semen dapat menjadi pasta semen dan mengikat agregat. Air berpengaruh pada kuat tekan beton karena jumlah air pada semen berlebihan dapat menyebabkan penurunan kekuatan pada beton.

Air campuran semen menyebabkan proses hidrasi dengan semen yaitu reaksi kimia antara semen dengan air yang dapat menyebabkan campuran tersebut menjadi keras setelah melewati kurun waktu tertentu. Air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi sekitar 20% dari berat semen, karena faktor ekonomis jumlahnya diletakkan dengan takaran yang sudah diperhitungkan. Proses hidrasi terjadi jika menggunakan air yang tawar. Air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung garam, minyak, zat organik dan bahan lainnya yang dapat merusak kualitas dan mutu beton.

Pengaruh penggunaan air pada campuran beton mempengaruhi beberapa faktor antara lain :

1. Besar kecilnya nilai susut beton.
2. Perawatan pada beton yang berguna untuk menjamin proses pengerasan yang baik.
3. Sifat *workability* pada adukan beton.

Penggunaan air pada campuran beton harus memenuhi persyaratan (Tjokrodinuljo, 2007) sebagai berikut yaitu tidak mengandung zat seperti asam atau garam yang dapat merusak beton.

3.4 Agregat

Agregat merupakan butiran alami atau buatan yang mempunyai fungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Persentase agregat sekitar 70% dari volume beton, pengaruh terhadap kualitas maupun sifat beton cukup besar, oleh karena itu pemilihan agregat merupakan hal yang sangat penting dalam pembuatan beton (Wahyudi, 2014). Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam memilih agregat yang akan digunakan seperti ukuran dan bentuk butiran pada jenis batuan yang digunakan. Berdasarkan butiran, agregat dibagi menjadi 2 jenis yaitu agregat kasar (kerikil/batu) dan agregat halus (pasir). Volume agregat beton biasanya terdapat 70% sampai dengan 80% dari volume beton, maka dari itu agregat

mempunyai peran yang sangat penting dalam kelengkapan suatu beton (Mindess, 2003).

Agregat pada umumnya dibagi menjadi 3 kelompok menurut (Tjokrodinuljo, 2007), yaitu :

1. Pasir, untuk butiran 0.15 mm sampai 5 mm.
2. Kerikil, untuk butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.

Agregat yang akan digunakan harus dalam kondisi yang kuat, baik, bersih, dan memiliki gradasi yang baik. Gradasi agregat adalah pembagian ukuran kekerasan butiran pada agregat. Gradasi didapatkan setelah hasil pengayakan dengan ukuran saringan ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm untuk agregat kasar (batu/kerikil). Gradasi agregat halus (pasir) memiliki ukuran saringan dari 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm. Untuk membedakan jenis agregat yang mudah yaitu pada ukuran butiran. Jika lebih besar dari 4,75 mm maka masuk jenis agregat kasar, jika ukuran butiran kurang dari 4,75 mm maka masuk jenis agregat halus.

3.4.1 Agregat Halus

Agregat halus yaitu agregat yang lolos pada saringan ayakan 4,75 mm. Agregat halus untuk beton berupa pasir alami, hasil pecahan dari batuan alami, atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari mesin pemecah batu yang biasa disebut abu batu.

Persyaratan batas-batas susunan butir pada agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Batas Susunan Butir Agregat Halus

Ukuran ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang melewati ayakan (%)			
	I	II	III	IV
9.6	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100

Lanjutan Tabel 3.3 Persyaratan Batas Susunan Butir Agregat Halus

0.6	15-34	35-39	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

(sumber : Tjokrodimuljo, 2007)

Keterangan :

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

Agregat halus (pasir) harus memiliki persyaratan-persyaratan menurut (PBI, 1971) BAB 3.3 sebagai berikut :

1. Terdiri dari butiran yang keras dan tajam, butiran tersebut sifatnya kekal atau tidak pecah yang diakibatkan oleh cuaca seperti air hujan dan terik matahari.
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, jika kandungan lumpur lebih dari 5% maka agregat harus dicuci dahulu.
3. Agregat halus disusun oleh butiran yang ukurannya beraneka ragam, jika disaring sesuai dengan susunan saringan yang terdapat pada pasal 3.5 ayat 1 dengan syarat :
 - a. Sisa saringan 4 mm minimal 2% dari berat,
 - b. Sisa saringan 1 mm minimal 10% dari berat, dan
 - c. Sisa saringan 0.25 mm harus sekitar 80% sampai 90% dari berat.

3.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu agregat yang berukuran lebih dari 5 mm, agregat ini butiran-butirannya yang dapat tertahan pada saringan 4,75 mm. Agregat kasar yang baik terdiri dari butiran-butiran kasar pada permukaan yang kasar serta bentuknya tidak pipih. Agregat kasar harus tetap bersih tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dan tidak mengandung zat-zat yang dapat merusak beton. Tabel di bawah ini merupakan batas susunan butiran agregat kasar.

Tabel 3.4 Persyaratan Batas Susunan Butir Agregat Kasar

Ukuran ayakan (mm)	Persentase berat yang lewat ayakan (%)		
	Ukuran agregat (mm)		
	40	20	10
38.1	95-100	100	-
19	37-70	95-100	100
9.5	10-40	30-60	50-85
4.8	0-5	0-10	0-10

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), agregat kasar yang dipakai harus memenuhi syarat yaitu agregat kasar harus berupa butiran keras dan tidak berpori, bersih dari zat organik, tidak mengandung lumpur lebih dari 1%, dan memiliki bentuk tajam dan tidak pipih.

3.4.3 Pengujian Agregat Halus

Pengujian ini mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, kandungan lumpur, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

1. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

a. Penyerapan Air

adalah perbandingan antara berat air yang diserap pori-pori terhadap berat agregat kering. Dibawah ini merupakan persamaan penyerapan air :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{Bj-}{Bk} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

$Bj-$ = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jeniuh (gram)

b. Berat Jenis Curah

adalah perbandingan berat agregat kering oven dengan air suling yang berisi bahan sama dengan agregat dalam keadaan jenuh suhu tertentu.

Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis curah :

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B+Bj-} \quad (3.2)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

B = Berat Piknometer Berisi Air (garam)

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji dan Air (gram)

Bj = Berat benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

c. Berat Jenis Kering Permukaan

adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan air suling yang berisi bahan sama dengan agregat dalam keadaan jenuh di suhu tertentu. Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis kering permukaan :

$$\text{Berat Jenis Kering Permukaan} = \frac{Bj}{B+Bj-} \quad (3.3)$$

Keterangan :

B = Berat Piknometer Berisi Air (gram)

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji dan Air (garam)

Bj = Berat Benda Uji Keadaan Kering Permukaan Jenuh (gram)

d. Berat Jenis Semu

adalah perbandingan berat agregat kering dan air suling yang berisi bahanyang sama dengan agregat dalam keadaan kering di suhu tertentu. Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis semu :

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.4)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

B = Berat Piknometer Berisi Air (gram)

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda dan Air (gram)

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Pengujian ini mempunyai tujuan agar mendapatkan klasifikasi agregat halus yang berdasarkan butirannya. Dibawah ini merupakan persamaan modulus halus butir :

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.5)$$

3. Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan 200)

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan persentase kandungan lumpur dalam pasir yang lolos tahap penyaringan No 200 (0.075 mm). Dibawah ini merupakan persamaan kandungan lumpur.

$$\text{Kandungan Lumpur} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \quad (3.6)$$

$W1$ = Berat Benda Uji Kering Sebelum dicuci (gram)

$W2$ = Berat Benda Uji Setelah dicuci (gram)

4. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat halus yang berdasarkan berat volume. Berat volume yaitu nilai indeks yang berasal dari massa agregat per satuan dalam kondisi gembur maupun padat. Dibawah ini merupakan persamaan berat volume agregat halus :

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.7)$$

W = Berat Agregat (gram)

V = Volume Tabung (cm^3)

3.4.4 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian ini mencakup uji berat jenis dan penyerapan air, modulus halus butir, dan berat volume

1. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

a. Penyerapan Air

adalah perbandingan antara berat air yang diserap pori-pori terhadap berat agregat kering. Dibawah ini merupakan persamaan penyerapan air :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

Bj = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jeniuh (gram)

b. Berat Jenis Curah

adalah perbandingan berat agregat kering oven dengan air suling yang berisi bahan sama dengan agregat dalam keadaan jenuh suhu tertentu. Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis curah :

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.9)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji dan Air (gram)

Bj = Berat benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh (gram)

c. Berat Jenis Kering Permukaan

adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan air suling yang berisi bahan sama dengan agregat dalam keadaan jenuh di suhu tertentu. Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis kering permukaan :

$$\text{Berat Jenis Kering Permukaan} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3.10)$$

Keterangan :

Bj = Berat Benda Uji Keadaan Kering Permukaan Jenuh (gram)

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air (gram)

d. Berat Jenis Semu

adalah perbandingan berat agregat kering dan air suling yang berisi bahan yang sama dengan agregat dalam keadaan kering di suhu tertentu. Dibawah ini merupakan persamaan berat jenis semu :

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (3.11)$$

Keterangan :

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air (gram)

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Pengujian ini mempunyai tujuan agar mendapatkan klasifikasi agregat halus yang berdasarkan butirannya. Dibawah ini merupakan persamaan modulus halus butir :

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.12)$$

3. Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat kasar yang berdasarkan berat volume. Berat volume yaitu nilai indeks yang berasal dari massa agregat per satuan dalam kondisi gembur maupun padat. Di bawah ini merupakan persamaan berat volume agregat halus :

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.13)$$

W = Berat Agregat (gram)

V = Volume Tabung (cm^3)

3.5 Serbuk Gypsum

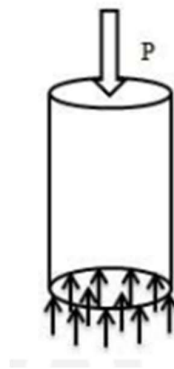
Gypsum merupakan salah satu contoh mineral yang kadar kalsiumnya mendominasi mineralnya. Gypsum yang paling sering ditemukan yaitu jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. manfaat dari penggunaan gypsum yaitu (Sutejo, dkk, 2015).

1. Gypsum dapat meningkatkan kualitas stabilitas tanah organik, hal tersebut dikarenakan gypsum mengandung kalsium yang dapat mengikat tanah organik terhadap tanah lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
2. Gypsum dapat meningkatkan kecepatan rembesan air karena lebih menyerap banyak air.
3. Gypsum salah satu bahan pembuatan Semen Portland
4. Gypsum yang dicampurkan tanah lempung dapat mengurangi keretakan, hal tersebut dikarenakan sodium pada tanah digantikan oleh kalsium pada gypsum sehingga proses pengembangannya kecil.
5. Gypsum digunakan sebagai tambahan perkerasan untuk bahan bangunan.

3.6 Pengujian Beton

3.6.1 Uji Tekan

Kuat tekan yaoutu besarnya beban per satuan luas yang dapat menyebabkan benda uji beton hancur bila diberikan gaya tekan tertentu. Kuat tekan beton sangat berhubungan dengan sifat lainnya, jika nilai kuat tekan sudah tinggi, maka sifat yang lain juga mengikuti lebih baik pula. Dibawah ini merupakan alat uji untuk pengujian kuat tekan beton *Compression Testing Machine* (CTM).



Gambar 3.1 Uji Kuat Tekan

(Sumber : Padomuan Pane et al, 2015)

Kuat tekan beton tersebut diketahui dari perbandingan agregat halus dan kasar, perbandingan semen, air, dan campuran yang lainnya. Nilai kuat tekan beton mencapai 100 kg/cm^2 bahkan bisa lebih tergantung jenis campuran, kualitas perawatan beton, dan sifat agregatnya. Nilai kuat tekan beton biasanya yang umum digunakan yaitu 200 kg/cm^2 sampai dengan 500 kg/cm^2 . Berdasarkan SNI 03-1974-1990 nilai kuat tekan beton dihitung dengan rumus dibawah ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.14)$$

Keterangan :

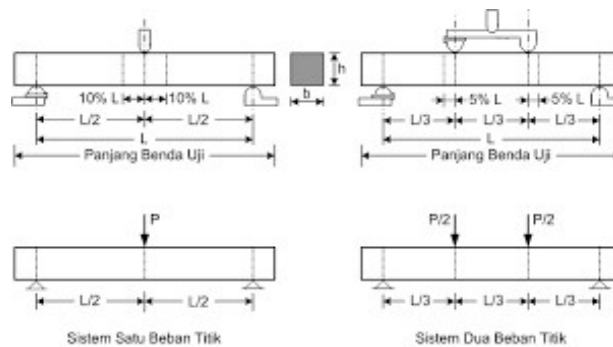
$f'c$ = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)

3.6.2 Uji Lentur

Uji berikut mempunyai tujuan untuk mengetahui kemampuan beton yang diletakkan pada dua tempat untuk menahan benda uji dengan arah tegak lurus sumbu sehingga benda uji mengalami patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya setiap satuan luas (SNI 03-4431-1997). Belok yang diberi beban mengalami perubahan bentuk atau deformasi yang mengakibatkan momen lentur. Momen lentur menyebabkan perlawanan pada material terhadap beban luar dan menunjukkan tegangan saat balok deformasi sehingga tidak dapat dilewati tegangan lentur dari beton.



Gambar 3.2 Uji Kuat Lentur

Kuat lentur nilai angka yang ditulis pada saat pengujian yaitu nilai beban P saat sampel benda uji telah hancur. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mencari nilai tegangan hancur :

1. Pembebanan 1 Titik

- a. Patah di tengah benda uji

$$f_{lt} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (3.15)$$

- b. Tidak patah di tengah dan jarak antara titik patah beban <10%

$$f_{lt} = \frac{3 \times P \times C}{b \times h^2} \quad (3.16)$$

2. Pembebanan 2 Titik

- a. Patah di pusat (1/3 jarak titik perletakan)

$$f_{lt} = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (3.17)$$

- b. Patah di luar pusat (di luar 1/3 jarak titik perletakan) dan jarak antara titik patah dan pusat beban <5% dari jarak perletakan.

$$flt = \frac{3 \times P \times c}{b \times h^2} \quad (3.18)$$

- c. Apabila jarak poin $b > 5\%$ dari jarak titik perletakan maka hasil uji tidak digunakan.

Keterangan

flt = Kuat lentur (MPa)

P = Beban maksimal yang diberikan ke benda uji (N)

L = Panjang antar tumpuan benda uji (mm)

b = Lebar tampang lintang patah (mm)

h = Tinggi tampang lintang patah (mm)

c = Jarak rata-rata antara tumpuan terdekat dan lintang patah (mm)

3.7 Korelasi

Korelasi mengacu pada hubungan antara berbagai parameter seperti kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton. Korelasi digunakan untuk memahami bagaimana karakteristik beton berinteraksi dan bagaimana perubahan pada satu sifat dapat mempengaruhi sifat lainnya.

Kuat tekan beton mempunyai korelasi dengan kuat tekan beton, yakni semakin tinggi nilai kuat tekan beton maka semakin tinggi kuat lentur (Samosir, 2020). Berdasarkan SNI 2874-2019, diketahui bahwa kekuatan lentur beton setara dengan $0,62\sqrt{f'c}$. Korelasi yang didapatkan bervariasi tergantung komposisi campuran, bahan tambah yang digunakan, dan kondisi pada saat *curing*.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Objek utama pada penelitian ini yaitu perbandingan beton normal dan beton variasi dengan bahan tambah serbuk gypsum sebagai bahan tambah semen dengan persentase masing-masing 0%, 3%, 7%, dan 10% dari berat beton normal. Kemudian dilakukan uji kuat tekan pada umur beton 28 hari. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berpengaruh dari penggunaan bahan tambah serbuk gypsum terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.

4.2 Bahan-Bahan

Dibawah ini merupakan bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan benda uji :

1. Semen Portland

Semen merupakan bahan pengikat yang digunakan untuk pembangunan pada sektor konstruksi. Pada penelitian ini digunakan semen portland dengan merk Dynamix.



Gambar 4.1 Semen Portland Dynamix

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan didapatkan dari sungai progo, kemudian dilakukan uji agregat halus guna mendapatkan modulus halus butir dan berat volume pada kondisi permukaan kering (SSD).



Gambar 4.2 Agregat Halus Pasir

3. Agregat Kasar

Agregat Kasar yang digunakan berdiameter maksimum 20 mm berasal dari sebelum agregat kasar digunakan, agregat tersebut dicuci terlebih dahulu kemudian dipisah menggunakan ayakan. Kemudian dilakukan penelitian untuk mengetahui berat dan jenis volume dalam keadaan SSD.



Gambar 4.3 Agregat Kasar Kerikil

4. Air

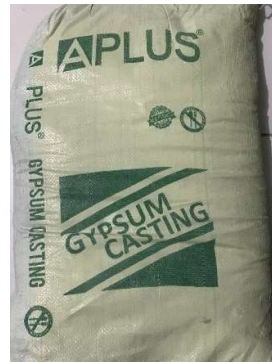
Air yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Air digunakan untuk mencampur beton, mencuci agregat halus dan kasar, dan perawatan benda uji beton. Spesifikasi air yang digunakan yaitu jernih, bersih, tidak berwarna, dan tidak berbau.



Gambar 4.4 Air

5. Serbuk Gypsum

Serbuk Gypsum yang digunakan berasal dari Jaya Utama Gypsum yang berada di Tlrenggo, Bantul, DIY.



Gambar 4.5 Serbuk Gypsum

4.3 Peralatan

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan pada penelitian ini :

1. Saringan Agregat

Ayakan agregat yang digunakan memiliki tujuan yaitu untuk memisahkan agregat-agregat yang sesuai dengan ukurannya.

2. Cetakan

Cetakan yang digunakan yaitu cetakan berbentuk silinder dan balok, cetakan silinder digunakan untuk mencetak benda uji untuk pengujian kuat tekan beton, dan cetakan balok digunakan untuk mencetak benda uji untuk pengujian modulus elastisitasnya.

3. Mesin Pengaduk (Mixer)

Mesin pengaduk digunakan untuk proses pengadukan semen agar semen dan agregat lainnya dapat tercampur dengan baik.

4. Ember

Ember digunakan untuk memuat material seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan air.

5. Kereta Sorong

Kereta sorong digunakan untuk mempermudah pekerjaan pada saat pemindahan material dan benda uji.

6. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat dari sampel uji dan material lainnya.

7. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan material seperti agregat halus dan agregat kasar. Oven digunakan pada penyerapan air agregat dan pengujian berat jenis.

8. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk digunakan untuk meratakan cetakan beton yang berada di dalam cetakan atau di dalam silinder dan kotak.

9. Piknometer

Piknometer digunakan untuk mengukur massa jenis agregat halus.

10. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang, diameter, dan tebal dari sampel benda uji.

11. Sendok Semen

Sendok semen digunakan untuk memindahkan dan meratakan campuran beton pada cetakan silinder.

12. Mesin Penggetar Saringan

Mesin penggetar saringan digunakan untuk menggetarkan saringan agar material terpisahkan sesuai ukuran dari ayakan.

13. Mesin Uji Tekan CTM (Compression Testing Machine)

Alat ini digunakan untuk mengetahui kekuatan beton pada saat uji kuat tekan beton.

14. Mesin Uji Lentur UTM (Universal Testing Machine)

Alat ini digunakan untuk mengetahui kekuatan beton pada saat uji kuat lentur.

4.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dimulai dari mempersiapkan bahan, pembuatan benda uji, pengujian bahan, dan pengujian benda uji kuat tekan dan kuat lentur yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.5 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini berupa beton dengan campuran serbuk gypsum. Pada uji kuat tekan beton menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Untuk pengujian kuat lentur beton menggunakan balok berukuran (60x15x15 cm).

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji

Variasi	Umur Beton	Jumlah Benda Uji	
		Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Lentur
0%	28 Hari	10	5
3%		10	5
7%		10	5
10%		10	5
Jumlah		40	20
		60	

4.6 Proses Pelaksanaan Penelitian

4.6.1 Proses Persiapan dan Pemeriksaan Bahan

Berikut tahapan yang perlu dilakukan pada proses persiapan dan pemeriksaan bahan :

1. Proses Persiapan

Memperiapkan peralatan-peralatan dan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk penelitian, seperti semen, agregat halus, agregat halus, serbuk gypsum, dan air.

2. Proses Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan pada penelitian ini ada beberapa pengujian awal yaitu

a. Berat Jenis Agregat Halus

Tahap-tahap yang harus dilakukan pada pengujian berat jenis agregat halus yaitu :

- 1) Mempersiapkan benda uji pasir yang lolos melalui saringan No. 4 (4,75 mm) dengan berat 500 gram.
- 2) Benda uji dikeringkan di oven menggunakan suhu (110)°C sampai berat benda uji tetap. Berat benda uji tetap yaitu saat 3 kali proses penimpangan dan pemanasan di dalam oven dengan selang waktu 2 jam, tidak berubah kadar air lebih dari 0,1 %. Setelah itu benda uji didinginkan di suhu ruang dan direndam air selama 24 jam.
- 3) Air bekas rendaman dibuang hati-hato jangan sampai butiran-butiran terbuang, agregat diletakkan di atas talam lalu dikeringkan di udara panas sesekali benda uji dibolak-balik sampai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
- 4) Pemeriksaan keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji di kerucut terpancung, kemudian dipadatkan menggunakan penumbuk sebanyak 25 kali lalu diratakan permukaannya. Menagngkat kerucut terpancung jika telah mencapai kondisi kering permukaan jenuh.

- 5) Benda uji dimasukkan dengan berat 500 gram jika sudah dalam keadaan SSD, kemudian air suling dimasukkan lalu diguncang-guncang sampai tidak ada gelembung udara di dalamnya.
 - 6) Piknometer direndam di dalam air kemudian diukur suhu air guna menyesuaikan perhitungan suhu standar 25°C.
 - 7) Menambahkan air sampai mencapai tanda batas atasnya.
 - 8) Menimbang piknometer berisi benda uji dan air sampai ketelitian 0,1 (Bt).
 - 9) Mengeluarkan benda uji dari piknometer lalu dikeringkan dalam oven menggunakan suhu 110°C sampai berat tetap kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
 - 10) Menimbang benda uji saat benda uji sudah dingin.
 - 11) Menimbang berat piknometer yang berisi air lalu ukur suhu air untuk menyesuaikan terhadap suhu air standar 25°C.
- b. Modulus Halus Butir Agregat Halus
- Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian modulus halus butir agregat halus yaitu :
- 1) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap.
 - 2) Benda uji dikeluarkan kemudian didinginkan pada suhu kamar kurang lebih 1 jam.
 - 3) Timbang benda uji sebanyak 200 gram setelah benda uji kering.
 - 4) Susun saringan sesuai ukuran dari atas ke bawah lalu benda uji dimasukkan dan di saring dengan mesin penggoyang selama 10-15 menit.
 - 5) Keluarkan benda uji dari masing-masing saringan lalu pindahkan ke masing-masing talem kemudian timbang dan catat berat benda uji yang tertahan tiap saringan. Bersihkan saringan

menggunakan sikat jika lubangnya besar dan gunakan kuas jika lubangnya halus atau kecil.

c. Kandungan Lumpur (Lolos Saringan 200)

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kasar lumpur yaitu :

- 1) Benda uji yang dipakai keadaan kering oven.
- 2) Letakkan benda uji dalam saringan lalu aliri air di atasnya.
- 3) Gerakkan benda uji di dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras sampai bagian yang halus menembus saringan no. 200 dan bagian kasar tertinggal.
- 4) Ulangi langkah tersebut hingga pencucian bersih.
- 5) Keringkan benda uji di dalam oven pada suhu 110°C sampai berat tetap kemudian timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

d. Berat Jenis Agregat Kasar

Berikut langkah-langkah pengujian berat jenis agregat kasar yaitu:

- 1) Siapkan benda uji dan agregat yang tertahan saringan no. 4 (4,75 mm) sebanyak 5000 gram.
- 2) Cuci benda uji guna menghilangkan debu dan bahan-bahan lain yang melekat di permukaan saringan.
- 3) Keringkan benda uji di dalam oven dengan suhu 110°C hingga berat tetap.
- 4) Keluarkan benda uji kemudian dinginkan pada suhu kamar selama kurang lebih 1 jam. Lalu timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- 5) Rendam benda uji di dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
- 6) Keluarkan benda uji dari dalam air kemudian lap dengan kain yang dapat menyerap hingga selaput air permukaan benda uji hilang.

7) Apabila benda uji sudah dalam kondisi SSD, kemudian timbang kering permukaan jenuh benda uji.

8) Letakkan benda uji dalam keranjang air, lalu goncangkan batu untuk mengeluarkan udara di dalamnya dan tentukan berat dalam air (B_a), lalu ukur suhu airnya guna menyesuaikan perhitungan pada suhu standar 25°C .

9) Masukkan benda uji ke dalam talam lalu masukkan ke dalam oven. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,1 gram (B_k).

e. Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian modulus halus butir agregat halus yaitu :

1) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap.

2) Benda uji dikeluarkan kemudian didinginkan pada suhu kamar kurang lebih 1 jam.

3) Timbang benda uji sebanyak 5000 gram setelah benda uji kering.

4) Susun saringan sesuai ukuran dari atas ke bawah lalu benda uji dimasukkan dan di saring dengan mesin penggoyang selama 10-15 menit.

5) Keluarkan benda uji dari masing-masing saringan lalu pindahkan ke masing-masing talam kemudian timbang dan catat berat benda uji yang tertahan tiap saringan. Bersihkan saringan menggunakan sikat jika lubangnya besar dan gunakan.

f. Modulus Halus Butir Agregat Halus dan Agregat Kasar

Berikut langkah dalam pengujian berat volume agregat kasar dan agregat halus yaitu :

1) Benda uji yang digunakan dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD)

- 2) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar, untuk pengujian berat volume gember masukkan benda uji ke dalam cetakan silinder hingga terisi penuh tanpa dipadatkan. Sedangkan untuk uji berat volume padat masukkan benda uji ke dalam cetakan silinder, tiap 1/3 bagian tumbuk sebanyak 25 kali hingga volume silinder terisi penuh.
- 3) Silinder yang berisi benda uji ditimbang kemudian catat beratnya.
- 4) Hitung volume dari cetakan silinder.

4.6.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Penelitian perencanaan campuran beton (*mix design*) ini menggunakan SNI 2834-2000. Melakukan pembuatan benda uji setelah selesai menghitung komposisi campuran, dan menggunakan alat dan bahan kondisi yang terbaik. Berikut merupakan urutan dalam menghitung campuran beton yaitu :

1. Menentukan nilai deviasi standar (ds)

Nilai deviasi standar diterapkan berdasarkan tingkatan mutu pengendalian pelaksanaan campuran beton segar. Semakin baik mutu pelaskanaannya makan semakin kecil nilai deviasi standarnya.

Perlu dikoreksi nilai deviasi standar dengan faktor pengali jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah. Dibawah ini merupakan Tabel 4.2

Tabel 4.2 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi
<15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber : SNI-03-2834-2000

Apabila jumlah data hasil uji <15, maka nilai tambah (M) yang dipakai tidak kurang dari 12 MPa.

2. Menghitung nilai tambah untuk kuat tekan rencana (M)

$$M = 1,64 \times s_d \times k \quad (4.1)$$

Keterangan :

M : Nilai tambah

1,64 : Nilai tetap statistik yang nilainya bergantung pada besarnya persentase kegagalan maks 5%

K : Faktor pengali deviasi standar yang didapatkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

Jumlah Data	≥ 30	25	20	15	≤ 15
Faktor Pengali	1,00	1,03	1,08	1,15	-

Apabila benda uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) yang digunakan tidak kurang dari 12 MPa.

3. Mencari nilai kuat tekan beton rata-rata rencana (f'_{cr})

Menghitung nilai kuat tekan beton rencana ditentukan sesuai persyaratan dan ketentuan pada rencana struktur sesuai dengan keadaan lokasi setempat. Nilai kuat tekan beton rencana yaitu nilai kuat tekan beton dengan perkiraan yang lebih rendah dari nilai yang didapatkan sebesar 5%. Kemudian menentukan nilai kuat tekan beton rencana menggunakan persamaan dibawah ini.

$$F'_{cr} = f'_c + M \quad (4.2)$$

Keterangan :

f'_{cr} : Nilai kuat tekan rata-rata rencana (MPa)

f'_c : Nilai kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M : Nilai tambah (MPa)

4. Menetapkan jenis agregat dan semen yang akan digunakan.

5. Menetapkan nilai faktor air semen (FAS)

Untuk menetapkan nilai faktor air semen yang berdasarkan kuat tekan rata-rata rencana yang diinginkan dari jenis semen yang akan digunakan.

Tabel 4.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (Kg)	Nilai Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non koresif	275	0,60
b. Keadaan keliling koresif karena kondensasi atau uap koresif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari terik matahari langsung dan hujan	325	0,60
b. Terlindung dari terik matahari langsung dan hujan	275	0,60
Beton yang masuk ke tanah		
a. Mengalami kondisi kering dan basah secara bergantian	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkasi dari tanah		Tabel a
Beton yang berkelanjutan berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel b

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Keterangan :

Tabel a : Ketentuan beton yang berhubungan air tanah mengandung sulfat dan alkali dapat dicari pada SNI 03-2834-2000.

Tabel b : Ketentuan minimum beton bertulang tahan air dapat dicari pada SNI 03-2834-2000.

Dalam menentukan kuat tekan beton 28 hari yang sesuai dengan agregat dan semen yang digunakan seperti tabel 4.6 yang menunjukkan perkiraan kuat tekan beton dengan FAS senilai 0,5.

Tabel 4.5 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen : 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (Mpa)				Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	95	
Semen Portland tipe I atau Semen Tahan Sulfat II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

6. Menetapkan nilai slump

Nilai slump yaitu nilai yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari suatu adonan beton segar. Tingkat kekentalan sangat berhubungan erat dengan tingkat kemudahan dalam pekerjaan (*workability*). Semakin tinggi nilai slump menandakan adukan beton tersebut semakin cair, maka lebih mudah untuk dikerjakan.

7. Menetapkan ukuran maksimum dari agregat yang akan digunakan.

8. Menetapkan kadar air bebas (Ks)

Kadar air bebas campuran agregat meliputi agregat dipecahkan dan tak dipecahkan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Kadar air bebas} : \frac{2}{3} \times Wh + \frac{1}{3} \times Wk \quad (4.3)$$

Keterangan :

Wh : Perkiraan jumlah air untuk agregat halus*Wk* : Perkiraan jumlah air untuk agregat kasarMendapatkan nilai *Wh* dan *Wk* didapatkan dari tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Perkiraan Kadar Air Bebas

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
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
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

9. Menghitung berat jenis relatif agregat

Perhitungan dapat diambil dari hasil pengamatan di laboratorium. Di bawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis agregat.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (4.4)$$

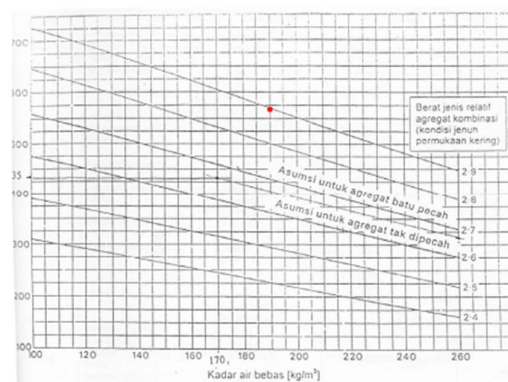
Keterangan :

BJ_{AG} : Berat jenis agregat gabunganBJ_{AH} : Berat jenis agregat halusBJ_{AK} : Berat jenis agregat kasar

%AH : Persentase agregat halus (%)

%AK : Persentase agregat kasar (%)

10. Menetapkan nilai berat isi beton berdasarkan gambar dibawah ini.

**Gambar 4.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Sudah Padat**

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Cara menggambarkan grafik diatas yaitu :

- a. Tarik garis sesuai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier pada grafik.
- b. Tarik garis arah vertikal hingga memotong garis yang sudah ditarik sebelumnya sesuai nilai kadar air bebas, kemudian tarik garis arah horizontal ke arah kiri pada potongan kedua garis tersebut, lalu catat hasilnya.

11. Menghitung nilai kadar agregat (Kag) menggunakan rumus :

$$Kag = W_{beton} - K_s - K_a \quad (4.5)$$

Keterangan :

Kag = Kadar agregat gabungan

W_{beton} = Berat isi beton

K_s = Kadar semen

K_a = Kadar air

12. Menghitung nilai kadar agregat halus (Kah) menggunakan rumus :

$$Kah = \frac{\% \text{agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan (Kag)} \quad (4.6)$$

Keterangan :

Kah = Kadar agregat halus

%AH = Persentase agregat halus

Kag = Kadar agregat gabungan

13. Menghitung kadar agregat kasar (Kak) menggunakan rumus :

$$Kak = Kag - Kah \quad (4.7)$$

Keterangan :

Kak = Kadar agregat kasar

Kag = Kadar agregat gabungan

Kah = Kadar agregat halus

14. Menghitung angka penyusutan 10% - 20%.
15. Menghitung berat bahan-bahan dalam tiap variasi beton.
16. Merangkum data hasil penelitian desain campuran beton (*mix design*).

4.6.3 Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. Kebutuhan *mix design* dihitung guna memperoleh komposisi bahan campuran yang tepat dan sesuai.
2. Semua bahan yang dibutuhkan seperti air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah yang dibutuhkan yaitu serbuk gypsum dipersiapkan terlebih dahulu.
3. *Mixer* dan talam baja untuk alat membantu pekerjaan campuran agregat disiapkan, kemudian alat dibasahi setelah itu dibersihkan dan pastikan alat tidak dalam keadaan kering, jika dalam kondisi kering alat akan meresap kebutuhan air dari sebagian campuran beton.
4. Setelah itu *mixer* dinyalakan, saat *mixer* berputar sebisa mungkin mesin dalam keadaan miring 45° , untuk mendapatkan adukan campuran beton yang merata.
5. Agregat kasar dimasukkan kedalam *mixer*, lalu agregat halus dimasukkan sebagian sebagian dan tunggu sampai agregat tercampur.
6. Semen dimasukkan perlahan.
7. Serbuk gypsum dimasukkan secara berkelanjutan ke dalam *mixer* sesuai dengan persentase yang sudah direncanakan.
8. Setelah semua tercampur merata, masukkan air sesuai dengan kebutuhan secara berkala dengan gelas ukur.
9. Setelah adukan tercampur merata, sebagian adukan beton dituang ke talam baja, kemudian dilakukan uji slump. Tujuan uji slump untuk mengetahui nilai slump beton sebelum ditambahkan bahan tambah serbuk gypsum.
10. Uji slump dilakukan menggunakan kerucut abrams dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm. Dilakukan dengan cara memasukkan adukan secara bertahap sebanyak $1/3$ dari isi cetakan kemudian ditumbuk secara rata 25 kali, usahakan tongkat masuk sampai ke bawah tiap lapisannya. Setelah penuh dengan campuran beton atasnya diratakan, kemudian

diamkan kurang lebih 30 detik. Setelah itu kerucut diangkat perlahan vertikal ke atas, lalu nilai slump diukur dengan membandingkan perbedaan tinggi kerucut abrams dengan tinggi benda uji.

11. Cetakan silinder atau balok yang akan digunakan disiapkan kemudian oleskan oli pada cetakan tersebut.
12. Adukan beton yang ada di *mixer* dituang seluruhnya ke beberapa ember.
13. Kemudian adukan beton yang ada pada ember dituang ke dalam cetakan silinder dan balok sesuai dengan kebutuhan. Masukkan menggunakan cetok atau sekop secara bertahap 1/3 bagian lalu tumbuk sebanyak 25 kali tiap 1/3 bagian. Kemudian dipukul sebanyak 10 sampai 15 kali pada bagian luar cetakan menggunakan palu karet guna menaikkan gelembung udara yang terdapat pada dalam cetakan.
14. Kemudian permukaan diratakan menggunakan cetok.
15. Adonan yang ada pada cetakan diletakkan pada tempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan.
16. Setelah 24 jam, adonan yang ada pada cetakan dibuka lalu diberikan kode benda uji agar tidak tertukar.
17. Rendam benda uji dalam bak perendaman yang berisi air bersih selama 27 hari.
18. Setelah melewati masa perendaman, dibutuhkan waktu pengeringan selama 1 hari.
19. Benda uji sudah siap diuji kuat tekan dan kuat lentur.

4.6.4 Proses Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji beton merupakan proses pekerjaan guna menjaga permukaan beton agar selalu lembab, mulai dari adukan beton yang dipadatkan hingga beton dianggap sudah cukup keras. Kelembapan permukaan harus dijaga untuk menjamin proses reaksi hidrasi semen terjadi secara maksimal. Apabila proses ini tidak dilaksanakan maka beton kurang kuat dan akan terjadi keretakan. Kelembapan permukaan juga membuat beton tahan terhadap cuaca dan lebih tahan terhadap air. Perawatan beton dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak berisi air.

Berikut merupakan cara perawatan beton yaitu :

1. Meletakkan beton segar dalam genangan yang berisi air,
2. Meletakkan beton segar pada ruangan yang lembab, dan
3. Menyelimuti permukaan beton menggunakan karung yang sudah dibasahi.

Benda uji tersebut dirawat dengan menjaga benda uji agar selalu lembab dan basah selama 1 hari sebelum pengujian. Dengan tersedianya air yang cukup untuk proses hidrasi penuh selama pencampuran dan pengerasan beton. Perawatan beton yang baik akan menjadikan beton lebih awet dari agresi kimia.

4.6.5 Proses Pengujian Benda Uji

Setelah proses perawatan benda uji dan mencapai umur rencana, maka benda uji siap untuk dilaksanakan pengujian. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan oleh peneliti.

1. Uji Kuat Tekan

Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat tekan.

- a. Menyiapkan benda uji yang akan diuji kuat tekan dari bak perendaman, kemudian benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel di benda uji menggunakan kain lap.
- b. Melakukan pengukuran dan penimbangan benda uji.
- c. Permukaan atas benda uji dilapisi dengan mortar belerang.
- d. Meletakkan benda uji pada mesin *Compression Testing Machine* (CTM) secara sentris.
- e. Menjalankan mesin dengan menambahkan beban konstan sekitar 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
- f. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur kemudian beban maksimum yang terjadi.
- g. Mencatat hasil dari pengujian tersebut.

2. Uji Kuat Lentur

Berikut merupakan langkah-langkah pengujian kuat lentur.

- a. Ukur dimensi penampang benda uji dan catat dengan alat jangka sorong.
- b. Benda uji ditimbang dan diukur dimensinya.

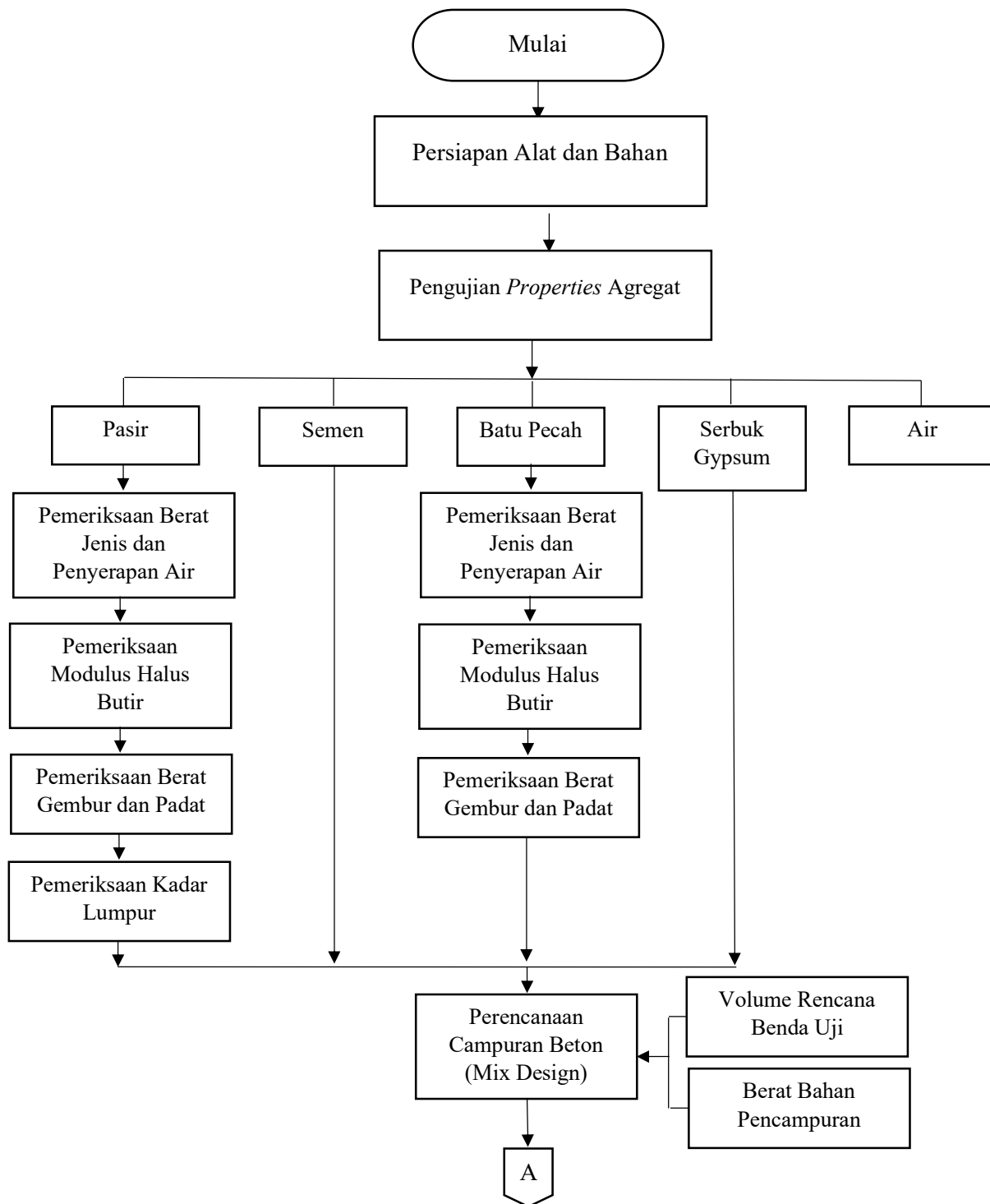
- c. Garis-garis melintang dibuat untuk tanda dari letak titik perletakan dan titik pembebanan, seperti :
 - menggaris sejauh 5% dari bentang, diluar titik perletakan beban, untuk sistem pembebanan 2 titik beban.
 - menggaris sejauh 10% dari bentang, diluar titik perletakan beban, untuk sistem pembebanan 1 titik beban.
- d. Blok tumpuan diletakkan pada atas meja mesin uji *Universal Testing Machine* (UTM) pada bagian bawah dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
- e. Meletakkan benda uji diletakkan di atas blok tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada saat pengecoran berada di samping.
- f. Meletakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan kebutuhan jumlah beban.
- g. Menyalakan mesin tekan dengan mengatur sudah mengatur titik benda uji dari mesin tekat pada tengah blok beban. Atur pembebanan sedemikian rupa agar tidak menimbulkan beban kejut.
- h. Jalankan kecepatan pembebanan secara berkelanjutan, pada pembebanan pada $\pm 50\%$ dari beban maksimum beban dengan perkiraan sebelumnya. Pembebanan dapat dipercepat lebih dari 6 KN/menit.
- i. Jika benda uji sudah patah, maka hentikan pembebanan kemudian catat hasil beban maksimumnya.
- j. Ambil benda uji yang telah selesai kemudian ukur dan catat tampak melintang patahan dengan ketelitian 0,25 mm minimal 3 tempat lalu ambil nilai rata-ratanya.
- k. Jarak rata-rata penampang melintang patahan dari tumpuan terdekat diukur kemudian catat pada empat lokasi pada bagian tariknya pada arah bentang lalu ambil nilai rata-ratanya.
- l. Perhatikan bidang yang patah apakah agregat patah, lepas ataupun kombinasi keduanya.

4.7 Pengolahan Data

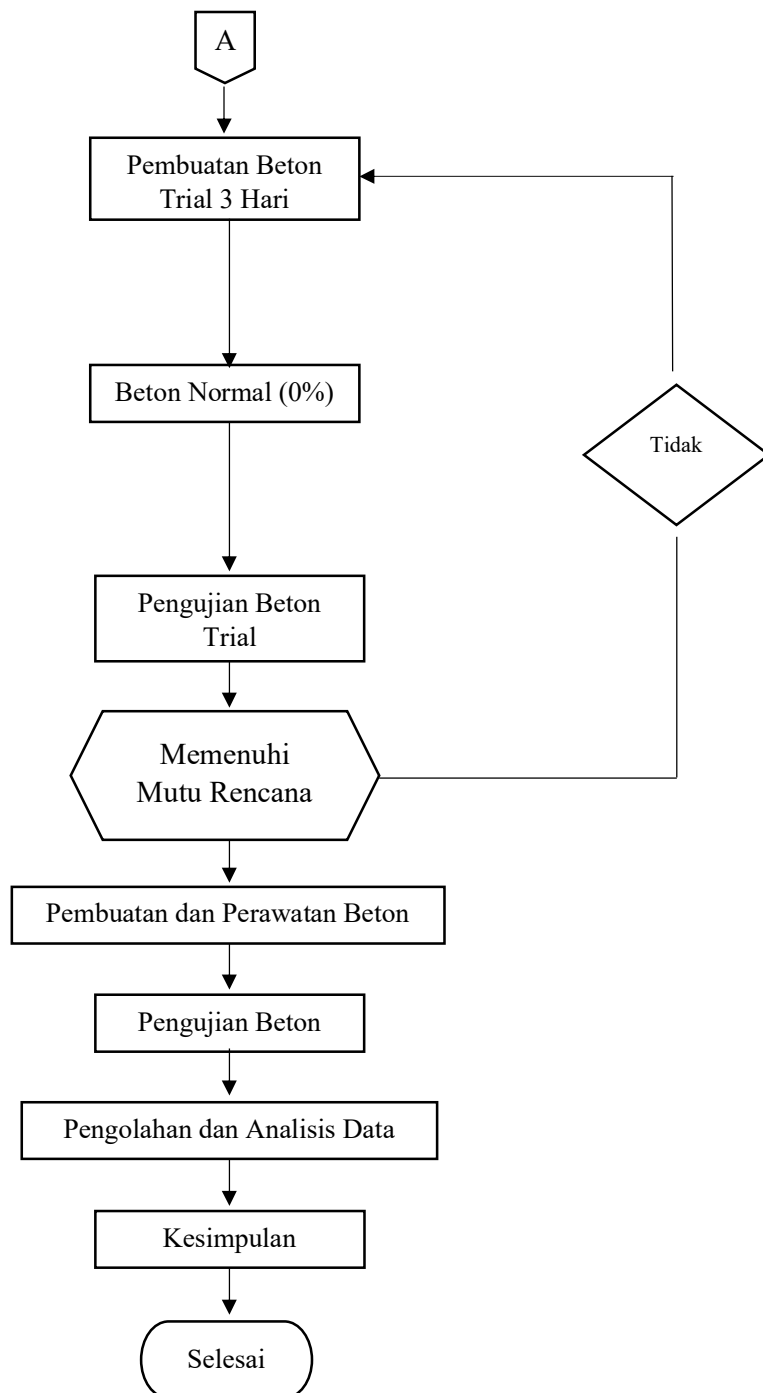
Hasil kasar pengujian diolah data berdasarkan kesesuaian dengan landasan teori yang digunakan untuk mendapatkan parameter atau hubungan yang menghasilkan suatu kesimpulan yang didapatkan dari pengujian tersebut.

4.8 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan pada penelitian ini digambarkan dalam bentuk *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.7 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.7 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan, penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui dan memperoleh data material seperti penyerapan air dan berat jenis dari agregat halus dan agregat kasar, modulus halus butir agregat halus dan agregat kasar, berat isi gembur dan padat agregat halus dan agregat kasar, dan kandungan lumpur pada agregat halus. Sedangkan untuk bahan tambah yang digunakan yaitu serbuk gypsum casting dengan presentase yang digunakan sebanyak 3%, 7%, dan 10% dari berat beton normal.

Pada bab ini akan membahas hasil yang didapatkan pada penelitian yang sudah dilakukan penulis, yaitu hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Hasil penelitian berupa nilai-nilai dan variabel yang sudah dijelaskan sebelumnya. Kemudian akan dianalisis guna untuk mengetahui pengaruh dari nilai kuat tekan dan kuat lentur beton dengan bahan tambah serbuk gypsum casting.

5.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat digunakan untuk mengetahui dan memeriksa sifat karakteristik agregat sebagai bahan penyusun beton. Agregat harus memenuhi persyaratan sebelum digunakan untuk merencanakan campuran beton (*mix design*). Pengujian agregat terdiri dari pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian penyerapan air dan berat jenis, pengujian modulus halus butir, pengujian berat isi gembur dan padat, dan pengujian kadar lumpur (lolos saringan no. 200). Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian agregat halus :

1. Pengujian Penyerapan Air dan Berat Jenis Agregat Halus

Pada pengujian penyerapan air dan berat jenis agregat halus berpedoman pada SNI 03-1970-1990. Dengan perhitungan penyerapan dan berat jenis agregat halus untuk sampel 1 dijelaskan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{498}{(737+500-1043)} \\ &= 2,567 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{(B+Bj-)} \\ &= \frac{500}{(737+500-1043)} \\ &= 2,577 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{498}{(737+498-1043)} \\ &= 2,594 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-498)}{498} \times 100\% \\ &= 0,4016 \% \end{aligned}$$

Besaran berat jenis digunakan sesuai dengan batas minimum dan maksimum berat jenis agregat normal yakni sebesar 2,5 – 2,7. Tjokrodinuljo (1996).

Pada sampel 2 sama perhitungannya seperti sampel 1 dengan cara dihitung penyerapan air dan nilai berat jenis agregat halus dan nilai rata-ratanya.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	498	498	498
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1043	1047	1045
Berat piknometer berisi air, gram (B)	737	734	735.5
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2.567	2.663	2.615
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2.577	2.674	2.625
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2.594	2.692	2.642
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100))	0,4016%	0,4016%	0,4016%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pada pengujian analisa saringan agregat halus ini menggunakan acuan Sni 03-1968-1990, dengan sampel sebanyak 2000 gram. Pengujian ini mempunyai tujuan agar mengetahui data berat tertinggal pada setiap masing-masing nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Dibawah ini merupakan perhitungan analisa saringan agregat halus pada sampel 1.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 4,8 mm} &= \frac{9}{2000} \times 100\% \\ &= 0.45 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 2,4 mm} &= \frac{10}{2000} \times 100\% \\ &= 0.5 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 1,2 mm} &= \frac{67}{2000} \times 100\% \\ &= 3,35 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,6 mm} &= \frac{521}{2000} \times 100\% \\ &= 26.05 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,3 mm} &= \frac{957}{2000} \times 100\% \\ &= 47.85 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,15 mm} &= \frac{396}{2000} \times 100\% \\ &= 19.8 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa di pan} &= \frac{40}{2000} \times 100\% \\ &= 2 \% \end{aligned}$$

b. Presentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang saringan 4,8 mm} = 0.45 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 2,4 mm} &= 0.45 \% + 0.5 \% \\ &= 0.95 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 1,2 mm} &= 0.95 \% + 3.35 \% \\ &= 4.3 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,6 mm} &= 4.3 \% + 26.05 \% \\ &= 30.35 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,3 mm} &= 30.35 \% + 47.85 \% \\ &= 78.2 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 0,15 mm} &= 78.2 \% + 19.8 \% \\ &= 98 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa di pan} &= 98 \% + 2 \% \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

c. Presentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 4,8 mm} &= 100 \% - 0.45 \% \\ &= 99.55 \% \end{aligned}$$

Lubang saringan 2,4 mm	= 100 % - 0.95 % = 99.05 %
Lubang saringan 1,2 mm	= 100 % - 4.3 % = 95.7 %
Lubang saringan 0,6 mm	= 100 % - 30.35 % = 69.65 %
Lubang saringan 0,3 mm	= 100 % - 78.2 % = 21.8 %
Lubang saringan 0,15 mm	= 100% - 98 % = 2 %
Sisa di pan	= 100 % - 100 % = 0 %

Untuk mencari sampel 2 digunakan cara yang sama seperti di atas. Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan 5.3.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	9	0,45	0,45	99,55
2,4	10	0,5	0,95	99,05
1,2	65	3,35	4,3	95,7
0,6	520	26,05	30,35	69,65
0,3	957	47,85	78,2	21,8
0,15	396	19,8	98	2
Pan	40	2	100	0
Jumlah	2000	100	212.25	

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	3	0,15	0,15	99,85
2,4	10	0,5	0,65	99,35
1,2	80	4	4,65	95,35
0,6	567	28,35	33	67
0,3	934	46,70	79,7	20,3
0,15	384	19,2	98,9	1,1
Pan	22	1,1	100	0
Jumlah	2000	100	217,05	

Dari hasil pengujian analisis saringan agregat halus di atas dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir Agregat Halus (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase Berat Tertinggal}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{212,25}{100} \\ &= 2,122 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{217,05}{100} \\ &= 2,17 \% \end{aligned}$$

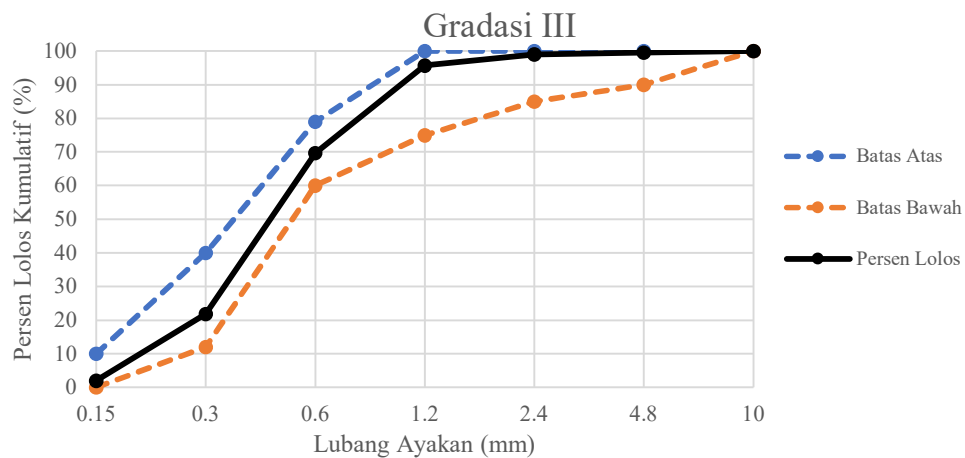
$$\begin{aligned} \text{MHB Rata-Rata} &= \frac{2,122 + 2,17}{2} \\ &= 2,146 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai MHB rata-rata sebesar 2,146 % dan masuk ke dalam batas yang diizinkan yaitu sebesar 1,5% - 3,8% (SK SNI S-04-1989-F). Hasil analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat halus sesuai dengan tabel gradasi agregat halus, seperti pada Tabel 5.4 di bawah ini.

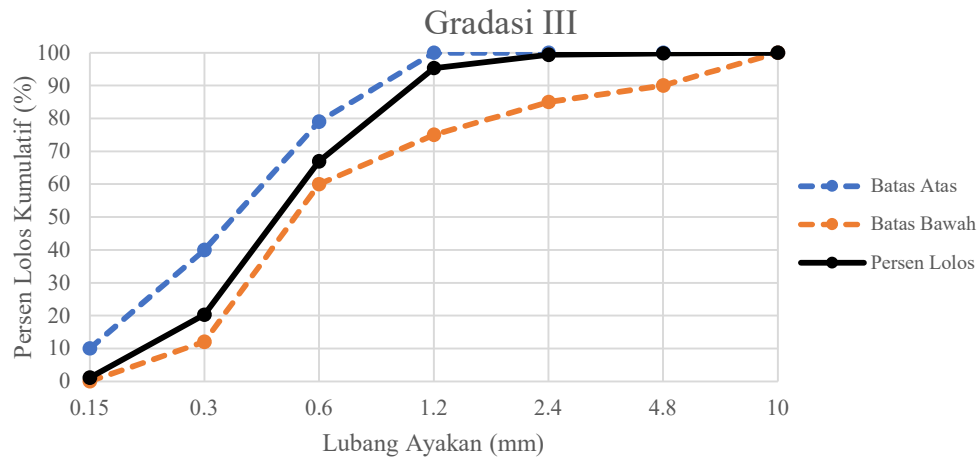
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Yang Lolos Agregat			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 2834-2000



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus
 Pengujian berat volume agregat halus terbagi menjadi 2 yaitu berat volume gembur dan berat volume padat menggunakan SNI 03-4804-1998. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus pada sampel 1.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat } (W_3) &= W_2 - W_1 \\
 &= 18996 - 11009 \\
 &= 7987 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tabung } (V) &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\
 &= 5283,707 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7987}{5283,707} \\
 &= 1,511 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat } (W3) &= W2 - W1 \\
 &= 18378 - 11191 \\
 &= 7187 \text{ gram} \\
 \\
 \text{Volume Tabung } (V) &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,462 \text{ m}^3 \\
 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7187}{5285,462}
 \end{aligned}$$

Sampel 2 dihitung dengan cara yang sama berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus, dibawah ini merupakan hasil rekapitulasi pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus pada Tabel 5.5 dan 5.6.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,1	30,1	30,1
Berat tabung ($W1$), gram	11009	10764	10886,5
Berat tabung + agregat SSD ($W2$), gram	18996	18503	18749,5
Berat agregat ($W3$), gram	7987	7739	7863
Volume tabung (V), gram	5283,707	5283,707	5283,71
Berat volume gembur ($W3/V$), gram/cm ³	1,511	1,464	1,488

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,11	30,11	30,11
Berat tabung ($W1$), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat SSD ($W2$), gram	18378	17836	18107
Berat agregat ($W3$), gram	7187	7143	7165
Volume tabung (V), gram	5285,462	5285,462	5285,462
Berat volume gembur ($W3/V$), gram/cm ³	1,359	1,351	1,355

Dari hasil uji di atas berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,488 cm^3 dan berat volume pada agregat halus rata-rata sebesar 1,355 cm^3 . Hasil penelitian yang dilakukan sesuai dengan rentang berat volume agregat Tjokrodinuljo (1996) yaitu 1,20 – 1,60.

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

Pengujian ini disebut pengujian kadar lumpur pasir menggunakan SNI 03-4142-1996. Dibawah ini merupakan perhitungan kadar lumpur pasir pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur pasir} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100 \% \\
 &= \frac{500-4}{500} \times 100\% \\
 &= 2\%
 \end{aligned}$$

Sampel 2 juga dihitung dengan cara yang sama dan nilai rata-rata, sehingga didapatkan hasil pengujian lolos saringan no. 200 atau pengujian kadar lumpur pada pasir yang bisa dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

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	490	491	490,5
Presentase yang lolos ayakan No. 200 [$(W1-W2/W1) \times 100$]	2%	1,8%	1,9%

Dari pengujian tersebut didapatkan persentase kandungan lumpur rata-rata sebesar 1,9%. Besar persentase tersebut sesuai dengan syarat pada SK SNI S-04-1989-F yaitu persentase maksimum kandungan lumpur dalam agregat halus sebesar 5%.

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat terdiri dari 3 yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, pengujian analisa saringan agregat kasar, dan pengujian berat volume agregat kasar. Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian agregat kasar.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini berpedoman pada SNI 03-1969-1990. Pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini pada sampel 1.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\ &= \frac{4916}{(5000 - 3074)} \\ &= 2,552 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{Bj}{(Bj - B \quad)}$$

$$= \frac{5000}{(5000 - 3074)}$$

$$= 2,596$$

$$c. \text{ Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{(Bk - B)}$$

$$= \frac{4916}{(4916 - 3074)}$$

$$= 2,669$$

d. Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{(5000 - 4916)}{4916} \times 100\%$$

$$= 1,71\%$$

Untuk sampel 2 menggunakan cara yang sama, dihitung juga dengan nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar kemudian diambil rata-rata. Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4916	4895	4905,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Bt)	3074	3060	3067
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,552	2,523	2,537
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,596	2,577	2,586
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,669	2,668	2,6685
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100))	1,71%	2,15%	1,93%

Dari hasil tersebut, berat jenis kering muka rata-rata sebesar 2,586. Besaran berat jenis yang digunakan sesuai dengan batas minimum dan maksimum berat jenis agregat normal berat jenis agregat normal yang dikemukakan oleh Tjokrodimuljo (1996) yaitu 2,5 – 2,7.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini menggunakan acuan Sni 03-1967-1990 dengan sampel seberat 5000 gram. Pada pengujian ini didapatkan data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan seperti pada Tabel 5.9 dan 5.10 pada sampel 1.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 20 mm} &= \frac{16}{5000} \times 100\% \\ &= 0,32 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 10 mm} &= \frac{3707}{5000} \times 100\% \\ &= 74,14 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 4,8 mm} &= \frac{1151}{5000} \times 100\% \\ &= 23,02 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 2,4 mm} &= \frac{23}{5000} \times 100\% \\ &= 0,46 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang saringan 1,2 mm} &= \frac{6}{2000} \times 100\% \\ &= 0,12 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa di pan} &= \frac{97}{5000} \times 100\% \\ &= 1,94 \% \end{aligned}$$

b. Presentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang saringan 20 mm} = 0,32 \%$$

$$\text{Lubang saringan 10 mm} = 0,32 \% + 74,14 \%$$

	= 74,46 %
Lubang saringan 4,8 mm	= 74,46 % + 23,02 % = 97,48 %
Lubang saringan 2,4 mm	= 97,48 % + 0,46 % = 97,94 %
Lubang saringan 1,2 mm	= 97,94 % + 0,12 % = 98,06 %
Sisa di pan	= 98,06 % + 1,94 % = 100 %
c. Presentase Lolos Kumulatif	
Lubang saringan 20 mm	= 100 % - 0,32 % = 99,68 %
Lubang saringan 10 mm	= 100 % - 74,46 % = 25,54 %
Lubang saringan 4,8 mm	= 100 % - 97,48 % = 2,52 %
Lubang saringan 2,4 mm	= 100 % - 97,94 % = 2,06 %
Lubang saringan 1,2 mm	= 100 % - 98,06 % = 1,94 %
Sisa di pan	= 100 % - 100 % = 0 %

Dengan langkah yang sama di atas tersebut, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil analisa saringan agregat kasar pada sampel 2. Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan analisa saringan agregat kasar sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan 5.10.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	16	0,32	0,32	99,68
10	3707	74,14	74,46	25,54
4,8	1151	23,02	97,48	2,52
2,4	23	0,46	97,94	2,06
1,2	6	0,12	98,06	1,94
0,6	0	0	98,06	1,94
0,3	0	0	98,06	1,94
0,15	0	0	98,06	1,94
Pan	97	1,94	100	0
Jumlah	5000	100	662,44	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	82	1,64	1,64	98,36
10	3659	73,18	74,82	25,18
4,8	1132	22,64	97,46	2,54
2,4	18	0,36	97,46	2,18
1,2	7	0,14	97,96	2,04
0,6	0	0	97,96	2,04
0,3	0	0	97,96	2,04
0,15	0	0	97,96	2,04
Pan	102	2,04	100	0
Jumlah	5000	100	663,58	

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar tersebut ditentukan nilai modulus halus butir agregat kasar dibawah ini.

d. Modulus Halus Butir Agregat Kasar (MHB)

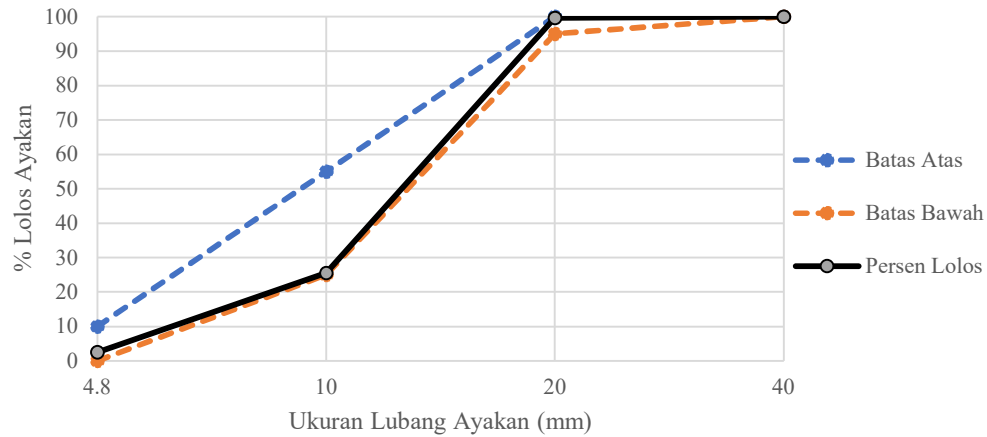
$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase Agregat Kasar}}{100} \\ \text{MHB Sampel 1} &= \frac{662.44}{100} \\ &= 6,624 \\ \text{MHB Sampel 2} &= \frac{663.58}{100} \\ &= 6,635 \\ \text{MHB Rata-rata} &= \frac{662.44+6,610}{2} \\ &= 6,630 \end{aligned}$$

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F nilai MHB agregat kasar berada di antara 5-8. Menurut aturan tersebut, pengujian ini memenuhi syarat. Hasil analisa saringan agregat kasar digunakan untuk menentukan ukuran maksimum agregat berdasarkan gradasi agregat kasar pada tabel 5.11 di bawah ini. Berdasarkan tabel gradasi kasar tersebut dapat dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4 di bawah ini.

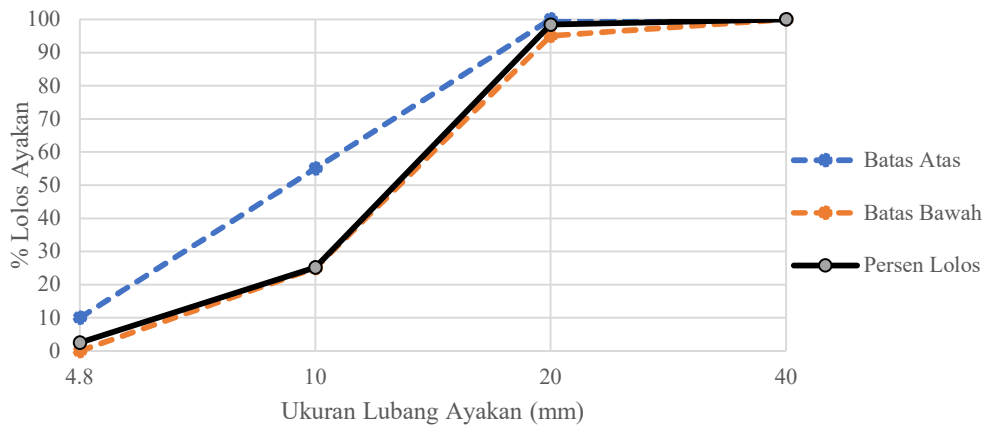
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Persentase Butiran Agregat yang Lolos	
	Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	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 2834-2000)



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

Berdasarkan kurva gradasi tersebut, ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Pada Agregat Kasar

Pengujian tersebut pada agregat kasar sesuai dengan standar dari SNI 03-4804-1998. Dibawah ini merupakan perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar pada sampel 1.

a. Berat Volume Gembur

$$\text{Berat Agregat } (W3) = W2 - W1$$

$$= 18378 - 11191$$

$$= 7187 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\ &= 5283,707 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7187}{5285,468} \\ &= 1,359 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19254 - 11191 \\ &= 8063 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\ &= 5285,462 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8063}{5285,462} \\ &= 1,525 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Begitu juga dengan sampel 2, dengan cara yang sama dihitung pula berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar sampel 2, maka diperoleh hasil rekapitulasi pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 dibawah ini.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,1	30,1	30,1
Berat tabung ($W1$), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat SSD ($W2$), gram	18378	17836	18107
Berat agregat ($W3$), gram	7187	7143	7165
Volume tabung (V), gram	5285,462	5285,562	5285,462
Berat volume gembur ($W3/V$), gram/cm ³	1,359	1,351	1,355

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,1	30,1	30,1
Berat tabung ($W1$), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat SSD ($W2$), gram	19254	18891	19072,5
Berat agregat ($W3$), gram	8063	8198	8130,5
Volume tabung (V), gram	5285,462	5285,462	5285,462
Berat volume gembur ($W3/V$), gram/cm ³	1,525	1,551	1,538

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan berat volume gembur agregat kasar rata-rata 1,310 $gram/cm^3$ dan berat volume padat agregat kasar rata-rata 1,440 $gram/cm^3$. Hasil penelitian tersebut sudah sesuai dengan rentang berat volume agregat menurut Tjokrodimuljo (1996) yakni 1,20 – 1,60.

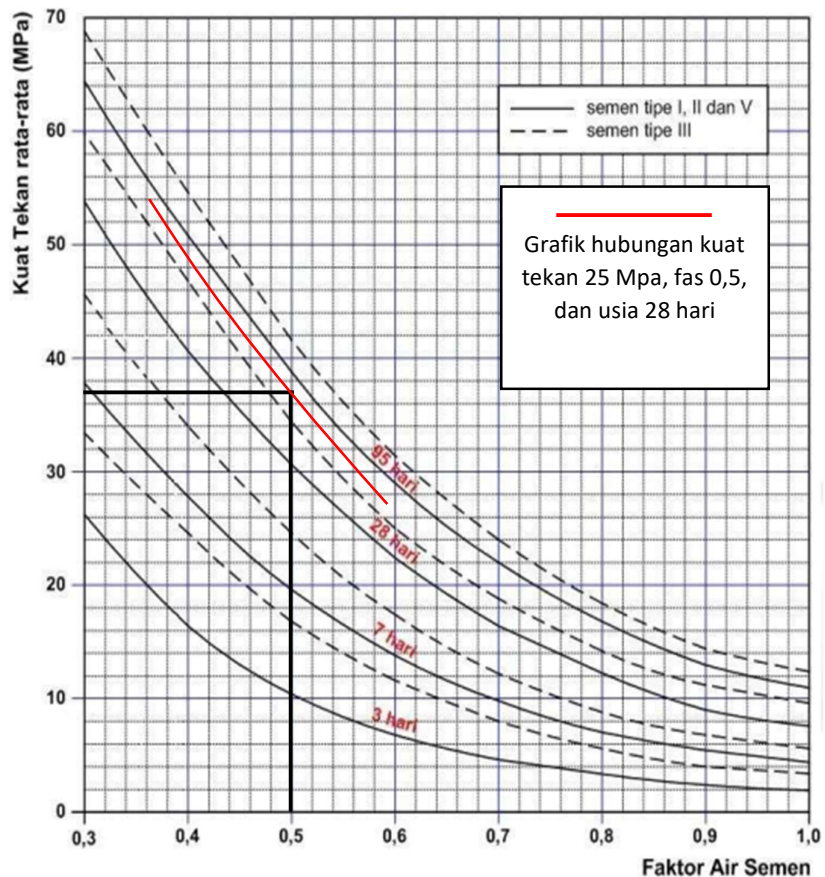
5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dari data uji material yang sudah diperoleh kemudian dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*) dengan standar SNI 03-2834-2000, dijelaskan dibawah ini.

1. Menentukan nilai kuat tekan rencana ($f'c$) sebesar 25 Mpa.
2. Menghitung Nilai Tambah
 Karena jumlah sampel benda uji yang digunakan sebanyak 10 buah tiap variasi dan kurang dari 15 buah, maka nilai tambah (M) yang digunakan tidak kurang dari 12 Mpa. Hal ini sudah sesuai dengan persyaratan, jika $f'cr$ yang diambil kurang dari ($f'c + 12$ Mpa) jika tidak memiliki data lapangan sebelumnya.
3. Kuat tekan rata-rata rencana ($f'cr$)

$$\begin{aligned} f'cr &= f'c + M \\ &= (25 + 12) \\ &= 37 \text{ MPa} \end{aligned}$$
4. Semen yang digunakan yaitu semen *portland* (PCC) yang masuk dalam kategori tipe I merk *dynamix*.
5. Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar, didapatkan berat jenis agregat halus 2,625 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,586.
6. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus, susunan butir agregat halus masuk kedalam gradasi daerah III.
7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS)
 - a. Semen yang digunakan yaitu semen *portland* tipe I, jenis agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dengan kuat tekan umur 28 hari. Berdasarkan Tabel 4.6 didapatkan perkiraan tukar tekan beton dengan fas 0,5
 - b. Dengan Gambar 5.5 dibawah ini, tarik garis vertikal keatas dari nilai fas 0,5, lalu tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata
 - c. Buat kurva baru yang memotong titik perpotongan sesuai hasil poin b.

- d. Tarik garis arah horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebesar 25 Mpa sampai memotong kurva pada poin c.
- e. Tarik garis arah vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,5.



Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm

(Sumber : SNI 2834-2000)

8. Menentukan kadar air yang diperlukan
Kadar air campuran beton ditentukan sesuai dengan Tabel 4.7, dengan hasil dibawah ini.
 - a. Ukuran maksimum agregat kasar sesuai hasil analisa saringan agregat kasar didapatkan 20 mm.

- b. Jenis batuan terdiri dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
- c. *Slump* yang digunakan 60-180 mm.
- d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung dengan cara dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} \times Wh + \frac{1}{3} \times Wk \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- 9. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum
Jumlah semen minimum dan fas maksimum ditentukan sesuai dengan Tabel 4.5. Dari tabel tersebut didapatkan jenis beton yang digunakan adalah beton di dalam ruang bangunan dengan keadaan non korosif, maka didapatkan jumlah semen minimum 325 kg/m^3 dan fas maksimum 0,6.

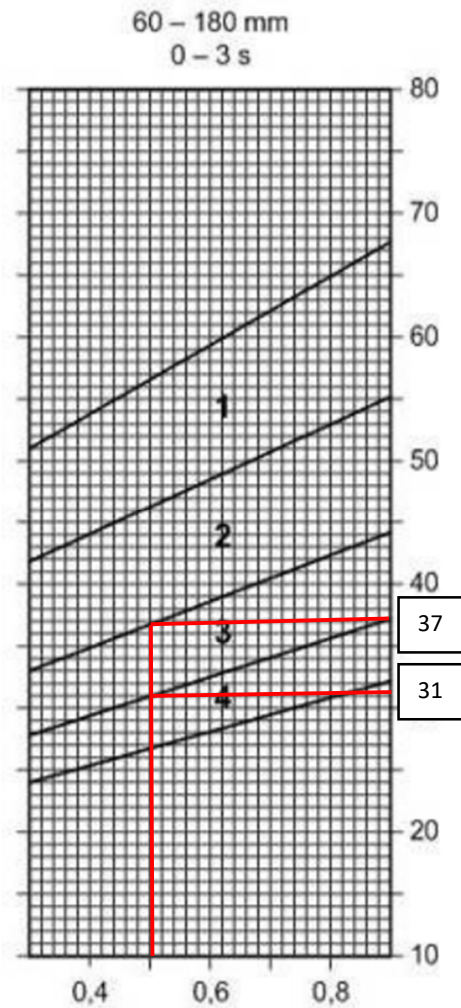
- 10. Menentukan kadar semen yang digunakan.
 - a. Didapatkan nilai fas dan pembacaan grafik 0,5 dan fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan 0,6. Maka diambil nilai fas terkecil yaitu 0,5.
 - b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen} &= \frac{\text{kadar air}}{\text{fas}} \\
 &= \frac{205}{0.5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- c. Didapatkan nilai kadar semen sebesar 410 kg/m^3 dan kasar air semen minimum sebesar 325 kg/m^3 , maka kadar semen yang digunakan yaitu 410 kg/m^3 .

- 11. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar
Presentase agregat halus ditentukan pada Gambar 5.6 dibawah ini.
 - a. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan yaitu 20 mm, nilai slump yang digunakan 0,5 dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi II.

- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas 0,5 sampai memotong dua kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- c. Dari dua titik perpotongan pada poin b, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga didapatkan presentase batas atas agregat halus sebesar 37% dan presentase batas bawah agregat halus sebesar 31%.



**Gambar 5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan
untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm**

(Sumber : SNI 2834-2000)

- d. Nilai presentase agregat halus rata-rata dihitung dibawah ini.

$$\begin{aligned}\text{Presentase agregat halus} &= \frac{37\%+31\%}{2} \\ &= 34\%\end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat halus rata-rata dapat dihitung dibawah ini.

$$\begin{aligned}\text{Presentase agregat kasar} &= 100\% - \text{presentase agregat halus} \\ &= 100\% - 34\% \\ &= 64\%\end{aligned}$$

12. Menghitung berat jenis relatif agregat gabungan dalam kondisi SSD.

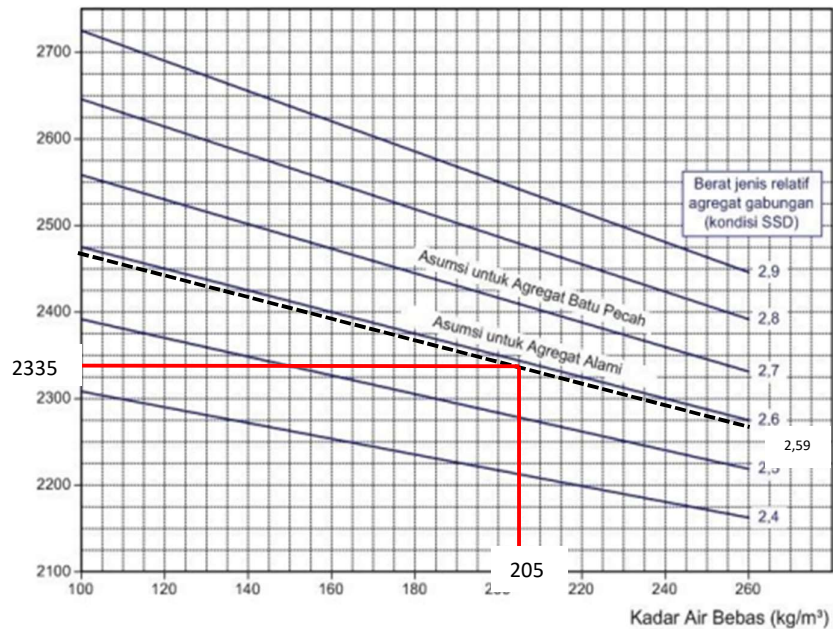
Berat jenis relatif agregat gabungan dihitung dibawah ini.

$$\begin{aligned}BJ_{\text{Agregat Gabungan}} &= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \\ &= (34\% \times 2,625) + (64\% \times 2,586) \\ &= 2,599\end{aligned}$$

13. Menghitung berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.7 sebagai berikut.

- Membuat kurva baru sesuai dengan berat jenis relatif agregat gabungan yang diperoleh dari perhitungan poin 12 yaitu 2,599
- Tarik garis vertikal ke atas sesuai dengan hasil kadar air 205 kg sampai memotong kurva baru pada poin a.
- Setelah mendapatkan titik perpotongan pada poin b, tarik garis arah horizontal ke kiri sampai diperoleh hasil perkiraan berat isi beton 2335 kg/m³.



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

Gambar 5.7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 2834-2000)

14. Menghitung kadar agregat pada campuran beton.

Kadar agregat pada campuran beton dapat dihitung dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat} &= \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \\ &= 2335 - 410 - 205 \\ &= 1720 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Menghitung kadar agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \% \text{ Agregat halus} \times \text{Kadar agregat} \\ &= 34\% \times 1720 \\ &= 584,8 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat} - \text{Kadar agregat halus} \\ &= 1720 - 584,8 \\ &= 1135,2 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Proporsi campuran per m^3 beton.
Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton, didapatkan proporsi untuk masing-masing material per m^3 beton dibawah ini.
- Semen = 410 kg
 - Air = 205 kg
 - Agregat halus = 584,8 kg/m^3
 - Agregat kasar = 1135,2 kg/m^3
17. Proporsi campuran per m^3 beton dengan angka penyusutan.
Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan sebesar 30%, maka didapatkan proporsi masing-masing material per m^3 beton dengan tambahan penyusutan dibawah ini.
- Semen = 533 kg
 - Air = 266 kg
 - Agregat Halus = 760,24 kg/m^3
 - Agregat Kasar = 1475,76 kg/m^3
18. Hasil rekapitulasi campuran beton.
Berikut merupakan hasil rekapitulasi perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.14 dibawah ini.

Tabel 5.14 Hasil Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang diisyaratkan	25	Mpa
2	Nilai tambah / Margin (<i>M</i>)	12	Mpa
3	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
4	Jenis semen	Tipe I	
5	Jenis agregat halus	Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
6	Faktor air semen bebas (<i>fas</i>)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

7	Fas digunakan	0,5	
8	Slump	6-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	20	mm
10	Kadar air bebas	205	kg/m ³
11	Kadar semen minimum	325	kg/m ³
	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
12	Kadar semen yang digunakan	410	kg/m ³
13	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi III	
14	Berat jenis agregat halus	2,625	
	Berat jenis agregat kasar	2,586	
15	Persen agregat halus	34	%
16	Persen agregat kasar	64	%
17	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,599	
18	Berat isi beton	2335	kg/m ³
19	Kadar agregat gabungan	1720	kg/m ³
20	Kadar agregat halus	584,8	kg/m ³
21	Kadar agregat kasar	1135,2	kg/m ³
22	Kadar semen dengan angka penyusutan	533	kg/m ³
23	Kadar air dengan angka penyusutan	266,5	kg/m ³
24	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	760,24	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1475,76	kg/m ³

19. Volume sampel benda uji.

Pada penelitian ini menggunakan benda uji yang terdiri dari 40 silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta 20 balok berdimensi 600 mm × 150 mm × 150 mm. Volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*, penelitian ini pembuatan benda uji tiap variasi dilakukan dalam satu kali *mixing* untuk 10 silinder dan satu kali *mixing* untuk

5 balok. Maka total *mixing* dilakukan sebanyak 8 kali, untuk volume benda uji tiap satu kali *mixing* yaitu dibawah ini.

$$\begin{aligned}\text{Volume per } \textit{mixing} \text{ silinder} &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,053014\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume per } \textit{mixing} \text{ balok} &= 5 \times p \times l \times t \\ &= 5 \times 0,6 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0675\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume total tiap variasi} &= 0,053 + 0,0675 \\ &= 0,120514\end{aligned}$$

20. Proporsi campuran tiap *mixing* silinder.

1. Semen	= 0,53014 × 533	= 28,256 kg
2. Air	= 0,53014 × 266,5	= 14,128 kg
3. Agregat Halus	= 0,53014 × 760,24	= 40,303 kg
4. Agregat Kasar	= 0,53014 × 1475,76	= 78,236 kg
Berat total beton normal tiap <i>mixing</i>		<u>= 160,925 kg</u>

21. Proporsi campuran tiap *mixing* balok.

1. Semen	= 0,0675 × 533	= 35,977 kg
2. Air	= 0,0675 × 266,5	= 17,988 kg
3. Agregat Halus	= 0,0675 × 760,24	= 51,316 kg
4. Agregat Kasar	= 0,0675 × 1475,76	= 99,613 kg
Berat total beton normal tiap <i>mixing</i>		<u>= 204,896 kg</u>

22. Kebutuhan serbuk gypsum tiap *mixing* silinder.

a. Serbuk gypsum 3%	= 3% × 28,256 kg	= 0,847 kg
b. Serbuk gypsum 7%	= 7% × 28,256 kg	= 1,977 kg
c. Serbuk gypsum 10%	= 10% × 28,256 kg	= 2,825 kg

23. Kebutuhan serbuk gypsum tiap *mixing* balok.

a. Serbuk gypsum 3%	= 3% × 35,977 kg	= 1,079 kg
b. Serbuk gypsum 7%	= 7% × 35,977 kg	= 2,518 kg

c. Serbuk gypsum 10% = $10\% \times 35,977 \text{ kg} = 3,597 \text{ kg}$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil proporsi campuran beton pada penelitian penulis seperti Tabel 5.15 di bawah ini.

Tabel 5.15 Proporsi Campuran beton dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum *Mixing* Silinder

Kode Benda Uji	Variasi	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	Serbuk Gypsum (kg)
BN	0%	28,256	40,303	78,236	14,128	0
BSG ₁	3%	28,256	40,303	78,236	14,128	0,847
BSG ₂	7%	28,256	40,303	78,236	14,128	1,977
BSG ₃	10%	28,256	40,303	78,236	14,128	2,825

Tabel 5.16 Proporsi Campuran beton dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum *Mixing* Balok

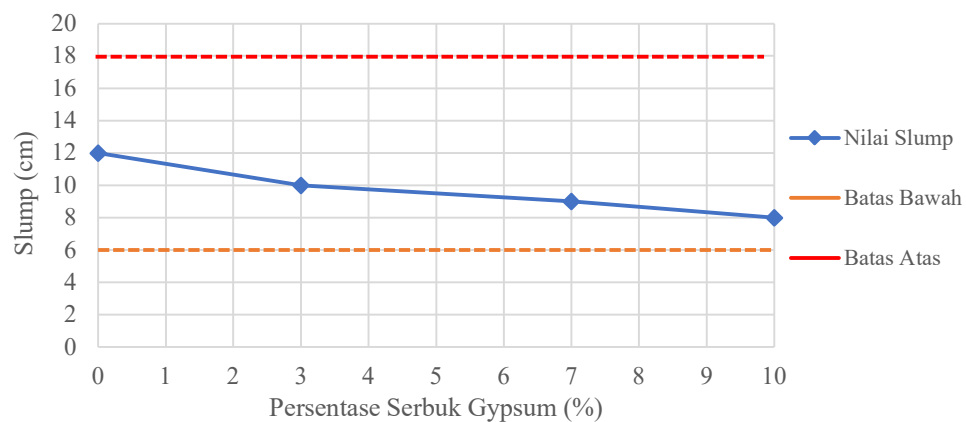
Kode Benda Uji	Variasi	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	Serbuk Gypsum (kg)
BN	0%	35,977	51,316	99,613	17,988	0
BSG ₁	3%	35,977	51,316	99,613	17,988	1,079
BSG ₂	7%	35,977	51,316	99,613	17,988	2,518
BSG ₃	10%	35,977	51,316	99,613	17,988	3,597

5.4 Hasil Pengujian *Slump*

Slump merupakan acuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada campuran beton. Nilai *slump* yang semakin besar, maka tekstur semakin cair sehingga mengakibatkan beton semakin mudah untuk dikerjakan, begitu juga sebaliknya. Beton yang baik yaitu beton yang mudah dikerjakan, tidak ada pemisahan antara agregat dengan campuran (*segregasi*) dan pemisahan air dari campuran (*bleeding*). Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian *slump* pada penelitian yang dilakukan oleh penulis pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Nilai *Slump* Beton

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (cm)
BN	12
BSG ₁	10
BSG ₂	9
BSG ₃	8

Gambar 5.8 Hubungan *Slump* dengan Persentase Serbuk Gypsum

Berdasarkan Tabel 5.17 dan Gambar 5.8 tersebut dapat dilihat jika nilai *slump* tertinggi pada beton normal yaitu 12 cm dan yang terendah yaitu 8 cm pada variasi 10%. Nilai *slump* setiap adukan sudah memenuhi dari nilai *slump* rencana yaitu 60-180 mm.

Semakin banyak serbuk gypsum yang digunakan pada variasi beton, maka semakin rendah nilai *slump*-nya. Hal tersebut dikarenakan serbuk gypsum menyerap air yang cukup besar sehingga berpengaruh pada tekstur *slump* yang semakin kental dan berpengaruh pada tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang menurun, sehingga campuran akan lebih sulit dipadatkan dibandingkan beton normal.

5.5 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton Silinder

Setelah melalui proses perawatan beton, benda uji didiamkan kemudian dilakukan pemeriksaan berat volume beton. Benda uji silinder ditimbang berat dan diukur dimensi guna menghitung volume beton. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum pengujian kuat tekan beton. Tujuannya untuk mengetahui perbandingan berat beton dengan volume beton. Dibawah ini merupakan perhitungan berat volume beton.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{V}$$

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$\begin{aligned} 1. \quad \text{Berat volume BN} &= \frac{13,006}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1498^2 \times 0,3017} \\ &= \frac{13,006}{0,0053} \\ &= 2445,9914 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad \text{Berat volume BSG}_1 &= \frac{12,89}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1503^2 \times 0,3018} \\ &= \frac{12,89}{0,0053} \\ &= 2407,2757 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad \text{Berat volume BSG}_2 &= \frac{12,672}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3012} \\ &= \frac{12,672}{0,0053} \\ &= 2380,7719 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \quad \text{Berat volume BSG}_3 &= \frac{12,504}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1509^2 \times 0,3017} \\ &= \frac{12,504}{0,0053} \\ &= 2317,4228 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 5.18 Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton

Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
BN	1	0.1498	0.3017	13.006	2445.991432
	2	0.1501	0.3021	13.008	2433.372172
	3	0.1512	0.3012	12.979	2399.898096
	4	0.1508	0.3015	13.03	2419.716772
	5	0.1493	0.3018	13.059	2471.617091
	6	0.15	0.3023	13.26	2482.178316
	7	0.1505	0.3012	13.158	2455.681471
	8	0.1496	0.3015	13.161	2483.41045
	9	0.1507	0.3013	13.302	2475.149444
	10	0.1502	0.3019	13.125	2453.615194
BSG ₁	1	0.1498	0.3018	12.99	2442.172899
	2	0.1505	0.3021	12.872	2395.148388
	3	0.1496	0.3013	12.952	2445.595551
	4	0.1503	0.3018	12.89	2407.275741
	5	0.1509	0.3015	12.833	2379.975667
	6	0.1511	0.3011	12.923	2393.501912
	7	0.1492	0.3014	12.784	2426.028991
	8	0.1513	0.3017	12.874	2373.397372
	9	0.1507	0.3021	12.919	2397.517506
	10	0.1497	0.3018	12.985	2444.495468
BSG ₂	1	0.15	0.3012	12.672	2380.771951
	2	0.1497	0.3017	12.806	2411.596835
	3	0.1502	0.3016	12.66	2369.041245
	4	0.1513	0.3022	12.644	2327.138814
	5	0.1509	0.3018	12.684	2350.004192
	6	0.1507	0.3023	12.783	2370.70904
	7	0.1496	0.3012	12.789	2415.619637
	8	0.1503	0.3015	12.848	2401.819514
	9	0.1505	0.3013	12.754	2379.492826
	10	0.1497	0.3019	12.732	2396.072942
BSG ₃	1	0.1509	0.3017	12.504	2317.422898
	2	0.1496	0.3021	12.489	2351.927185
	3	0.1511	0.3012	12.512	2316.610168

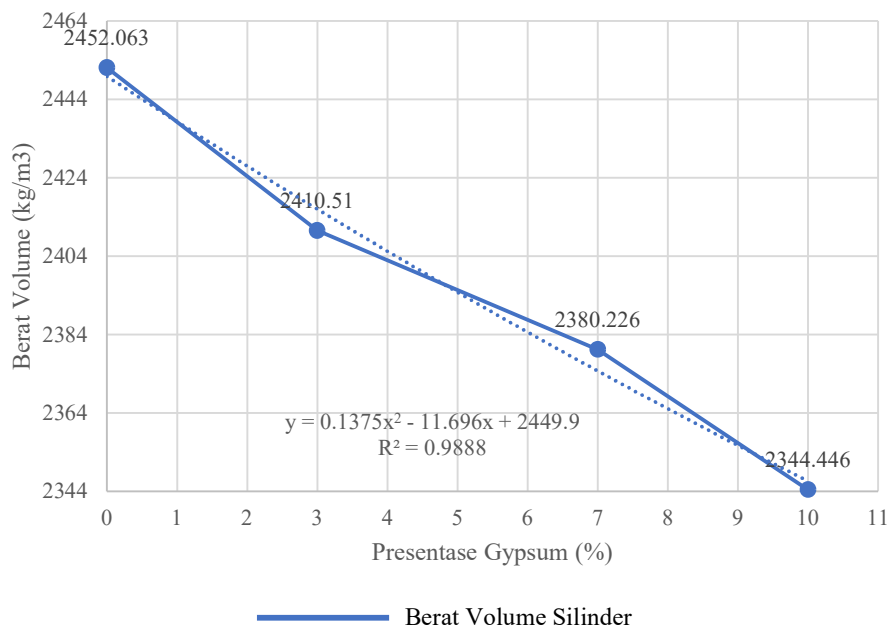
Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton

4	0.1507	0.3015	12.598	2342.598719
5	0.1513	0.3018	12.448	2294.101383
6	0.1497	0.3011	12.47	2353.001564
7	0.1501	0.3014	12.512	2346.022764
8	0.1493	0.3017	12.593	2384.209403
9	0.1497	0.3021	12.43	2337.690012
10	0.1505	0.3018	12.89	2400.881917

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas didapatkan nilai berat volume beton rerata sebagai berikut.

1. Berat volume rata-rata BN = 2425,063 kg/m³
2. Berat volume rata-rata BSG₁ = 2410,5109 kg/m³
3. Berat volume rata-rata BSG₂ = 2380,2267 kg/m³
4. Berat volume rata-rata BSG₃ = 2344,4466 kg/m³

Berdasarkan tabel di atas didapatkan grafik hubungan berat volume beton dengan variasi serbuk gypsum seperti gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 Hubungan Berat Volume Beton Silinder dengan Variasi Serbuk Gypsum

Pada grafik di atas, diketahui terdapat selisih kuat tekan beton dengan penambahan serbuk gypsum variasi. Perbedaan selisih dimungkinkan terjadi karena adanya perbedaan kadar penambahan serbuk gypsum ke dalam campuran beton yang menyebabkan penurunan berat volume dikarenakan penambahan variasi.

5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan pada beton usia 28 hari, setelah melewati proses perawatan yaitu direndam dalam air dan diangkat 1 hari sebelum pengujian dilaksanakan. Dengan kuat tekan rencana (f'_{cr}) sebesar 37 MPa. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji *compression testing machine* dengan jumlah sampel 40 silinder. Sebelum pengujian, dilakukan *capping* pada permukaan atas sampel beton dengan belerang, tujuannya agar permukaan atas sampel beton rata sehingga beban dari *compression testing machine* dapat merata pada permukaan beton. Pengujian dilakukan hingga benda uji tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan mesin uji. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan kuat tekan beton tiap variasi pada sampel 1.

$$A = 0,25 \times \pi \times d^2$$

$$f'c = \frac{P_{maks} \times 10^3}{A}$$

1. Kuat tekan beton normal (BN)

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{548,12 \times 10^3}{17718,16} \\ &= 30,93 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton BSG₁

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{507,6 \times 10^3}{17600,84} \\ &= 28,83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton BSG₂

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{480,39 \times 10^3}{1717789,46}$$

$$= 27,004 \text{ MPa}$$

4. Kuat tekan beton BSG₃

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{452,87 \times 10^3}{17506,9}$$

$$= 25,868 \text{ MPa}$$

Dibawah ini merupakan tabel hasil pengujian kuat tekan beton Tabel 5.19

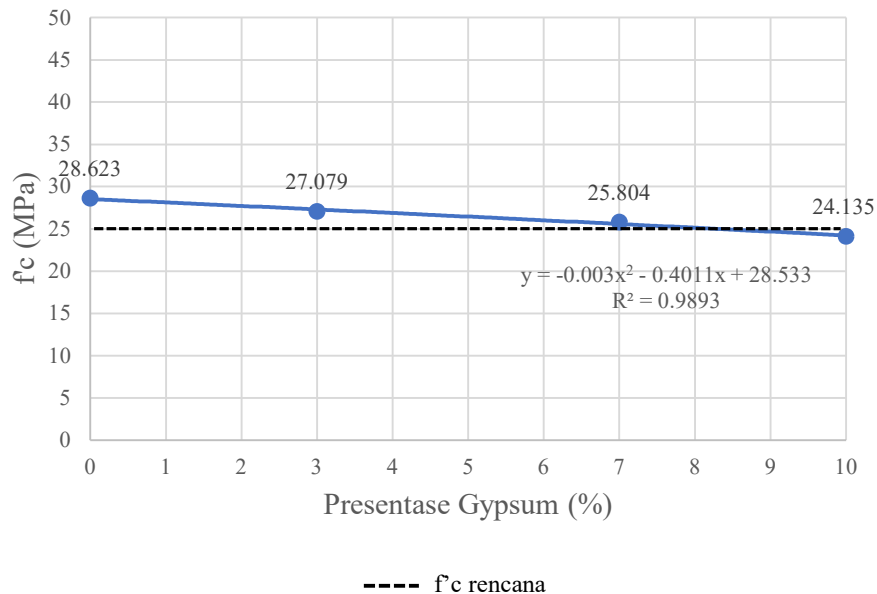
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BN	1	149,8	17624,36	13,326	491,76	27,902
	2	150,1	17695,02	13,155	523,45	29,581
	3	151,2	17955,33	13,109	501,35	27,992
	4	150,8	17860,45	12,897	485,67	27,192
	5	149,3	17506,9	12,977	518,89	29,639
	6	150	17718,61	13,073	558,37	31,597
	7	150,5	17789,46	13,289	503,23	28,288
	8	149,6	17577,33	12,809	481,72	27,405
	9	150,7	17836,77	13,167	497,86	27,911
	10	150,2	17718,61	13,056	510,22	28,795

Lanjutan Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

BSG ₁	1	149,8	17624,36	13,006	480,88	27,284	27,079
	2	150,5	17789,46	12,979	496,33	27,9	
	3	149,6	17577,33	13,008	462,77	26,327	
	4	150,3	17742,21	13,030	502,75	28,336	
	5	150,9	17884,15	12,985	470,23	26,293	
	6	151,1	17931,59	13,260	487,47	27,184	
	7	149,2	17483,46	13,158	454,73	26,009	
	8	151,3	17979,09	13,161	469,03	26,087	
	9	150,7	17836,77	13,302	473,21	26,53	
	10	149,7	17600,84	13,125	507,6	28,839	
BSG ₂	1	150	17671,45	12,990	445,92	25,233	25,804
	2	149,7	17600,84	12,872	459,92	26,13	
	3	150,2	17718,61	12,952	469,83	26,516	
	4	151,3	17979,09	12,890	453,21	25,207	
	5	150,9	17884,15	12,833	447,83	25,04	
	6	150,7	17836,77	12,923	470,57	26,382	
	7	149,6	17577,33	12,784	450,99	25,657	
	8	150,3	17742,21	12,874	453,12	25,539	
	9	150,5	17789,46	12,919	472,39	26,554	
	10	149,7	17600,84	13,059	453,78	25,781	
BSG ₃	1	150,9	17844,15	12,672	430,82	24,089	24,135
	2	149,6	17577,33	12,806	421,2	23,962	
	3	151,1	17931,59	12,660	436,77	24,357	
	4	150,7	17836,77	12,644	429,12	24,058	
	5	151,3	17979,09	12,684	401,92	22,354	
	6	149,7	17600,84	12,783	424,01	24,090	
	7	150,1	17695,02	12,789	413,21	24,351	
	8	149,3	17506,9	12,848	452,87	25,868	
	9	149,7	17600,84	12,754	423,49	24,060	
	10	150,5	17789,46	12,732	447,61	25,161	

Dari Tabel 5.19 tersebut dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan serbuk gypsum terhadap kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 5.10 di atas diketahui bahwa sampel benda uji kuat tekan beton dengan usia 28 hari mengalami penurunan, di bawah ini merupakan penjelasan hasil pengujian kuat tekan beton.

- Beton normal (BN) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 28,623 MPa. *Mix design* yang direncanakan sesuai yang diharapkan. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil pengujian beton normal yang menunjukkan nilai kuat tekan beton sebesar 28,628 MPa dengan kuat tekan beton rencana sebesar 25 MPa. Dapat disimpulkan bahwa *mix design* tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk inovasi beton normal.
- Beton variasi serbuk gypsum dengan kadar 3% (BSG_1) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 27,079 MPa, mengalami peningkatan sebesar 8,32 % dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 25 MPa.
- Beton variasi serbuk gypsum dengan kadar 7% (BSG_2) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 25,8 MPa, mengalami peningkatan sebesar 3,2 % dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 25 MPa.

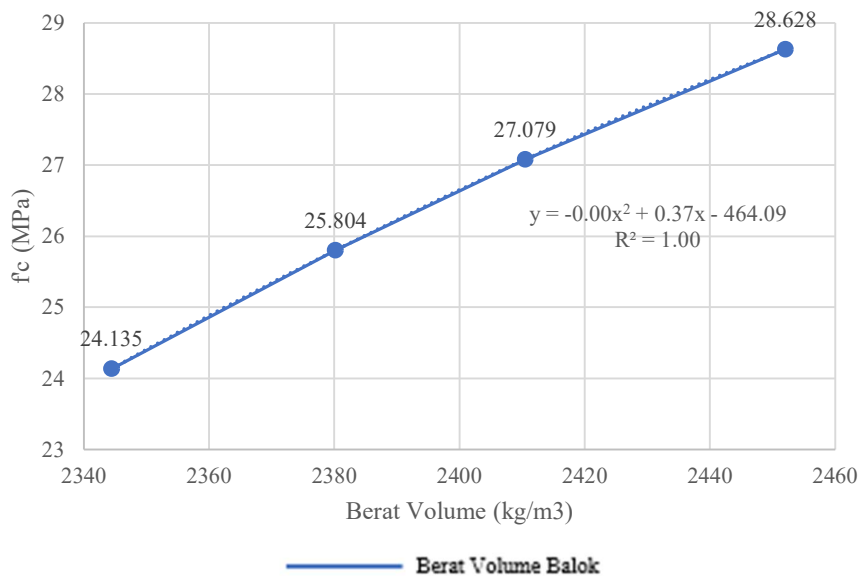
- d. Beton variasi serbuk gypsum dengan kadar 10% (BSG_3) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 24,13 MPa, mengalami penurunan sebesar 3,48 % dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 25 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan serbuk gypsum ternyata menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton dari beton normal. Begitu juga penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Mulyono dan Yoga Surya Wijaya, 2020), meneliti bahwa penambahan limbah gypsum kadar 5% dan 10% dari berat beton normal ke dalam campuran beton, dengan hasil penelitian nilai kuat tekan mengalami penurunan dibawah kuat tekan rencana 40 MPa yaitu sebesar 39,93 MPa untuk kadar 5% dan 34,02 MPa untuk kadar 10%. Dibawah ini merupakan gambar perbandingan keretakan beton dan grafik hubungan berat volume dan kuat tekan beton.



Gambar 5.11 Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan BN dan BSG_3

Berdasarkan hasil pengujian beton, apabila dilihat dari perbandingan kerusakan sampel beton normal dibandingkan dengan beton variasi serbuk gypsum 10% yaitu BSG_3 . Keretakan yang terdapat pada beton variasi serbuk gypsum lebih banyak di bandingkan beton normal. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan serbuk gypsum dengan kadar 10% menyebabkan kertakan berlebihan pada beton karena serbuk gypsum tidak dapat menyatu dengan agregat, sehingga terdapat rongga udara di beton yang menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton.



Gambar 5.12 Hubungan Berat Volume Dengan Kuat Tekan

Berdasarkan grafik tersebut, diketahui bahwa berat volume dan kuat tekan beton mengalami penurunan. Bertambahnya kadar variasi serbuk gypsum menyebabkan bertambahnya volume beton sehingga banyak agregat yang terbuang sehingga menyebabkan berkurangnya nilai kuat tekan pada beton.

Penelitian lainnya oleh Rafki Imani, dkk (2020), meneliti bahwa penambahan limbah gypsum dengan presentase 5%, 10%, 15% dengan usia perawatan 14 hari dan 28 hari mengalami penurunan nilai kuat tekan beton dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton normal.

Penelitian ini menguatkan penelitian sebelumnya, bahwa penambahan serbuk gypsum dengan variasi 3% dan 5% menurunkan nilai kuat tekan tetapi masih masuk ke dalam kuat tekan rencana yaitu diatas 25 MPa, tetapi untuk variasi 10% tidak masuk karena kuat tekan rencana di bawah 25 MPa, dengan penjelasan pada Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.20 Perbandingan Hasil Penelitian

Perbandingan Hasil	Perkenan Perdana Thohari (2023)	Mulyono dan Yoga Surya Wijaya (2020)	Rafki Imani, Widiawati Purba, dan Rainaldi S Nainggolan (2020)	Muhammad Yogi Ismayadi (2018)
Variasi	Serbuk Gypsum (3%, 7%, dan 10%)	Limbah Gypsum (5% dan 10%)	Limbah Gypsum (5%, 10% dan 15%)	Limbah Gypsum dan Cangkang Kelapa Sawit (17% + 10%, 20% + 10%)
Usia Perawatan	28 hari	7 dan 28 hari	14 dan 28 hari	28 hari

Penggunaan kadar serbuk gypsum yang terlalu banyak terbukti tidak efektif terhadap beton. Penggunaan serbuk gypsum terlalu banyak dapat mengurangi tingkat kelecakan beton. Beton semakin sulit dipadatkan dan terdapat rongga-rongga udara yang terjebak di dalam beton dan mengurangi nilai kuat tekan beton.

5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton Balok

Setelah melalui proses perawatan beton, benda uji didiamkan kemudian dilakukan pemeriksaan berat volume beton. Benda uji balok ditimbang berat dan diukur dimensi guna menghitung volume beton. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum pengujian kuat lentur beton. Tujuannya untuk mengetahui perbandingan berat beton dengan volume beton. Dibawah ini merupakan perhitungan berat volume beton.

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &= \frac{W}{V} \\ V &= l \times t \times p \times 10^{-9} \end{aligned}$$

1. Berat volume BN $= \frac{32,9}{150 \times 149,8 \times 600,1 \times 10^{-9}}$
 $= \frac{32,9}{0,0013}$
 $= 2439,8841 \text{ kg/m}^3$
2. Berat volume BSG₁ $= \frac{32,1}{149,8 \times 150,1 \times 599,9 \times 10^{-9}}$
 $= \frac{32,1}{0,0013}$
 $= 2379,7627 \text{ kg/m}^3$
3. Berat volume BSG₂ $= \frac{31,3}{150 \times 149,9 \times 599,9 \times 10^{-9}}$
 $= \frac{31,3}{0,0013}$
 $= 2320,4519 \text{ kg/m}^3$
4. Berat volume BSG₃ $= \frac{30,8}{149,9 \times 149,9 \times 599,9 \times 10^{-9}}$
 $= \frac{30,8}{0,0013}$
 $= 2284,9073 \text{ kg/m}^3$

Tabel 5.21 Berat Volume Balok

Kode Benda Uji		Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
BN	1	599.8	150.1	149.8	32.6	2417.233659	2419.656762
	2	600.1	149.8	149.8	32.8	2435.71567	
	3	600.1	150.1	150.1	32.2	2381.61118	
	4	599.6	150.1	149.9	32.7	2423.839192	
	5	600.1	149.8	150	32.9	2439.884111	
BSG1	1	600.1	149.8	149.9	31.7	2352.459684	2364.306545
	2	600.1	150.1	150.1	31.8	2352.025948	
	3	599.9	150.1	149.8	32.1	2379.762764	
	4	599.7	149.9	150.1	31.9	2364.146086	
	5	599.7	149.9	150	32	2373.138241	
BSG2	1	600	150.1	149.8	31.2	2312.654937	2304.830448
	2	600.1	150	149.9	31	2297.445274	
	3	599.7	149.8	149.9	30.9	2294.621108	

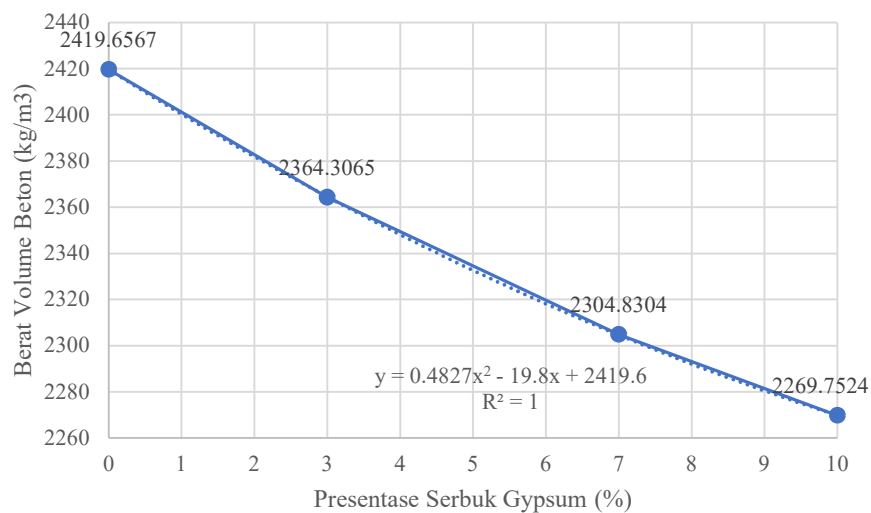
Lanjutan Tabel 5.21 Berat Volume Balok

	4	600.1	149.8	150	31	2298.978949	
	5	599.9	149.9	150	31.3	2320.451971	
BSG ₃	1	599.8	150.1	150.1	30.4	2249.60225	2269.75247
	2	600	150.1	150	30.5	2257.75409	
	3	599.9	149.9	149.9	30.8	2284.907319	
	4	599.7	150	149.8	30.7	2278.249346	
	5	599.7	149.8	150	30.7	2278.249346	

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas didapatkan nilai berat volume beton rerata sebagai berikut.

1. Berat volume rata-rata BN = 2419,6567 kg/m³
2. Berat volume rata-rata BSG₁ = 2364,3065 kg/m³
3. Berat volume rata-rata BSG₂ = 2304,8304 kg/m³
4. Berat volume rata-rata BSG₃ = 2269,7524 kg/m³

Berdasarkan tabel di atas didapatkan grafik hubungan berat volume beton dengan variasi serbuk gypsum seperti gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5.13 Hubungan Berat Volume Beton Balok dengan Variasi Serbuk Gypsum

Pada grafik di atas, diketahui terdapat selisih kuat tekan beton dengan penambahan serbuk gypsum variasi. Perbedaan selisih dimungkinkan terjadi karena adanya

perbedaan kadar penambahan serbuk gypsum ke dalam campuran beton yang menyebabkan penurunan berat volume dikarenakan penambahan variasi.

5.7 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini dilakukan pada usia beton 28 hari, setelah beton melalui perawatan dengan direndam dalam air dan di angkat 1 hari sebelum pengujian. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat UTM (*universal testing machine*) dengan total 20 sampel berbentuk balok ukuran 60×15×15 cm. Pengujian kuat lentur ini dilakukan dengan sistem pembebanan 1 titik untuk mendapatkan beban maksimum. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, pola kerusakan benda uji patah tepat berada dibawah beban (di tengah benda uji), sehingga digunakan rumus seperti pada persamaan 3.15. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan kuat lentur beton setiap variasi pada sampel 1.

$$P = \frac{W}{9,81}$$

1. Kuat lentur beton normal (BN)

$$\begin{aligned} flt &= \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \\ &= \frac{3 \times 31500 \times 500}{2 \times 150 \times 150^2} \\ &= 7,017 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat lentur BSG₁

$$\begin{aligned} flt &= \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \\ &= \frac{3 \times 29750 \times 500}{2 \times 150 \times 150^2} \\ &= 6,611 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat lentur BSG₂

$$\begin{aligned} flt &= \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \\ &= \frac{3 \times 27830 \times 500}{2 \times 150 \times 150^2} \\ &= 6,184 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Kuat lentur BSG₃

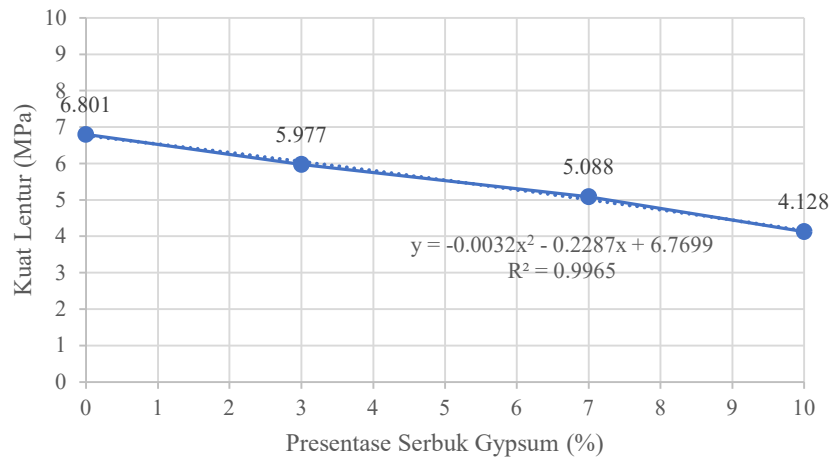
$$\begin{aligned}
 flt &= \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \\
 &= \frac{3 \times 24810 \times 500}{2 \times 150 \times 150^2} \\
 &= 5,513 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti di atas, perlu dilakukan menghitung nilai kuat lentur beton pada sampel dan varian lainnya. Dibawah ini merupakan hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 5.22

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Kode Benda Uji		Nilai Kuat Lentur	Rata-rata Nilai Kuat Lentur	Penurunan	Presentase Penurunan
BN	1	6,867	6,801	0	0,00%
	2	6,911			
	3	6,714			
	4	7,02			
	5	6,496			
BSG ₁	1	5,995	5,977	0,824	13,7%
	2	5,821			
	3	6,06			
	4	5,91			
	5	6,104			
BSG ₂	1	5,014	5,088	0,889	14,8%
	2	4,98			
	3	5,254			
	4	5,058			
	5	5,144			
BSG ₃	1	4,098	4,128	0,959	18,8%
	2	4,316			
	3	3,924			
	4	4,251			
	5	4,055			

Berdasarkan Tabel 5.19 di atas didapatkan grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan serbuk gypsum terhadap kuat lentur beton yang dapat dilihat pada gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5.14 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Berdasarkan Gambar 5.14, diketahui sampel benda uji beton dengan usia 28 hari mengalami penurunan pada hasil pengujian kuat lentur beton, dibawah ini penjelasan hasil pengujian kuat lentur beton.

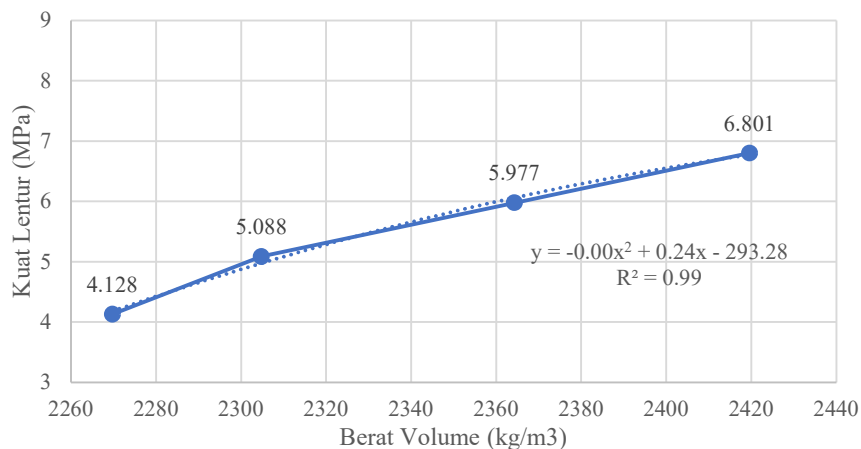
- a. Beton normal (BN) memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 6,801 MPa.
- b. Beton serbuk gypsum variasi 3% (BSG₁) memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 5,977 MPa, mengalami penurunan sebesar 13,7 % dari kuat lentur beton normal.
- c. Beton serbuk gypsum variasi 7% (BSG₂) memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 5,088 MPa, mengalami penurunan sebesar 14,8 % dari kuat lentur beton normal.
- d. Beton serbuk gypsum variasi 10% (BSG₃) memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 4,128 MPa, mengalami penurunan sebesar 18,8 % dari kuat lentur beton normal.

Penggunaan kadar serbuk gypsum yang terlalu banyak terbukti tidak efektif terhadap beton. Penggunaan serbuk gypsum terlalu banyak dapat mengurangi tingkat kelecakan beton. Beton semakin sulit dipadatkan dan terdapat rongga-rongga udara yang terjebak di dalam beton dan mengurangi nilai kuat lentur beton. Dibawah ini merupakan pola keretakan balok pada variasi 10% pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Sampel Setelah Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, didapatkan grafik hubungan antara berat volume balok dengan kuat lentur seperti pada Gambar 5.16 dibawah ini.



Gambar 5.16 Hubungan Berat Volume Balok Dengan Kuat Lentur

Berdasarkan grafik tersebut, diketahui bahwa berat volume balok dan kuat lentur beton mengalami penurunan. Bertambahnya kadar variasi serbuk gypsum menyebabkan bertambahnya volume beton karena banyak agregat yang terbuang sehingga menyebabkan berkurangnya nilai kuat lentur pada beton.

Dari hasil nilai kuat tekan dan nilai kuat lentur diketahui korelasi keduanya, menggunakan cara yang sama seperti contoh perhitungan korelasi pada Tabel 5.12. Dibawah ini contoh perhitungan nilai korelasi kuat tekan dan kuat lentur pada salah satu sampel beton normal (BN).

$$\text{Kuat tekan } (f'c) = 28,623 \text{ MPa.}$$

$$\text{Kuat lentur } (fr) = 6,801 \text{ MPa.}$$

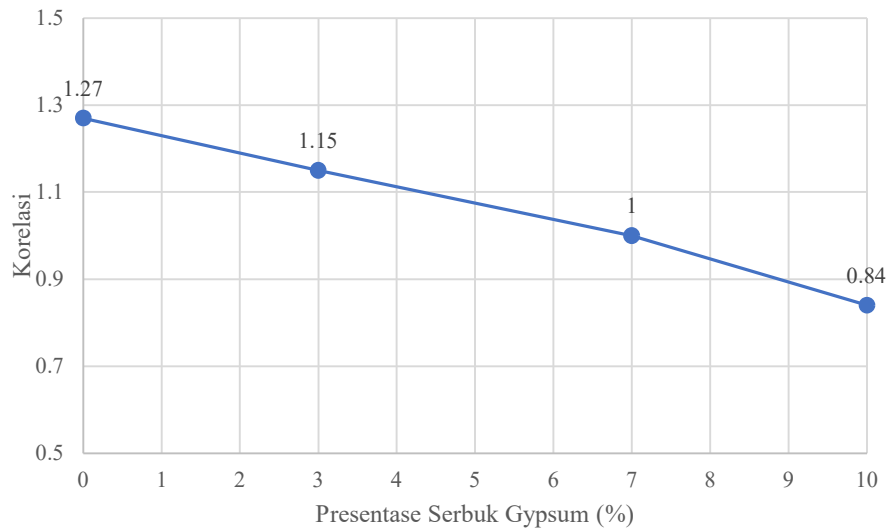
$$\begin{aligned} \sqrt{f'c} &= \sqrt{28,623} \\ &= 5,35 \end{aligned}$$

$$fr = K \sqrt{f'c}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{fr}{\sqrt{f'c}} \\ &= \frac{6,801}{5,35} \\ &= 1,27 \end{aligned}$$

Tabel 5.23 Korelasi Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	$\sqrt{f'c}$	$K \sqrt{f'c}$	Korelasi
BN	28,623	6,801	5,35	1,27	$1,27\sqrt{f'c}$
BSG ₁	27,079	5,977	5,2	1,15	$1,15\sqrt{f'c}$
BSG ₂	25,804	5,089	5,07	1,0	$1,0\sqrt{f'c}$
BSG ₃	24,135	4,128	4,91	0,84	$0,84\sqrt{f'c}$

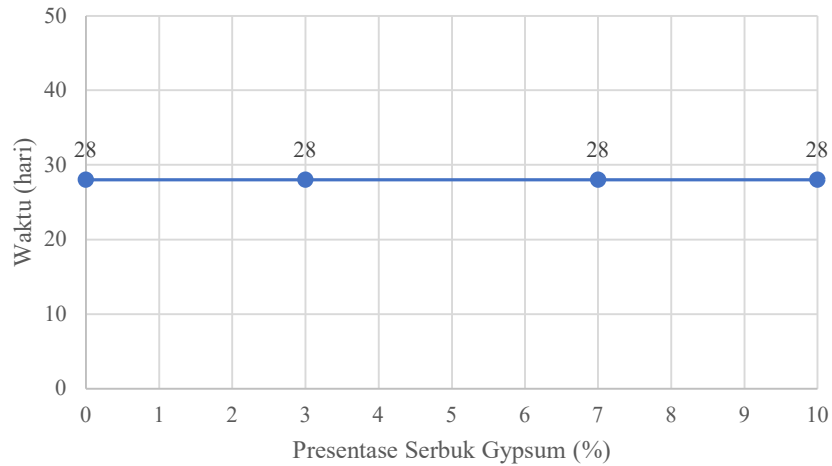


Gambar 5.17 Korelasi Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Berdasarkan Tabel 5.23 di atas diketahui korelasi kuat tekan dan kuat lentur beton dari penelitian ini, nilai korelasi yang didapatkan sebagai berikut

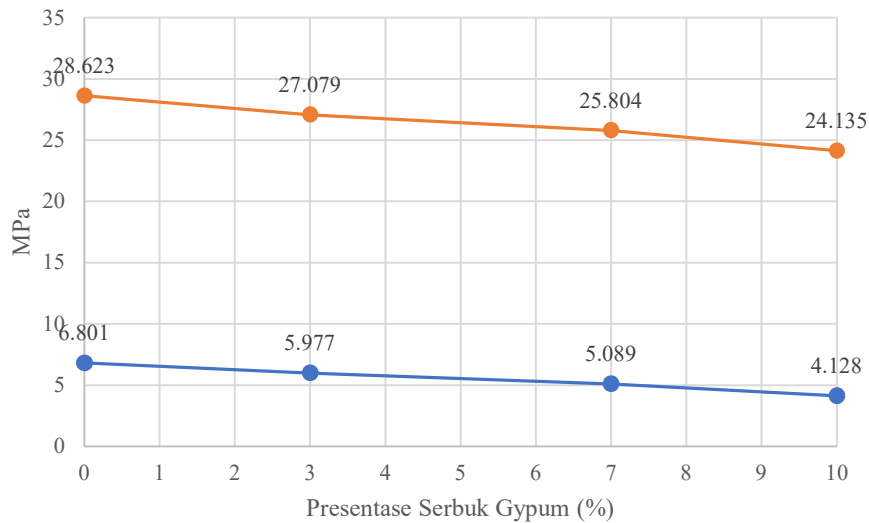
$$0,84\sqrt{f'c} < f'r < 1,27\sqrt{f'c}$$

Menurut (SNI 2847-2019) nilai minimal $K\sqrt{f'c}$ sebesar $0,62\sqrt{f'c}$ untuk beton normal. Dari penelitian ini didapatkan nilai korelasi pada beton normal sebesar $1,27\sqrt{f'c}$, dan didapatkan nilai korelasi pada beton penambahan serbuk gypsum BSG₁, BSG₂, BSG₃ berturut-turut sebesar $1,15\sqrt{f'c}$, $1,0\sqrt{f'c}$, $0,84\sqrt{f'c}$. Berdasarkan korelasi pada beton penambahan serbuk gypsum pada penelitian ini diketahui nilai yang paling mendekati dengan korelasi (SNI 2847-2019) yaitu variasi BSG₃ sebesar $0,84\sqrt{f'c}$, dan nilainya masih di atas batas minimal korelasi pada (SNI 2847-2019) sebesar $0,62\sqrt{f'c}$.



Gambar 5.18 Hubungan Presentase Gypsum dengan Waktu

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa tidak ada perbedaan waktu untuk proses pembuatan hingga proses perawatan beton, pada beton normal dan beton variasi dibutuhkan waktu selama 28 hari. Dibawah ini merupakan grafik hubungan kuat tekan dengan kuat lentur gypsum pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur Beton

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk gypsum terhadap kuat tekan dan kuat lentur mengalami penurunan mutu beton. Berdasarkan semua data hasil dan pembahasan dapat diketahui harga satu campuran beton dibawah ini.

Harga agregat halus 1 pickup (1000 kg)	= Rp 400.000,00
Harga agregat kasar 1 pickup (1000 kg)	= Rp 250.000,00
Harga semen 1 sak (40 kg)	= Rp 52.000,00
Harga serbuk gypsum casting (18 kg)	= Rp 40.000,00

1. Contoh berat dan harga satu campuran beton benda uji silinder

BN	: Agregat halus	= 4,030 kg
	: Agregat kasar	= 7,823 kg
	: Semen	= 2,825 kg

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat halus} &: \frac{\text{Berat agregat halus}}{\text{Jumlah total agregat halus} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{4,030 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} \times \text{Rp } 400.000,00} \\ &: \text{Rp } 1.612,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat kasar} &: \frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Jumlah total agregat kasar} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{7,823 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} \times \text{Rp } 250.000,00} \\ &: \text{Rp } 1.955,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga semen} &: \frac{\text{Berat agregat halus}}{\text{Jumlah total semen} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{2,825 \text{ kg}}{40 \text{ kg} \times \text{Rp } 52.000,00} \\ &: \text{Rp } 3,673,00 \end{aligned}$$

Tabel 5.24 Harga Satu Campuran Beton Silinder

Kode Benda Uji	Harga Agregat Halus (Rupiah)	Harga Agregat Kasar (Rupiah)	Harga Semen (Rupiah)	Harga Air (Rupiah)	Harga Serbuk Gypsum (Rupiah)	Total Harga (Rupiah)
BN	1.612	1.955	3.673	0	0	7.241
BSG 1	1.612	1.955	3.673	0	188	7.429
BSG 2	1.612	1.955	3.673	0	439	7.680
BSG 3	1.612	1.955	3.673	0	627	7.869

Berdasarkan Tabel di atas,

1. BN	= Rp 7.241,00 × 10 sampel	= Rp 72.414,00
2. BSG 1	= Rp 7.429,00 × 10 sampel	= Rp 74.298,00
3. BSG 2	= Rp 7.680,00 × 10 sampel	= Rp 76.810,00
4. BSG 3	= Rp 7.869,00 × 10 sampel	= Rp 78.694,00
<u>Total</u>		<u>= Rp 302.215,00</u>

2. Contoh perhitungan berat dan harga satu campuran beton benda uji balok

BN	: Agregat halus	= 10,263kg
	Agregat kasar	= 19,928 kg
	Semen	= 3,597 kg
	Serbuk gypsum	= 0 kg

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat halus} &: \frac{\text{Berat agregat halus}}{\text{Jumlah total agregat halus} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{10,263 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} \times \text{Rp } 400.000,00} \\ &: \text{Rp } 4.105,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat kasar} &: \frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Jumlah total agregat kasar} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{19,928 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} \times \text{Rp } 250.000,00} \\ &: \text{Rp } 4.980,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga semen} &: \frac{\text{Berat agregat halus}}{\text{Jumlah total semen} \times \text{Harga}} \\ &: \frac{3,597 \text{ kg}}{40 \text{ kg} \times \text{Rp } 52.000,00} \\ &: \text{Rp } 9.354,00 \end{aligned}$$

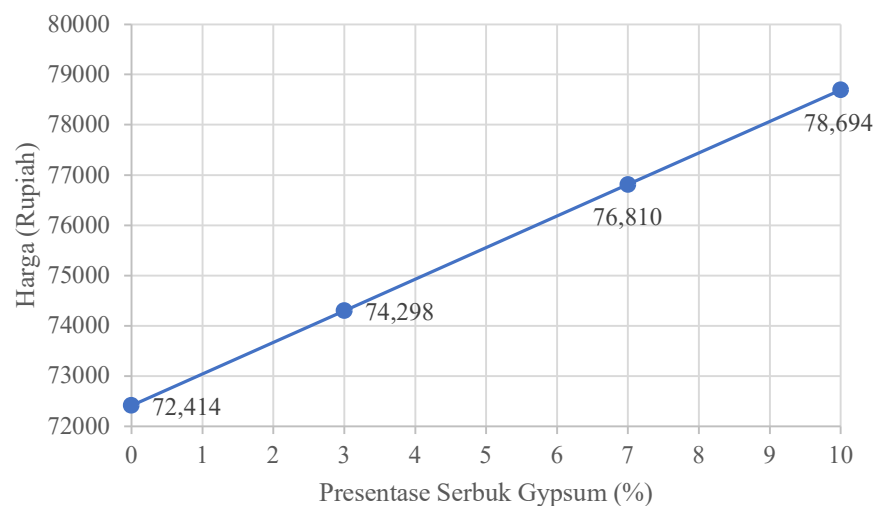
Tabel 5.25 Harga Satu Campuran Beton Balok

Kode Benda Uji	Harga Agregat Halus (Rupiah)	Harga Agregat Kasar (Rupiah)	Harga Semen (Rupiah)	Harga Air (Rupiah)	Harga Serbuk Gypsum (Rupiah)	Total Harga (Rupiah)
BN	4.105	4.980	9.354	0	0	18.440
BSG 1	4.105	4.980	9.354	0	479	18.919
BSG 2	4.105	4.980	9.354	0	1.119	19.559
BSG 3	4.105	4.980	9.354	0	1.599	20.039

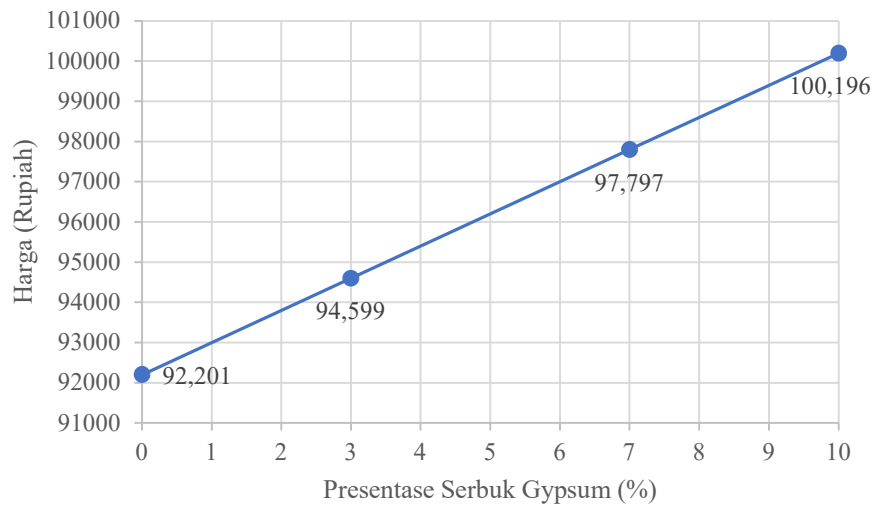
Berdasarkan Tabel di atas,

1. BN = Rp 18.440,00 × 5 sampel = Rp 92.200,00
 2. BSG 1 = Rp 18.919,00 × 5 sampel = Rp 94.599,00
 3. BSG 2 = Rp 19.559,00 × 5 sampel = Rp 97.797,00
 4. BSG 3 = Rp 20.039,00 × 5 sampel = Rp 100.196,00
- Total = Rp 394.793,00

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.24 dan 5.25 didapatkan hasil grafik pada Gambar 5.20 dan 5.21 dibawah ini.



Gambar 5.20 Grafik Harga Campuran Beton Silinder



Gambar 5.21 Grafik Harga Campuran Beton Balok

Berdasarkan grafik di atas, diketahui bahwa penambahan serbuk gypsum ke dalam campuran beton menambah biaya dan tidak efisien. Terjadi kenaikan harga dikarenakan adanya penambahan serbuk gypsum kedalam campuran beton, sehingga dapat disimpulkan bahwa beton dengan bahan tambah serbuk gypsum tidak dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada usia 28 hari, beton dengan kadar 0%, 3%, 7%, dan 10% berturut-turut memiliki nilai kuat rata-rata tekan sebesar 28,623 MPa, 27,079 MPa, 25,804 MPa, dan 24,135 MPa. Pada variasi 3% terjadi peningkatan 8,32% dari kuat tekan rencana, variasi 7% terjadi peningkatan sebesar 3,2% dari kuat tekan rencana, dan pada variasi 10% terjadi penurunan sebesar 3,48% dari kuat tekan rencana. Hal ini terjadi karena bertambahnya berat serbuk gypsum namun jumlah air tetap sehingga ada peningkatan suhu yang disebabkan oleh hidrasi serbuk gypsum semakin meningkat, sehingga menyebabkan beton cepat mengeras.
2. Pada usia 28 hari, beton dengan kadar 0%, 3%, 7%, dan 10% berturut-turut memiliki nilai kuat lentur sebesar 6,801 MPa, 5,977 MPa, 5,088 MPa, 4,128 MPa. Pada variasi 3% terjadi penurunan sebesar 13,7% dari kuat lentur beton normal, variasi 7% terjadi penurunan sebesar 14,8% dari kuat lentur beton normal, dan variasi 10% terjadi penurunan sebesar 18,8% dari kuat lentur beton normal.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, ada berbagai hal yang dijadikan saran untuk pengembangan penelitian berikutnya tentang pengaruh penambahan serbuk gypsum terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton sebagai berikut.

1. Pada saat pembuatan beton, harus lebih teliti dan lebih cermat agar memperoleh kualitas sampel yang baik, terutama pada saat proses pengadukan dan pemadatan beton segar.

2. Untuk penelitian berikutnya seharusnya serbuk gypsum sebagai bahan pengganti semen diberi tambahan cairan yang mempercepat pengerasan beton, atau cairan lainnya yang dapat menambah mutu beton.
3. Untuk penelitian berikutnya disarankan untuk serbuk gypsum sebagai substitusi bukan sebagai filler.

DAFTAR PUSTAKA

- Dynasty, T. (2017). *Pengaruh Kuat Tekan Beton Terhadap Bahan Pengganti Sebagian Semen dan Agregat Kasar Dengan Menggunakan Bahan Limbah Gypsum 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan Tempurung Kelapa 10%*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Imani, R. (2020). *Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton*. Padang.
- Ismayadi, M. Y. (2018). *Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gypsum dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton*. Medan.
- Mulyono. (2020). *Pengaruh Limbah Gypsum Pada Kuat Tekan Beton*. Semarang.
- Nasional, B. S. (1990). (03-1968-1990) *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus*.
- Nasional, B. S. (1990). (SNI 03-1969-1990) *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat*. Jakarta.
- Nasional, B. S. (1990). (SNI 03-1972-1990) *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta.
- Nasional, B. S. (1990). (SNI 03-1972-1990) *Metode Pengujian Slump Beton*. Jakarta.
- Nasional, B. S. (1997). (SNI 03-4431-1997) *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton*. Jakarta.
- Nasional, B. S. (2019). (SNI 03-2847-2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Nugraha, A. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Pane, F. P., H. Tanudjaja, & Windah, R. S. (2015). *Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Widjojoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL Volume 1 No.1*, 53.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

Nomor : 151/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VIII/2023
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:
KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : PERKENAN PERDANA THOHARI (001220306330)
NIM : 19511262
JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SERBUK GYPSUM TERHADAP
KUAT TEKAN BETON DAN KUAT LENTUR BETON
DOSEN PEMBIMBING : ASTRIANA HARDAWATI, S.T., M. ENG


Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, 8 Agustus 2023
Pemohon


PERKENAN PERDANA THOHARI
NIM. 19511262

Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium



Fakultas
**TEKNIK SIPIL
 & PERENCANAAN**
 Gedung VII Blok Utara
 Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
 Jl. Sekeloa Indah I No. 143 Yogyakarta 55584
 T. 0271-855500 ext. 2210, 2211
 F. 0271-855130
 E. fakultas.perencanaan@uii.ac.id
 www.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 367/ Ka.Lab/60/LBKT/XI/2023

Bismillahirrohmanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Malik Mushthofa, S.T., M.Eng
 NIK : 185111302
 Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : PERKENAN PERDANA THOHARI
 N I M : 19511262
 Program Studi : S1 Teknik Sipil
 Dosen Pembimbing TA : Astriana Hardawati, S. T., M. Eng.
 Instansi : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SERBUK GYPSUM TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya *).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 6 November 2023

Administrasi Laboratorium

Kepala Laboratorium BKT,

Daru Salam, AMd

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

*) Nota/Kwitansi terlampir

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	498	498	498
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1043	1047	1045
Berat piknometer berisi air, gram (B)	737	734	735.5
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2.567	2.663	2.615
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2.577	2.674	2.625
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2.594	2.692	2.642
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	0.4016%	0.4016%	0.4016%

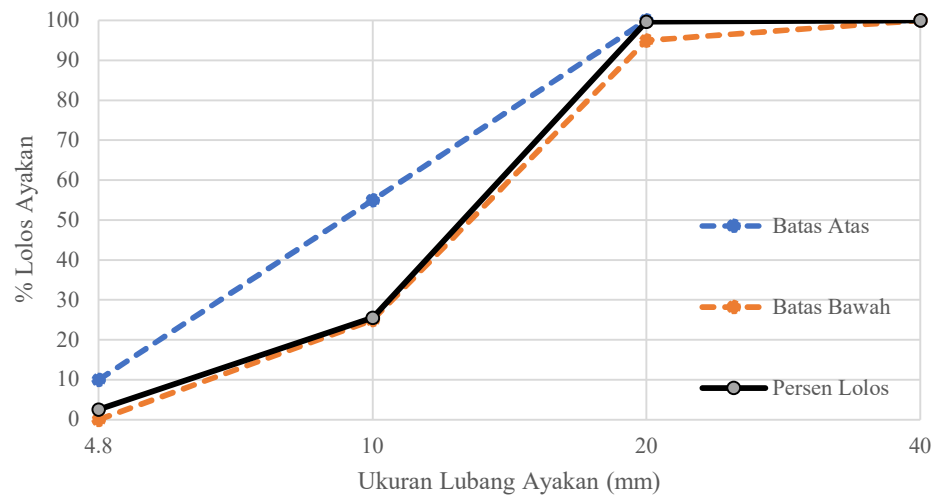
MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20 MM
SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	16	0,32	0,32	99,68
10	3707	74,14	74,46	25,54
4,8	1151	23,02	97,48	2,52
2,4	23	0,46	97,94	2,06
1,2	6	0,12	98,06	1,94
0,6	0	0	98,06	1,94
0,3	0	0	98,06	1,94
0,15	0	0	98,06	1,94
Pan	97	1,94	100	0
Jumlah	5000	100	662,44	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{662,44}{100} = 6,624 \%$$

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20 MM
SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)**

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,1	30,1	30,1
Berat tabung (W1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18378	17836	18107
Berat agregat (W3), gram	7187	7143	7165
Volume tabung (V), gram	5285,462	5285,562	5285,462
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,359	1,351	1,355

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,95	14,95	14,95
Tinggi silinder (t), cm	30,1	30,1	30,1
Berat tabung (W1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19254	18891	19072,5
Berat agregat (W3), gram	8063	8198	8130,5
Volume tabung (V), gram	5285,462	5285,462	5285,462
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,525	1,551	1,538

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang diisyaratkan	25	Mpa
2	Nilai tambah / Margin (M)	12	Mpa
3	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
4	Jenis semen	Tipe I	
5	Jenis agregat halus	Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
6	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
7	Fas digunakan	0,5	
8	Slump	6-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	20	mm
10	Kadar air bebas	205	kg/m ³
11	Kadar semen minimum	325	kg/m ³
	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
12	Kadar semen yang digunakan	410	kg/m ³
13	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi III	
14	Berat jenis agregat halus	2,625	
	Berat jenis agregat kasar	2,586	
15	Persen agregat halus	34	%
16	Persen agregat kasar	64	%
17	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,599	
18	Berat isi beton	2335	kg/m ³
19	Kadar agregat gabungan	1720	kg/m ³
20	Kadar agregat halus	584,8	kg/m ³
21	Kadar agregat kasar	1135,2	kg/m ³
22	Kadar semen dengan angka penyusutan	533	kg/m ³
23	Kadar air dengan angka penyusutan	266,5	kg/m ³
24	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	760,24	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1475,76	kg/m ³

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN SILINDER BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4804-1998)**

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BN	1	149,8	17624,36	13,326	491,76	27,902
	2	150,1	17695,02	13,155	523,45	29,581
	3	151,2	17955,33	13,109	501,35	27,992
	4	150,8	17860,45	12,897	485,67	27,192
	5	149,3	17506,9	12,977	518,89	29,639
	6	150	17718,61	13,073	558,37	31,597
	7	150,5	17789,46	13,289	503,23	28,288
	8	149,6	17577,33	12,809	481,72	27,405
	9	150,7	17836,77	13,167	497,86	27,911
	10	150,2	17718,61	13,056	510,22	28,795
BSG ₁	1	149,8	17624,36	13,006	480,88	27,284
	2	150,5	17789,46	12,979	496,33	27,9
	3	149,6	17577,33	13,008	462,77	26,327
	4	150,3	17742,21	13,030	502,75	28,336
	5	150,9	17884,15	12,985	470,23	26,293
	6	151,1	17931,59	13,260	487,47	27,184
	7	149,2	17483,46	13,158	454,73	26,009
	8	151,3	17979,09	13,161	469,03	26,087
	9	150,7	17836,77	13,302	473,21	26,53
	10	149,7	17600,84	13,125	507,6	28,839
BSG ₂	1	150	17671,45	12,990	445,92	25,233
	2	149,7	17600,84	12,872	459,92	26,13
	3	150,2	17718,61	12,952	469,83	26,516
	4	151,3	17979,09	12,890	453,21	25,207
	5	150,9	17884,15	12,833	447,83	25,04

Lanjutan Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

	6	150,7	17836,77	12,923	470,57	26,382	
	7	149,6	17577,33	12,784	450,99	25,657	
	8	150,3	17742,21	12,874	453,12	25,539	
	9	150,5	17789,46	12,919	472,39	26,554	
	10	149,7	17600,84	13,059	453,78	25,781	
BSG ₃	1	150,9	17844,15	12,672	430,82	24,089	24,135
	2	149,6	17577,33	12,806	421,2	23,962	
	3	151,1	17931,59	12,660	436,77	24,357	
	4	150,7	17836,77	12,644	429,12	24,058	
	5	151,3	17979,09	12,684	401,92	22,354	
	6	149,7	17600,84	12,783	424,01	24,090	
	7	150,1	17695,02	12,789	413,21	24,351	
	8	149,3	17506,9	12,848	452,87	25,868	
	9	149,7	17600,84	12,754	423,49	24,060	
	10	150,5	17789,46	12,732	447,61	25,161	

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji		Beban Maksimum (kgf)	Beban Maksimum (kN)	Nilai Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata Nilai Kuat Lentur	Lebar Benda Uji (mm)	Tinggi Benda Uji (mm)	Panjang Benda Uji (mm)
BN	1	3150	30902	6,867	6,801	149,8	150,1	599,8
	2	3170	31098	6,911		149,8	149,8	600,1
	3	3080	30215	6,714		150,1	150,1	600,1
	4	3220	31588	7,02		149,9	150,1	599,6
	5	2980	29234	6,496		150	149,8	600,1
BSG ₁	1	2750	26978	5,995	5,977	149,9	149,8	600,1
	2	2670	26193	5,821		150,1	150,1	600,1
	3	2780	27272	6,06		149,8	150,1	599,9
	4	2710	26585	5,91		150,1	149,9	599,7
	5	2800	27468	6,104		150	149,9	599,7
BSG ₂	1	2300	22563	5,014	5,088	149,8	150,1	600
	2	2280	22367	4,98		149,9	150	600,1
	3	2410	24642	5,254		149,9	149,8	599,7
	4	2320	22759	5,058		150	149,8	600,1
	5	2360	23152	5,144		150	149,9	599,9
BSG ₃	1	1880	18843	4,098	4,128	150,1	150,1	599,8
	2	1980	19424	4,316		150	150,1	600
	3	1800	17658	3,924		149,9	149,9	599,9
	4	1950	19129	4,251		149,8	150	599,7
	5	1860	18247	4,055		150	149,8	599,7

Lampiran 7 Gambar Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji**Gambar L. 7.1 Pembuatan Beton Segar****Gambar L. 7.2 Beton Segar****Gambar L. 7.3 Pengujian *Slump***



Gambar L. 7.4 Sampel Silinder Setelah *Capping*



Gambar L. 7.5 Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L. 7.6 Pola Keretakan Sampel Silinder



Gambar L. 7.7 Pengujian Kuat Lentur Beton



Gambar L. 7.8 Pola Keretakan Sampel Balok