TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BETON

(THE EFFECT OF COARSE AGGREGATE SUBSTITUTION WITH CERAMIC WASTE ON THE COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF CONCRETE)

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

Muhammad Angger Pangestu
20511086

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BETON

(THE EFFECT OF COARSE AGGREGATE SUBSTITUTION WITH CERAMIC WASTE ON THE COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF CONCRETE)

Disusun oleh

Muhammad Angger Pangestu
20511086

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat sarjana teknik sipil

Diuji Pada Tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji 1	Penguji 2
17/2'25	17/2 2025	
Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.	**Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.**	**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**
NIK: 885110105	**NIK: 185111304**	**NIK: 095110101**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini, saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sepenuhnya adalah hasil karya saya sendiri. Bagian -bagian tertentu dalam Tugas Akhir yang menggunakan karya orang lain telah saya cantumkan sumbernya secara jelas, sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Jika dikemudian hari terbukti bahwa seluruh atau Sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat plagiasi pada bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik, sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Februari 2025

Yuat pernyataan,



Muhammad Angger Pangestu

(20511086)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BETON" dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat dan pengikut beliau di akhir zaman.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam penyelesaian studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentu saja cukup banyak hambatan yang di lalui oleh penulis. Namun, atas dukungan, semangat, saran, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan ikhlas, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang terlibat.

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji I dalam sidang Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. Selaku Dosen Penguji II dalam sidang Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menempuh studi.
4. Bapak Joko Riyanto dan Mama Suprihatin, sebagai orang tua penulis yang sudah mendidik dan membesarkan penulis hingga saat ini. Terima kasih atas segala pengobarbanan yang telah dilakukan baik secara material maupun spiritual.
5. Alifiriani Kusuma Ningrum, saudara penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk terus melangkah deni masa depan yang diharapkan.
6. Jihan Maharani Ardiningrum, terima kasih menemanin penulis dalam suka dan duka menjadi penyemangat bagi penulis.
7. Firman Nur Rachman, Tri Cahyo Waluyo, Fika Lailatul Fajriah, Muhammad Tri Rizki, Devi Ekawati, Rizky Yandhi selalu menjadi teman yang memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan peneliti ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, maupun peneliti lain sebagai tambahan referensi untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dibidang Teknik Sipil. Demikianlah yang dapat saya sampaikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL I
LEMBAR PENGESAHAN ii
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 xiv
ABSTRACT xv
BAB I 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 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Tinjauan Umum 4
2.2 Penelitian Terdahulu 4
2.3 Perbandingan Penelitian 5
2.4 Keaslian Penelitian 8
BAB III LANDASAN TEORI 9
3.1 Beton dan Mutu Beton 9
3.2 Bahan Penyusun Beton 11
3.2.1 Semen *Portland* (*Portland Cement*) 12
3.2.2 Agregat Halus 13
3.2.3 Agregat Kasar 14

3.2.4 Air 14
3.3 Pemeriksaan Bahan Susun Beton 18
3.3.1 Pemeriksaan Semen 18
3.3.2 Pemeriksaan Agregat 18
3.3.3 Pemeriksaan Air 24
3.3.4 Pemeriksaan Bahan Tambah 25
3.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 26
3.5 Pengujian Campuran Beton (*Mix Design*) 35
3.6 Pembuatan Sampel Beton Uji 36
3.7 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal 37
3.8 Pengujian Sampel Beton 38
BAB IV METODE PENELITIAN 40
4.1 Umum 40
4.2 Bahan Penyusun Beton 40
4.3 Persiapan 41
4.4 Pemeriksaan Bahan Susun 42
4.4.1 Pemeriksaan Agregat 42
4.4.2 Pemerikasaan Semen 67
4.4.3 Pemeriksaan Air 67
4.5 Perencanaan Campuran *Mix Design* 68
4.6 Pembuatan Benda Uji 76
4.7 Nilai *Slump* 78
4.8 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal 79
4.9 Pengujian Sampel Beton 80
4.10 Analisis Pengujian Benda Uji 96
4.11 Pembahasan 96
4.12 Kesimpulan dan Saran 97
4.13 Diagram Alir Penelitian 97
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 100
5.1 Pemeriksaan Agregat 100
5.1.1 Agregat Halus 100
5.1.2 Agregat Kasar 101

5.1.3 Bahan Tambah Keramik 102
5.2 Proporsi Campuran Beton Normal 103
5.3 Hasil Pengujian Sampel Beton *Trial* 104
5.4 *Slump* 104
5.5 Berat Volume beton 106
5.6 Kuat Tekan Beton 107
5.7 Kuat Tarik Belah Beton 109
5.8 Pembahasan Menyeluruh 110
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 112
6.1 Kesimpulan 112
6.2 Saran 112
DAFTAR PUSTAKA 113
LAMPIRAN 115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian 6
Tabel 3.1 Batas Daerah Gradasi Pasir 13
Tabel 3.2 Batas Daerah Gradasi Agregat Kasar 14
Tabel 3.3 Nilai Standar Deviasi untuk Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan 27
Tabel 3.4 Perkiraan Kuat Tekan Dengan Fas 29
Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton 31
Tabel 3.6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS 32
Tabel 3.7 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur 37
Tabel 4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 44
Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Halus 47
Tabel 4.3 Batas Gradasi Agregat Halus 48
Tabel 4.4 Berat Volume Gembur Agregat Halus 50
Tabel 4.5 Berat Volume Padat Agregat Halus 50
Tabel 4.6 Kadar Lumpur Dalam Pasir 51
Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 53
Tabel 4.8 Analisa Saringan Agregat Kasar 56
Tabel 4.9 Batas Gradasi Agregat Kasar 57
Tabel 4.10 Berat Volume Gembur Agregat Kasar 59
Tabel 4.11 Berat Volume Padat Agregat Kasar 59
Tabel 4.12 Berat Jenis dan Penyerapan Air Keramik 61
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan Keramik 64
Tabel 4.14 Batas Gradasi Agregat Kasar 65
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Keramik 67
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Keramik 67
Tabel 4.17 Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan 68
Tabel 4.18 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) 69
Tabel 4.19 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton 71
Tabel 4.20 Persyaratan Jumlah semen Mininmum dan FAS Maksimum 72

Tabel 4.21 Proporsi Campuran Benda Uji 76
Tabel 4.22 Pengujian *Slump* 79
Tabel 4.23 Beton *Trial* 80
Tabel 4.24 Berat Volume Beton Normal 81
Tabel 4.25 Berat Volume Beton dengan Pecahan Keramik 14% 82
Tabel 4.26 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 18% 83
Tabel 4.27 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 22% 84
Tabel 4.28 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 26% 85
Tabel 4.29 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 30% 86
Tabel 4.30 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 34% 87
Tabel 4.31 Kuat Tekan Beton 90
Tabel 4.32 Kuat Tarik Beton 94
Tabel 5.1 Campuran Beton Normal 103
Tabel 5.2 Nilai *Slump* Beton 105
Tabel 5.3 Berat Volume Beton 106
Tabel 5.4 Kuat Tekan Beton 107
Tabel 5.5 Kuat Tarik Belah Beton 109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Pecahan Keramik 17
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen 29
Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm 33
Gambar 3.4 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan 34
Gambar 3.5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton 38
Gambar 3.6 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 39
Gambar 4.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah I 48
Gambar 4.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm 57
Gambar 4.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Keramik Maksimum 20 mm 65
Gambar 4.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan faktor Air Semen (fas) 70
Gambar 4.5 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 73
Gambar 4.6 Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan 75
Gambar 4.7 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 96
Gambar 4.8 Diagram Alir Pengujian 98
Gambar 5.1 Hubungan Nilai Slump dengan Variasi Keramik pada Campuran Beton 105
Gambar 5.2 Berat Volume Beton Setiap Variasi 106
Gambar 5.3 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Pecahan Keramik 108
Gambar 5.4 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton dengan Kadar Pecahan Keramik 110
Gambar 5.5 Persentase Kenaikan Hasil Pengunjian Keseluruhan 111

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium 107
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat 108
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton 135
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Berat Volume 136
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan 142
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah 144
Lampiran 7 Dokumentasi Laboratorium 146
Lampiran 8 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium 149

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PCC = *Portland Composite Cement*

SNI = Standar Nasional Indonesia

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

MPa = Megapascal

ASTM = *America Standard for Testing Material*

mm = Millimeter

sd = Standar deviasi

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata

FAS = Faktor Air Semen

W = Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m^3)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

W_{semen} = Kadar semen (kg)

W_{air} = Kadar air bebas (kg)

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

%AH = Persentase agregat halus

%AK = Persentase agregat kasar

KAG = Kadar Agregat Gabungan

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

P = Beban tekan (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

F_{ct} = Kuat tarik belah (MPa)

^oC = Derajat celcius

SSD = *Saturated surface dry*

ABSTRAK

Beton merupakan material utama dalam konstruksi yang terdiri dari agregat, semen, dan air. Inovasi dalam pembuatan beton terus dikembangkan, salah satunya dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan substitusi agregat untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi material. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi agregat kasar dengan limbah keramik terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.

Pada penelitian ini digunakan keramik dengan variasi 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% dari besat agregat kasar yang dibutuhkan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui persentase kadar optimum dari keramik berdasarkan pengujian kuat tekan dan tarik belah beton pada umur 28 hari. Perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Hasil yang diperoleh pengujian kuat tekan maksimum beton dengan substitusi limbah keramik terjadi pada kadar 14% yaitu sebesar 28,020 MPa, mengalami peningkatan sebesar 5,68% dibandingkan beton normal. Pengujian kuat tarik belah beton maksimum juga terjadi pada kadar 14% dengan nilai sebesar 2,378 MPa, meningkat sebesar 2,99%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar yang optimum adalah pada kadar 14% dari total agregat kasar, karena mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Kata kunci: Beton, Keramik, Kuat Tekan, Kuat Tarik

ABSTRACT

Concrete is the main material in construction consisting of aggregate, cement, and water. Innovation in concrete manufacturing continues to be developed, one of which is by utilizing waste as a substitute aggregate material to reduce environmental impacts and increase material efficiency. This study aims to analyze the effect of coarse aggregate substitution with ceramic waste on the compressive strength and tensile strength of concrete.

In this study, ceramics were used with variations of 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, and 34% of the required coarse aggregate size. Testing was carried out to determine the optimum percentage of ceramic content based on concrete compressive and splitting tensile strength testing at 28 days. Concrete mixture planning uses the SNI 03-2834-2000 method with a planned compressive strength of 25 MPa using cylindrical test objects with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm.

The results obtained from the maximum compressive strength test of concrete with ceramic waste substitution occurred at a content of 14%, which was 28.020 MPa, an increase of 5.68% compared to normal concrete. The maximum concrete splitting tensile strength test also occurred at a content of 14% with a value of 2.378 MPa, an increase of 2.99%. Therefore, it can be concluded that the use of ceramic waste as an optimum coarse aggregate substitute is at a content of 14% of the total coarse aggregate, because it can increase the compressive strength and splitting tensile strength of concrete.

Keywords: Concrete, Ceramics, Compressive Strength, Tensile Strength

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembuatan suatu konstruksi adalah proses merancang, mengembangkan, dan membangun suatu struktur fisik atau sistem yang melibatkan perencanaan, material, tenaga kerja, dan teknologi untuk menciptakan hasil yang sesuai dengan tujuan spesifik. Konstruksi dapat meliputi berbagai jenis struktur seperti, jembatan, jalan, gedung, infrastruktur publik, dan lainnya. Pada proses pembuatan suatu konstruksi perlu diperhatikan beragam aspek dalam bahan penyusun struktur. Salah satu bahan penyusun struktur yang perlu diperhatikan yaitu beton. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2012) dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7656:2012, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya.

Seiring berkembangnya zaman maka dilakukan berbagai upaya inovasi dalam pembuatan campuran beton. Salah satu inovasi yang dilakukan yaitu pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti dalam pembuatan campuran beton. Apabila limbah tersebut tidak didaur ulang dan dibuang secara sembarangan maka dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, sehingga untuk mengurangi dampak tersebut maka dapat dilakukan pemanfaatan berbagai jenis limbah pembangunan. Salah satu limbah proses pembangunan adalah hasil renovasi bangunan yang berupa limbah pecahan keramik.

Limbah keramik adalah limbah yang dihasilkan dari potongan dan pecahan proses pekerjaan renovasi bangunan atau pekerjaan konstruksi lainnya. Keramik sendiri terbuat dari tanah liat yang proses pengerasannya dengan cara pembakaran pada temperatur tinggi. Pemakaian bahan material limbah pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton di Indonesia sudah banyak dilakukan. Hal ini disebabkan bahan baku agregat kasar mudah

didapat, tetapi cepat atau lambat material akan semakin habis maka menyebabkan material tahun ketahun akan semakin mahal

Dari hasil penelitian Muhammad Farid Maulana Hendarto (2023), disimpulkan bahwa hasil pengujian kuat tekan rata-rata pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari dengan persentase substitusi keramik sebesar 5%, 10%, dan 15% mendapat nilai kuat tekan beton yang tertinggi pada persentase limbah keramik 5% sebesar 22,83 MPa. Oleh karenanya perlu dilakukan penelitian lagi untuk memperoleh persentase substitusi yang lebih akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang didapatkan, sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh keramik terhadap substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan dan tarik pada beton?
2. Berapa nilai kuat tekan dan kuat tarik pada kadar optimum substitusi agregat kasar dengan keramik pada campuran beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh keramik terhadap substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan dan tarik pada beton.
2. Mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik pada kadar optimum substitusi agregat kasar dengan keramik pada campuran beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengurangan limbah keramik yang terdampak pada lingkungan.
2. Referensi untuk pengetahuan mengenai limbah keramik berguna dalam ilmu teknologi beton.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Rencana campuran beton (*Mix Design*) mengacu pada Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000) yang dibuat dengan mutu *f'c* 25 MPa.
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC) dengan merek Semen Tiga Roda.
3. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm, yang berasal dari Clereng.
4. Agregat halus berasal dari Progo.
5. Ukuran limbah keramik yang digunakan berukuran maksimal 20 mm, yang berasal dari sisa pembangunan yang berada di Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Limbah keramik yang digunakan tidak diklasifikasikan sesuai jenis dan merek keramik.
6. Limbah keramik yang digunakan untuk substitusi yaitu interval 4% dimulai dari jarak 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% terhadap agregat kasar.
7. Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
8. Benda uji berupa silinder beton ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
9. Jumlah benda uji beton sebanyak 70 buah.
10. Pengujian kuat tekan dan tarik beton dilakukan pada umur beton 28 hari.
11. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Meninjau penelitian-penelitian terdahulu bertujuan untuk menemukan hal-hal yang relevan dengan penelitian yang dilakukan, seperti persamaan subjek. Dengan mempertimbangkan hasil penelitian terdahulu maka dapat dilakukan perbandingan atau perbandingan terhadap objek penelitian, sehingga penelitian yang dilakukan tidak terulang kembali.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut.

Penelitian Hermansyah, dkk mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Teknologi Sumbawa tahun 2022 yang berjudul "Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton". penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kuat tekan pda umur 28 hari pada variasi 0%, 0,1%, 0,2% dan 0,3% menunjukan angka kuat tekan sebesar 32,05 MPa, 34,09 MPa, 36,01 MPa dan 36,96 MPa kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 0,3% yaitu 36,96 MPa, ini disebabkan oleh sebaran serbuk limbah keramik ke segala arah yang lebih baik atau merata sehingga menghasilkan beton yang lebih kedap, dan bila variasi semakin tinggi kebutuhan air yang digunakan semakin terbagi ke semua material dan menghasilkan nilai *slump* yang semakin rendah, sehingga menghasilkan beton yang berongga.

Penelitian Eka Purnamasari, dkk mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin tahun 2023 yang berjudul "Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton". Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton pada umur 28 hari dari hasil kuat tekan pada benda uji beton dengan variasi 0% limbah keramik didapat kuat tekan sebesar 206,941 kg/cm^2. Pada beton dengan variasi 10%

penambahan limbah keramik terjadi penurunan kuat tekan sebesar 13,67% dari kuat tekan rencana K-200 kg/cm². Sedangkan pada beton dengan variasi 15% penambahan limbah keramik memiliki penurunan kuat tekan beton sebesar 6,60% dari kuat tekan rencana.

Penelitian Muhammad Farid Maulana Hendarto mahasiswa Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta tahun 2023 yang berjudul "Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Pada Beton dan Mortar". Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton pada umur 28 hari pada presentase substitusi keramik 5%, 10%, dan 15% dari hasil tersebut didapatkan nilai tertinggi kuat tekan sebesar 22,83 MPa pada presentase 15%. Maka semakin banyak keramik yang digunakan justru dapat menurunkan kuat tekan beton.

Penelitian Lilis Tiyani, dkk mahasiswa Teknik Sipil Politeknik Negri Jakarta tahun 2024 yang berjudul "Inovasi Eco Green Concretedengan Pemanfaatan Limbah Saw, Limbah Beton, Limbah Keramik, Dan Limbah Karet Sebagai Substitusi Agregat". Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton dan tarik serta diharapkan akan berpengaruh pada estimasi biaya proyek pada umur beton 7, 14, dan 28 hari dengan persentase limbah *Submerged Arc Welding* (SAW) 20%, limbah beton 20%, limbah keramik 10%, dan limbah karet 8% dari hasil tersebut didapatkan kuat tekan beton inovasi sebesar 33,92 MPa dan kuat tarik sebesar 3,95 MPa. Hasil kuat tarik dan kuat lentur beton inovasi memperoleh hasil lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa inovasi.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 pada halaman berikutnya

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian

Penelitian Terdahulu					**Penelitian yang dilakukan**
Nama	Hermansyah, dkk	Eka Purnamasari, dkk	Muhammad Farid Maulana Hendarto	Lilis Tiyani, dkk	Muhammad Angger Pangestu
Tahun	2022	2023	2023	2024	2025
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton	Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan pada Beton dan Mortar	Inovasi Eco Green Concretedengan Pemanfaatan Limbah Saw, Limbah Beton, Limbah Keramik, Dan Limbah Karet Sebagai Substitusi Agregat	Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Limbah Keramik Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Beton.
Tujuan	Untuk mengetahui pengaruh kuat tekan beton akibat penambahan limbah keramik pada campuran beton	Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi limbah pecahan keramik yang berbeda-beda sebagai pengurangan agregat kasar terhadap hasil pengujian kuat tekan beton sebagai salah satu solusi dari pemanfaatan limbah dan inovasi bahan pembuat beton	Untuk mengetahui pengaruh substitusi keramik sebagai agregat kasar dan abu ampas tebu sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan pada beton dan mortar.	untuk menentukan kuat tekan beton dan tarik serta diharapkan akan berpengaruh pada estimasi biaya proyek	Untuk mengetahui kuat tekan dan tarik optimum.
Parameter yang diuji	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan dan Tarik	Kuat tekan dan kuat tarik
Mutu Beton	20 MPa	17 MPa	25 MPa	30 MPa	25 MPa

Lanjut Tabel 2.1

Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 3 sampel dengan umur beton yang direncanakan 28 hari. Variasi yang digunakan 0%, 0,1%, 0,2%, dan 0,3%.	Penelitian ini menggunakan kubus 15 x 15 cm sebanyak 9 buah setiap variasi. Dengan umur beton yang ditargetkan yaitu 14 hari dan 28 hari dan mutu beton 17 MPa. Menggunakan variasi limbah keramik 0%, 10%, dan 15%.	Penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kubus dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan umur beton 28 hari dan mutu beton 25 MPa. Menggunakan peresentase limbah keramik 5%, 10%, dan 15%.	Penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan umur beton 7, 14, dan 28 hari. Menggunakan persentase persentase limbah *Submerged Arc Welding* (SAW) 20%, limbah beton 20%, limbah keramik 10%, dan limbah karet 8%.	Penelitian ini menggunakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 70 buah. Umur beton yang direncanakan yaitu 28 hari. Menggunakan variasi limbah keramik 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% terhadap agregat kasar.
Hasil Penelitian	Pada pengujian kuat tekan berturut-turut umur 28 hari didapatkan 32,05 MPa, 34,69 MPa, 36,01 MPa dan 36,96 MPa	Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari didapatkan 206,941 kg/m^2, 178,658 kg/m^2, 193,291 kg/m^2.	Pada pengujian kuat tekan pada umur 28 hari didapatkan 22,83 MPa, 21,7 MPa, 18,68 MPa.	Pada pengujian kuat tekan pada umur 28 hari didapatkan beton inovasi sebesar 33,92 MPa dan kuat tarik sebesar 3.95 MPa	Pada pengujian ini didapatkan hasil pengujian kuat tekan untuk variasi 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% didapatkan 26,512 MPa, 28,020 MPa, 26,213 MPa, 24,757 MPa, 23,607 MPa, 20,456 MPa, dan 18,971 MPa.

2.4 Keaslian Penelitian

Peneliatian yang dilakukan saat iniberbeda dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, pada peneltian Muhammad Farid Maulana Hendarto (2023), menggunakan abu ampas tebu dengan persentase 15% dan limbah keramik dengan persentase sebesar 5%, 10%, dan 15% disubstitusikan dengan agregat kasar dan mutu 25 MPa. Sedangkan penelitian ini dilakukan dengan persentase limbah keramik dengan variasi 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% disubstitusikan dengan agregat kasar. Selain itu penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 70 buah serta menggunakan mutu rencana 25 MPa. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai optimum kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan umur beton 28 hari.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton dan Mutu Beton

Menurut SNI-03-2847-2019, beton adalah campuran yang terdiri dari semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, yang dapat ditambahkan dengan bahan campuran tambahan (*admixture*) sesuai kebutuhan. Beton akan mengalami proses pengerasan secara bertahap, di mana kekuatannya dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusun, umur beton, proporsi campuran, metode campuran, proses perawatan (*curing*), serta kondisi lingkungan sekitarnya. Kekuatan beton yang dirancang umumnya dicapai pada umur 28 hari.

Sifat-sifat beton umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan yang digunakan, metode pengerjaan, serta cara perawatannya. Karakteristik beton umumnya dipengaruhi oleh mutu bahan penyusun, metode pengerjaan, serta teknik perawatannya. Beton juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Tjokrodimuljo (2007), terdapat beberapa kelebihan beton sebagai material struktur bangunan antara lain sebagai berikut.

1. Material beton umumnya mudah ditemukan di sekitar, sehingga harganya relative terjangkau,
2. Beton memiliki sifat kelecakan yang baik, yang memudahkan dalam proses pengerjaan,
3. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, sehingga ketika digabungkan dengan baja tulangan akan diperoleh kekuatan tekan dan tarik yang optimal,
4. Keawetan (*durability*) beton sangat baik sehingga beton termasuk bahan yang tahan lama, tahan air, tahan panas, dan tahan terhadap pembusukan akibat kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan relatif murah, dan
5. Beton segar dapat disalurkan melalui pompa, memungkinkan akses ke lokasi-lokasi yang sulit dijangkau untuk proses penuangan.

Adapun beberapa kekurangan dari beton diantaranya sebagai berikut.

1. Meskipun beton memiliki kekuatan tekan yang baik, ia memiliki kelemahan dalam kekuatan tarik, sehingga diperlukan penambahan tulangan,
2. Beton dapat mengalami pengembangan dan penyusutan akibat perubahan suhu,
3. Struktur beton sulit untuk dipindahkan, dan
4. Penggunaan kembali atau daur ulang beton biasanya sulit dilakukan.

Menurut Mulyono (2004), secara umum beton dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok sebagai berikut.

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton

Kelas dan mutu ini dibedakan menjadi tiga kelas meliputi:

a. Beton kelas I digunakan untuk pekerjaan nonstruktural yang tidak memerlukan keahlian khusus. Pengawasan kualitas dilakukan secara sederhana, terbatas pada bahan, tanpa memerlukan pemeriksaan terhadap kekuatan tekan.
b. Beton Kelas II dirancang untuk pekerjaan struktural umum yang memerlukan tingkat keahlian sedang dan dipimpin oleh tenaga ahli. Pengawasan difokuskan pada kualitas bahan namun tanpa pemeriksaan langsung terhadap kekuatan tekan.
c. Beton kelas III digunakan untuk pekerjaan struktural yang kompleks. Pekerjaan ini membutuhkan tingkat keahlian tinggi, dukungan dari laboratorium beton yang lengkap, serta pengawasan kualitas yang ketat dan berkelanjutan oleh tenaga ahli.

2. Beton Berdasarkan Jenisnya

Berdasarkan jenis beton dibagi menjadi 5 sebagai berikut.

a. Beton Ringan

Beton ini memiliki bobot lebih ringan dibandingkan beton normal, karena menggunakan agregat ringan seperti hasil pembakaran shale, lempung, atau residu batu bara. Berdasarkan SNI 08-1991-03, berat jenis beton ringan berkisar 800–1800 kg/m^3 dengan kuat tekan 6,89–17,24 MPa pada usia 28 hari.

b. Beton Normal

Beton ini terdiri dari pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar. Beton normal memiliki berat jenis 2200–2400 kg/m³ dengan kuat tekan 15–40 MPa.

c. Beton Berat

Beton ini dibuat menggunakan agregat dengan berat jenis lebih tinggi dibandingkan beton normal. Berat isi beton memiliki berat lebih dari 2400 kg/m³ sehingga cocok untuk kebutuhan struktur khusus.

d. Beton Massa

Beton ini digunakan untuk membangun struktur besar dengan volume masif, seperti bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan. Beton massa dirancang untuk mengatasi perubahan suhu yang terjadi akibat reaksi hidrasi pada volume besar.

e. Beton Serat

Beton ini merupakan campuran beton yang ditambahkan serat baik berupa serat baja, serat plastik, maupun serat alami untuk meningkatkan daktilitas dan mengurangi risiko retakan. Penambahan serat menjadikan beton lebih tahan terhadap beban dinamis dan lingkungan yang ekstrim dibanding beton biasa.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1996), beton merupakan bahan komposit yang terbentuk dari campuran beberapa material, dengan komponen utama berupa air, semen, agregat kasar, agregat halus, dan bahan tambahan lainnya, yang dicampur dengan perbandingan tertentu. Salah satu sifat penting dari beton adalah kuat tekan di mana beton dengan kuat tekan tinggi umumnya memiliki sifat-sifat lain yang juga baik. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kualitas bahan, nilai faktor air-semen, gradasi agregat, dan ukuran maksimum agregat.

3.2.1 Semen *Portland* (*Portland Cement*)

Menurut SNI 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Menurut Tjokrodimuljo, semen berfungsi untuk mengikat butiran-butiran agregat sehingga terbentuk suatu massa yang padat. Selain itu semen juga berperan sebagai pengisi rongga-rongga di antara butiran agregat meskipun kontribusinya hanya sekitar 10% dari total volume beton.

Jika semen dicampur dengan air, maka akan terbentuk pasta semen. Apabila pasta semen ini dicampur dengan agregat halus, maka akan menjadi mortar, sedangkan jika dicampur dengan agregat kasar akan menjadi beton segar yang, setelah mengeras, akan berubah menjadi beton keras. Reaksi antara semen dan air tidak dapat diubah. Artinya hanya terjadi satu kali saja dan tidak bisa kembali ke semula.

Menurut paul Nugraha (2007) terdapat lima tipe semen *portland* adalah sebagai berikut,

1. Tipe I, yaitu semen *portland* untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena hampir semua jenis kontruksi menggunakannya.
2. Tipe II, yaitu semen *portland* modifikasi, adalah tipe yang sifatnya setengah tipe IV dan setengah tipe V. Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti tipe IV.
3. Tipe III, yaitu semen *portland* dengan kekuatan awal tinggi yaitu kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam satu minggu. Semen jenis ini umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
4. Tipe IV, yaitu semen *portland* dengan panas hidrasi rendah yang dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misal pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada semen tipe I.

5. Tipe V, yaitu semen *portland* tahan sulfat, yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai di daerah dimana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

3.2.2 Agregat Halus

Menurut SNI-03-2847-2002, agregat halus adalah pasir alam yang terbentuk dari pelapukan alami batuan atau pasir hasil proses industri penghacuran batuyang lolos dari ayakan No. 4 (4,75 mm). Persyaratan agregat halus menurut SNI-03-2847-2002 adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Hal ini disebabkan oleh bentuk pasir yang tajam, maka dapat meningkatkan ikatan antar agregat sehingga menghasilkan beton yang lebih kuat dan keras,
2. Butiran halus harus bersifat kekal yang berarti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Ketahanan kekal agregat halus dapat diuji menggunakan larutan jenuh garam. Jika digunakan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum adalah 10% dari berat total,
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 dari berat keringnya. Jika kadar lumpur melebihi 5%, maka pasir harus di cuci terlebih dahulu, dan
4. Gradasi pasir dapat dikelompokan menjadi 4 bagian yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Batas Daerah Gradasi Pasir

Lubang (mm)	**Persen berat butir yang lewat ayakan**			
	Kasar	**Agak kasar**	**Agak halus**	**halus**
10	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
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: Tjokrodimuljo, 1992*)

3.2.3 Agregat Kasar

Menurut SNI-03-2847-2002, agregat kasar adalah kerikil yang dihasilkan dari penguraian batuan secara alami atau melalui proses industri penghancuran batu. Agregat kasar memiliki ukuran partikel antara 5 mm hingga 40 mm. Syarat-syarat agregat kasar menurut SNI-03-2847-2002 adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang keras, tidak berpori, dan bersifat kekal, yaitu tidak mengalami kerusakan akibat pengaruh cuaca seperti sinar matahari atau hujan,
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi batas tersebut maka agregat harus dicuci lebih dahulu sebelum digunakan,
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak batuan termasuk zat yang reaktif terhadap alkali, dan
4. Agregat kasar dengan butiran pipih hanya diperbolehkan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan agregat.

Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat kasar harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan. Batasan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 pada sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Batas Daerah Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)	**Presentase lolos saringan**	
	kasar	**Agak Halus**
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

(*Sumber: Tjokrodimuljo, 2007*)

3.2.4 Air

Air adalah komponen penting dalam pembuatan beton karena harganya terjangkau dan mudah diperoleh. Dalam campuran beton, air berperan dalam memicu reaksi hidrasi antar molekul semen menghasilkan pasta semen yang digunakan untuk proses pengikatan. Selain itu, air juga berfungsi sebagai pelumas pada agregat sehingga campuran lebih mudah diolah.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25% dari berat semen. Jika kadar air berlebihan, beton yang dihasilkan akan menjadi encer, yang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Sebaliknya, jika air terlalu sedikit dan nilai faktor air-semen (fas) kurang dari 35%, proses pengadukan beton akan mengalami kesulitan. Akibatnya, setelah beton mengeras, akan terbentuk beton yang keropos, yang juga dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton.

Menurut Tjokrodimuljo (1992), syarat air yang dapat digunakan dalam pencampuran beton adalah sebagai berikut.

1. Air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang terlihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (CI) < 0,50 gram/liter dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO_3.
5. Penurunan kuat tekan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak boleh lebih dari 10%.

3.2.5 Bahan Tambah (Limbah Pecahan Keramik)

Bahan tambah adalah bahan yang digunakan dalam campuran beton untuk mengubah karakteristik beton, seperti meningkatkan workability, mengurangi faktor air-semen (fas), dan memperlambat waktu pemadatan. Bahan tambah ini dapat ditambahkan ke dalam campuran beton sebelum, segera, atau selama proses pengadukan. Penggunaan bahan tambah harus diperhatikan dengan cermat agar dapat berfungsi secara optimal. Pemberian bahan tambah yang berlebihan dapat merusak kualitas beton dan berpotensi menyebabkan korosi pada baja tulangan.

Bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan beton dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah bersifat mineral *(additive)* dan bahan tambah bersifat kimia (*chemical admixture*). Bahan tambah mineral berfungsi untuk mengurangi suhu reaksi hidrasi, mengurangi penggunaan semen, meminimalkan bleeding, serta meningkatkan workability pada beton. Contoh bahan tambah mineral

meliputi fly ash, serat kaca, slag, abu kulit sekam padi, dan keramik yang telah dihancurkan. Sementara itu, bahan tambah kimia berupa cairan atau bubuk yang dicampurkan ke dalam adukan beton. Berikut adalah pengelompokan bahan tambah kimia menurut SNI 03-2495-1991 sebagai berikut.

1. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran, sehingga dapat menghasilkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan, sehingga faktor air-semen menjadi lebih kecil, kekuatan tekan beton meningkat, dan tingkat kemudahan pengerjaan tetap terjaga, atau bahkan lebih baik dengan fas yang sama.
2. Tipe B (*Retarding Admixtures*) berfungsi untuk memperlambat waktu pengikatan beton (*setting time*), sehingga memberikan lebih banyak waktu untuk pengolahan dan penempatan.
3. Tipe C (*Accelerating Admixtures*) berfungsi untuk mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton, sehingga beton dapat mencapai kekuatan yang diinginkan lebih cepat.
4. Tipe D (*Water-Reducing and Retarding Admixtures*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran, sehingga menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan sekaligus memperlambat waktu pengikatan beton.
5. Tipe E (*Water-Reducing and Accelerating Admixtures*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran, sehingga menghasilkan beton dengan konsistensi yang telah ditetapkan, serta mempercepat waktu pengikatan dan meningkatkan kekuatan awal beton.
6. Tipe F (*Water-Reducing High Range Admixtures*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran hingga 12%, sehingga menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang diinginkan.
7. Tipe G (*Water-Reducing, High Range Retarding Admixtures*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran hingga 12%, sehingga menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan, sekaligus memperlambat waktu pengikatan beton.

Limbah keramik merupakan limbah yang berbentuk pipih yang dapat mengurangi kepadatan beton yang dapat berguna untuk menghasilkan beton ringan dan meningkatkan kuat tekan beton. Limbah keramik yaitu sisa atau produk buangan yang dihasilkan dari proses keramik yang sudah diproduksi tetapi mengalami kerusakan. Limbah keramik dapat berasal dari berbagai tahap seperti pengolahan pemotongan, pecahan, hingga kerusakan atau pembongkaran produk keramik yang sudah tidak digunakan lagi. Menurut Rado (1988), keramik merupakan bahan yang terbuat dari tanah liat yang prosesnya dengan cara dibakar dengan suhu yang tinggi sehingga terjadi perubahan sifat tanah liat menjadi lebih kuat. Keramik umumnya terbentuk dari bahan anorganik, non-logam yang diperoleh melalui proses pembentukan dan pemanasan yang memberikan karakteristik seperti kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Adapun syarat-syarat agregat kasar (keramik) sesuai dengan syarat PBI 1971 sebagai berikut.

1. Agregat kasar dengan besar butir lebih dari 5 mm,
2. Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang keras, tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir butir pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak lebih 20% dari berat agregat seluruhnya,
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, dan
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak batuan termasuk zat yang reaktif terhadap alkali

Berikut adalah pecahan keramik dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Pecahan Keramik

3.3 Pemeriksaan Bahan Susun Beton

3.3.1 Pemeriksaan Semen

Pemeriksaan semen adalah proses yang sangat penting dalam pembuatan beton yang bertujuan untuk memastikan kualitas dan kesesuaian semen dengan standar yang telah ditetapkan. Semen yang baik merupakan fondasi dari campuran beton yang kuat dan tahan lama. Oleh karena itu, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semen dapat memenuhi kebutuhan struktural serta kondisi lingkungan di lapangan. Berdasarkan PBI 1971, salah satu pemeriksaan semen mencakup pengujian sifat fisik, seperti kehalusan, waktu pengikatan, dan kekuatan tekan, serta analisis kimia untuk memverifikasi komposisi bahan. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk memastikan bahwa semen dapat mendukung kebutuhan struktural dan sesuai dengan kondisi lingkungan di lapangan.

3.3.2 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat halus ini dilakukan untuk mengetahui bahwa agregat halus sudah memenuhi standar kualitas dalam campuran beton. Berikut adalah pemeriksaan agregat halus.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Menurut SNI 1970-1990, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu, serta penyerapan air agregat halus.

a. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

   Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis curah menggunakan Persamaan 3.1

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \qquad (3.1)$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis jenuh kering permukaan menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

c. Berat Jenis Semu *(Apparent Specific Gravity)*

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.3.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.3)$$

d. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap oleh pori-pori agregat terhadap berat agregat dalam keadaan kering. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam penyerapan air pada agregat kasar menggunakan persamaan 3.4.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} x100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

Bk = Berat pasir kering oven (gram),

Bt = Berat piknometer berisi air dan garam (gram), dan

B = Berat piknometer berisi air (gram).

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah sebuah indeks yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Semakin kecil nilai modulus halus butir, semakin halus ukuran butir agregat tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat halus dengan menggunakan saringan. Adapun tujuan dari pemeriksaan analisa saringan sebagai berikut.

a. Untuk meningkatnya *workability* pada beton supaya mudah dikerjakan,
b. Untuk mendapatkan beton dengan kepadatan yang optimal,
c. Untuk menentukan batas gradasi dari agregat halus maupun agregat kasar,
d. Untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi, dan
e. untuk mendapatkan campuran agregat dengan proporsi yang ideal saat pencampuran beton.

Adapun perhitungan analisa saringan pada agregat halus menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6.

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{a-b}{a}\ x\ 100\% \quad (3.5)$$

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\Sigma\ (\%\ kumulatif)}{100} \quad (3.6)$$

Keterangan:

a = Berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),
b = Berat agregat setelah diayak (gram),
Σ (% kumulatif) = Berat tertinggal kumulatif (%)

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan abu batu berupa nilai modulus halus butir (MHB) dan susunan gradasi butiran. Nilai MHB berdasarkan SNI 03-2834-2000 dibagi ke dalam 4 daerah gradasi. Berikut merupakan batas gradasi pasir dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

3. Pemeriksaan Berat Volume

Menurut SNI 03-4804-1998, pemeriksaan ini betujuan untuk menentukan berat volume agregat halus. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingakan berat

agregat dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan. Berikut adalah perhitungan berat isi pada agregat halus menggunakan Persamaan 3.7.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \quad (3.7)$$

Keterangan:

W = Berat agregat (gram), dan

Vol = Volume silinder yang digunakan (cm^3).

4. Pemeriksaan Lolos Saringan No. 200

Pemeriksaan lolos saringan No. 200 bertujuan untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,0075 mm). Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang lolos saringan No. 200 yang terkandung dalam agregat halus. Berdasarkan persyaratan yang ditetapkan dalam pedoman SNI 03-4142-1996, nilai kandungan lumpur dalam pasir tidak boleh melebihi 5%. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam pengujian lolos saringan No.200 menggunakan Persamaan 3.8.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan:

W1 = Berat agregat halus kering oven (gram), dan

W2 = Berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram)

Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui bahwa agregat kasar sudah memenuhi standar kualitas dalam campuran beton. Berikut adalah pemeriksaan agregat kasar.

1. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Menurut SNI 03-1969-1990, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

a. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis mutlak menggunakan Persamaan 3.9.

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

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis jenuh kering permukaan menggunakan Persamaan 3.10.

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{Bj}{Bj-Ba} \quad (3.10)$$

c. Berat Jenis Semu *(Apparent Specific Gravity)*

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.11.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{Bk-Ba} \quad (3.11)$$

e. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap oleh pori-pori agregat terhadap berat agregat dalam keadaan kering. Berikut adalah

perhitungan yang digunakan dalam penyerapan air pada agregat kasar menggunakan persamaan 3.12.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \quad (3.12)$$

Keterangan:

Bk = Berat kerikil kering mutlak (gram),

Bj = Berat kerikil kondisi jenuh kering muka/SSD (gram), dan

Ba = Berat kerikil dalam air (gram).

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah sebuah indeks yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Semakin kecil nilai modulus halus butir, semakin halus ukuran butir agregat tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat kasar dengan menggunakan saringan. Adapun tujuan dari pemeriksaan analisa saringan sebagai berikut.

a. Meningkatnya *workability* pada beton supaya mudah dikerjakan,
b. Mendapatkan beton dengan kepadatan yang optimal,
c. Menentukan batas gradasi dari agregat halus maupun agregat kasar,
d. Mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi, dan
e. Mendapatkan campuran agregat dengan proporsi yang ideal saat pencampuran beton.

Adapun perhitungan analisa saringan pada agregat kasar menggunakan Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13.

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{a-b}{a}\ x\ 100\% \quad (3.12)$$

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\Sigma\ (\%\ kumulatif)}{100} \quad (3.13)$$

Keterangan:

a = Berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = Berat agregat setelah diayak (gram),

Σ (% kumulatif) = Berat tertinggal kumulatif (%)

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan agregat kasar berupa nilai modulus halus butir (MHB) dan susunan gradasi butiran. Nilai MHB berdasarkan SNI 03-2834-2000 dibagi ke dalam 3 daerah gradasi. Berikut merupakan batas gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2.

3. Pemeriksaan Berat Volume

Menurut SNI 03- 4804-1998, pemeriksaan ini betujuan untuk menentukan berat volume agregat kasar. pemeriksaan dilakukan dengan membandingakan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan. Berikut adalah perhitungan berat isi pada agregat halus menggunakan Persamaan 3.14.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \tag{3.14}$$

Keterangan:

W = Berat agregat (gram), dan

Vol = Volume silinder yang digunakan (cm^3).

3.3.3 Pemeriksaan Air

Pemeriksaan ini dilakukan secara visual yaitu memastikan bahwa air yang akan digunakan dalam pembuatan yaitu bersih, jernih atau tidak berwarna, dan tidak berbau. Menurut PBI 1971, air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, dan garam. jika terdapat keraguan mengenai kualitas air, disarankan untuk mengirimkan sampel air ke lembaga pemeriksaan bahan yang diakui untuk dianalisis, guna mengetahui sejauh mana kandungan zat-zat yang dapat merusak beton.

3.3.4 Pemeriksaan Bahan Tambah

Pemeriksaan bahan tambah (keramik) dilakukan untuk mengetahui kualitas dan jenis bahan yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini dilakukan dengan metode yang sama seperti pengujian agregat kasar. Berikut adalah prosedur pemeriksaan bahan tambah (keramik).

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Menurut SNI 1970-1990, Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

a. Berat Jenis Curah *(Bulk Specific Gravity)*

   Berat jenis mutlak adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis mutlak menggunakan Persamaan 3.9.

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

   Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis jenuh kering permukaan menggunakan Persamaan 3.10.

c. Berat Jenis Semu *(Apparent Specific Gravity)*

   Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.11.

d. Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap oleh pori-pori agregat terhadap berat agregat dalam keadaan kering. Perhitungan yang digunakan dalam penyerapan air menggunakan Persamaan 3.12.

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Semakin tinggi nilai modulus halus butir, semakin besar ukuran butiran agregat tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran atau gradasi agregat kasar dengan menggunakan alat saringan. Perhitungan analisis saringan pada keramik yang dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13.

Hasil analisis saringan keramik mencakup nilai modulus halus butir (MHB) dan distribusi gradasi butiran. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, nilai MHB diklasifikasikan ke dalam empat zona gradasi. Batas-batas gradasi untuk agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3.

3. Pemeriksaan Berat Volume

Pemeriksaan berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume keramik. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingkan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan sebagai wadah. Perhitungan berat isi keramik menggunakan Persamaan 3.14.

3.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada perencanaan campuran beton (mix design), dilakukan perhitungan teoritis untuk menentukan proporsi setiap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton. Dalam penelitian ini, perencanaan campuuran beton menggunakan acuan sesuai dengan SNI 03-2834-2000 tetang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Adapun tata cara dalam perencanaan beton sesuai dengan SNI 03-2834-2000 sebagai berikut.

1. Menentukan Nilai Deviasi Standar (sd)

   Standar deviasi ditentukan berdasarkan tingkat pengendalian mutu pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik kualitas pelaksanaannya maka semakin rendah nilai standar deviasinya. Nilai standar deviasi dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Nilai Standar Deviasi untuk Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu pekerjaan	Sd (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Terkendali	8,4

(*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

2. Menentukan nilai tambah untuk desak rencana (M), hal ini dapat dihitung dengan persamaan 3.15 berikut.

$$M = 1{,}64 \times sd \qquad (3.15)$$

Keterangan:

M = Nilai tambah/margin (Mpa), dan

Sd = Deviasi standar

Deviasi standar ditentukan berdasarkan volume pembetonan yang akan dibuat dan mutu pekerjaan. Nilai deviasi standar yang digunakan dalam perencanaan campuran ini sebesar 7 Mpa yaitu tingkat pengendalian mutu pekerjaan jelek karena belum mempunyai pengalaman sebelumnya.

3. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'cr)

Kuat tekan rata-rata (f'cr) yang di targetkan dapat menggunakan persamaan 3.16 pada halaman berikutnya.

$$f'cr = f'c + M \qquad (3.16)$$

keterangan:

f'cr = Kuat tekan beton target (Mpa)

f'c = Kuat tekan beton yang direncanakan (Mpa), dan

M = Nilai tambah atau margin (Mpa).

4. Menerapkan jenis semen yang digunakan dalam campuran

   Jenis atau tipe semen yang digunakan harus dicantumkan dalam desain campuran beton. Umumnya, semen tipe I dan II yang banyak digunakan adalah semen dengan sifat cepat mengeras (pengikatan awal rendah). Terdapat lima tipe semen yang umum digunakan, yaitu tipe I, II, III, IV, dan VMenentukan agregat kasar yang digunakan.

5. Menentukan nilai faktor air semen (fas) dengan menggunakan hubungan tipe semen, kuat tekan, umur beton dan jenis agregat dapat dilihat pada Tabel 3.5 serta Gambar 3.1 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

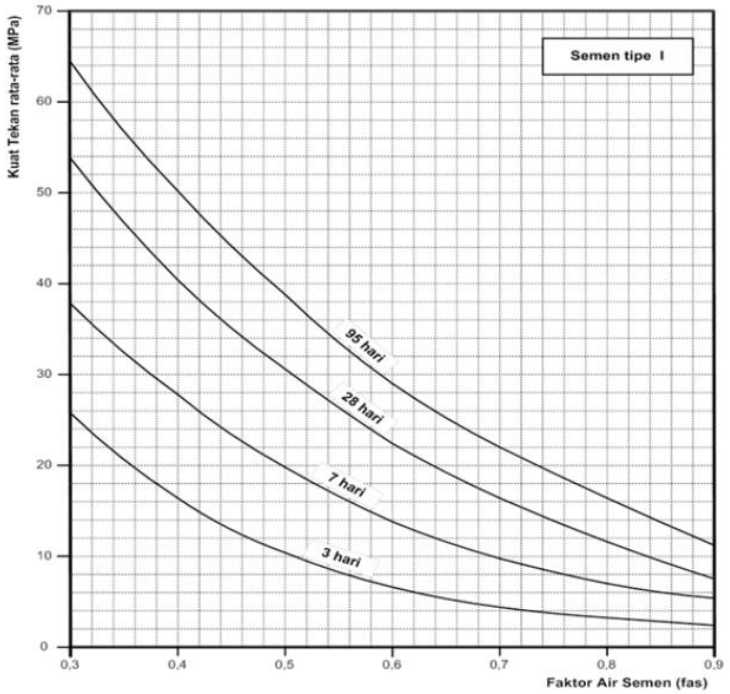
   a. kekuatan tekan dapat ditentukan dengan merujuk pada Tabel 3.5, yang memperlihatkan hubungan antara jenis semen, jenis agregat, bentuk benda uji yang digunakan, dan umur beton pada saat pengukuran kekuatan tekan.
   b. Selanjutnya, perhatikan Gambar 3.1 yang menunjukkan hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air-semen pada benda uji berbentuk silinder.
   c. Buat garis vertikal ke atas melalui nilai faktor air-semen (fas) yang telah ditentukan hingga memotong kurva. Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan pada nilai kuat tekan rata-rata hingga garis tersebut menyentuh kurva fas yang telah ditentukan. Dari perpotongan garis kuat tekan dan fas tersebut, akan diperoleh kurva lengkung yang menggambarkan hubungan keduanya.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan dengan FAS

Jenis semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				
		Pada Umur (Hari)				Bentuk Benda uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	kubus
	Batu pecah	25	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*)

Dengan berdasarkan grafik pada Gambar 3.2 adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen (FAS)

(*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

6. Menentukan nilai slump

   Slump adalah metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton. Semakin tinggi nilai *slump,* semakin cair adukan beton tersebut sehingga adukan beton semakin mudah untuk dikerjakan. Berikut adalah langkah-langkah untuk menentukan nilai *slump* sebagai berikut.

   a. Basahi cetakan terlebih dahulu.
   b. Letakan cetakan di tempat yang rata.
   c. Isi cetakan dengan beton segar hingga penuh dalam tiga lapisan. Setiap lapisan berisi sepertiga dari volume cetakan dan ditusuk sebanyak 25 tusukan hingga rata.
   d. Setelah selesai, ratakan permukaan beton menggunakan tongkat kemudian angkat cetakan perlahan-lahan secara tegak lurus.
   e. Balikkan cetakan dan letakkan di samping benda uji kemudian ukur nilai slump yang terbentuk.

7. Menentukan ukuran besar butir agregat maksimum

   Menurut SNI 03-2834-2000 besar butir agregat tidak boleh melebihi:

   a) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
   b) Sepertiga dari tebal pelat, dan
   c) Tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

8. Menentukan kadar air bebas

   Kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.6 menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan *slump* rencana. Setelah perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton telah ditentukan, kebutuhan air dapat dihitung menggunakan persamaan 3.17.

Tabel 3. 5 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah Batu Pecah	150 180	180 205	205 230	225 250
20	Batu tak dipecah Batu Pecah	135 170	160 190	180 210	195 205
40	Batu tak dipecah Batu Pecah	115 155	140 175	160 190	175 205

(*Sumber : SNI 03-2834-2000*)

$$W = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.17)$$

Keterangan:

W = Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m^3),

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus, dan

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

9. Menentukan kebutuhan semen

Semen adalah bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif, yaitu berfungsi sebagai bahan pengikat. Sebagai salah satu komponen utama dalam campuran beton, perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan sangat penting untuk menghasilkan beton dengan kualitas yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Jumlah kebutuhan semen dapat dihitung dengan persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$W_{semen} = \frac{Wair}{fas} \quad (3.18)$$

Keterangan:

W_{semen} = Kadar semen (kg),

W_{air} = Kadar air bebas (kg), dan

fas = Faktor air semen.

10. Menentukan kadar semen minimum

    Kadar semen minimum dapat ditentukan pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

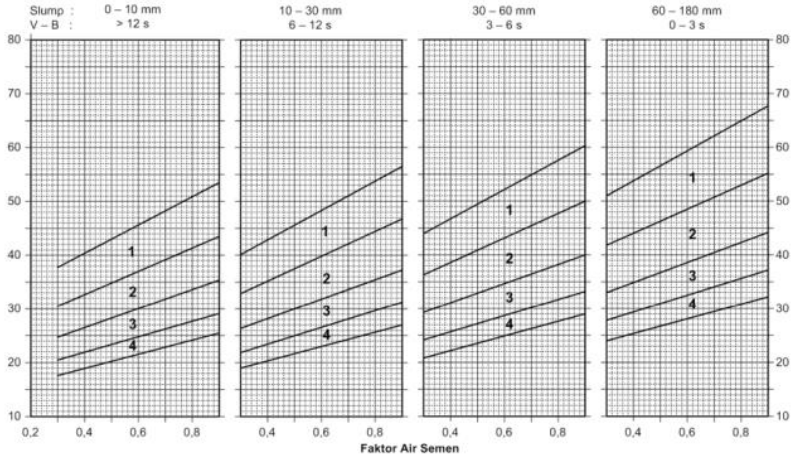
Tabel 3. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum

Jenis Pembetonan		**Jumlah semen minimum per m^3 beton (kg)**	**Nilai fas maksimum**
Beton didalam ruangan bangunan			
a.	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b.	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan			
a.	Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,60
b.	Terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah			
a.	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b.	Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan air tawan dan laut			

(*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

11. Menentukan persentase agregat kasar dan halus

    Persentase agregat kasar dan halus dapat ditentukan dari grafik pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Grafik Persen pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm
(*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Langkah dari grafik diatas untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut.

a) Tentukan grafik yang akan digunakan berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai *slump* yang direncanakan.
b) Setelah memilih grafik yang sesuai, tarik garis vertikal ke atas hingga memotong kurva tertinggi di antara dua kurva yang menunjukkan daerah gradasi agregat.
c) Selanjutnya, tarik garis horizontal ke kanan untuk kedua kurva yaitu batas atas dan batas bawah yang berada dalam daerah gradasi.
d) Hitung rata-rata dari kedua nilai yang diperoleh dari garis horizontal tersebut.

12. Menentukan berat jenis relative agregat

Berat jenis agregat ditentukan dengan menggunakan data uji laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.19)$$

Keterangan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan,

BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus,

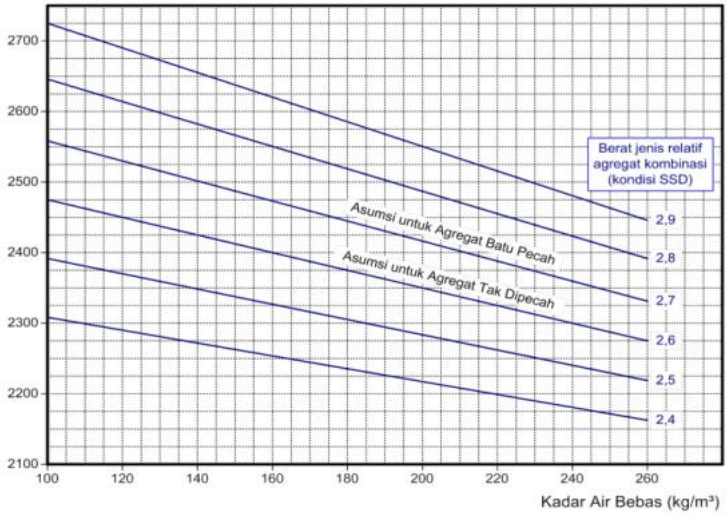
BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar,

%AH = Presentase agregat halus, dan

%AK = Presentase agregat kasar.

13. Menentukan nilai berat isi beton

Nilai berat isi beton ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Berikut adalah cara menggunakan grafik di atas yaitu sebagai berikut.

a) Tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat lalu gabungkan sejajar dengan garis linier yang telah ada di grafik.

b) Kemudian, tarik garis vertical ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan kadar air bebas. Kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas dan catat nilainya.

14. Menghitung kadar agregat gabungan

Untuk mencari Kadar Agregat Gabungan (KAG) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.20 sebagai berikut.

KAG = berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas (3.20)

15. Menghitung kadar agregat halus

    Untuk menghitung kadar agregat halus dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

    Kadar agregat halus = $\frac{\%\ agregat\ halus}{100}$ x kadar agregat gabungan (3.21)

16. Menghitung agregat kasar

    Untuk menghitung kadar agregat kasar dapa dihitung menggunakan Persamaan 3.22 sebagai berikut.

    Kadar agregat kasar = $\frac{\%\ agregat\ kasar}{100}$ x kadar agregat gabungan (3.22)

17. Menghitung proporsi campuran beton

    Proporsi campuran yang dihitung ialah proporsi campuran kebutuhan material penyusun. Dari perhitungan di atas, maka akan mendapatkan susunan campuran proporsi untuk setiap 1 m^3 beton.

18. Menghitung berat limbah keramik

    Berat limbah keramik dihitung dengan cara mengalikan persen kadar limbah keramik dari berat total agregat kasar.

3.5 Pengujian Campuran Beton (*Mix Design*)

Pengujian campuran beton meliputi pengujian *slump*, yang merupakan pengujian untuk mengukur kekentalan beton segar. Tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk memastikan bahwa beton yang diproduksi dapat mencapai kekuatan mutu yang direncanakan. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton. *Workability* pada campuran beton dapat dinilai dari nilai slump yang diperoleh. Nilai *slump* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran beton lebih mudah mengalir, sehingga memudahkan proses

pengerjaannya. Dalam penelitian ini, pengujian *slump* menggunakan acuan yang berlaku sesuai SNI 03-1972-1990.

3.6 Pembuatan Sampel Beton Uji

Pada proses pembuatan sampel beton, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendesain dan menghitung komposisi campuran beton yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji. Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm..

Pada tahap ini, komposisi bahan penyusun beton yang diperoleh dari tahap mix design dicampur menggunakan alat mixer. Menurut Mulyono (2007), untuk menghasilkan beton normal, diperlukan prosedur yang benar dan cermat dalam keseluruhan proses pembuatan beton, yang meliputi:

1. Persiapan

   Pada tahap persiapan meliputi persiapan alat dan bahan.
2. Penakaran

   Penakaran material sesuai dengan proporsi yang ditentukan.
3. Pencampuran

   Pencampuran bahan harus dilakukan dengan benar untuk memastikan distribusi yang merata dari setiap material campuran. Proses pencampuran dapat dilakukan secara manual atau menggunakan mesin pengaduk, dengan tujuan untuk menghasilkan beton yang homogen.
4. Penuangan

   Tuangkan campuran beton ke dalam cetakan yang telah disiapkan. Pastikan cetakan diolesi dengan minyak agar beton tidak menempel.
5. Pemadatan

   Pemadatan dengan menggunakan alat pemadat atau palu karet untuk menghilangkan udara yang terperangkap pada beton.
6. Penyelesaian Akhir

   Penyelesaian akhir dilakukan untuk mendapatkan permukaan beton yang rata dan mulus.

7. Perawatan

   Perawatan beton atau *curing* berguna untuk mendapatkan beton yang kualitas yang baik. Setelah benda uji mencapai waktu pengikatan atau mulai mengeras, beton dilepas dari cetakannya untuk menjalani proses perawatan. Perawatan beton yang digunakan yaitu dengan *water curing*. Perawatan ini bertujuan untuk menghambat penguapan air pada beton. Menurut Mulyono (2004), *water curing* dilakukan dengan cara menyirami beton secara teratur, merendamnya dalam air, atau menutup permukaannya dengan bahan lembab seperti karung basah atau kain

3.7 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal

Pengujian *trial mix* beton normal bertujuan untuk memastikan bahwa desain campuran beton sesuai dengan target kuat tekan yang direncanakan sebelum memproduksi beton untuk sampel. Dalam pengujian ini, *trial mix* beton normal diuji pada umur 7 hari untuk mendapatkan hasil awal, kemudian digunakan faktor konversi untuk memperkirakan kuat tekan pada umur 28 hari. Berikut adalah perbandingan kekuatan beton pada berbagai umur dapat dilihat Pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur

Umur Beton (Hari)	**Semen *Portland* Biasa**	**Semen *Portland* Dengan Kekuatan Awal Yang Tinggi**
3	0,40	0,55
7	0,65	0,75
14	0,88	0,90
21	0,95	0,95
28	1,00	1,00
90	1,20	1,15
365	1,35	1,20

(*Sumber: Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971*)

3.8 Pengujian Sampel Beton

1. Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Dapat dilihat Persamaan 3.23 pada halaman berikutnya.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.23}$$

keterangan:

f'c = Kuat tekan beton (Mpa),

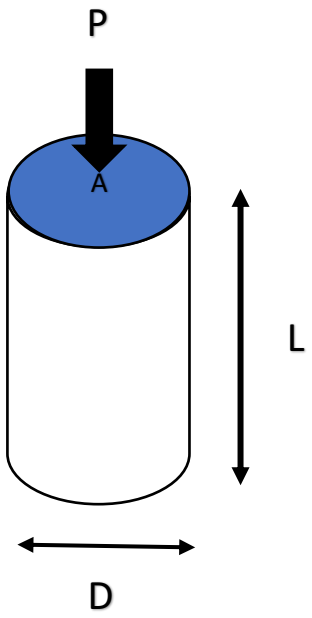
A = Luas penampang benda uji (mm^2),

P = Beban tekan (N),

L = Panjang benda uji (mm), dan

D = Diameter benda uji (mm).

Berikut adalah sketsa pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3. 5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

2. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton merupakan ukuran kekuatan beton yang dihasilkan dari gaya-gaya yang berusaha memisahkan bagian-bagian beton yang mengalami tarik. Menurut SNI 03-2491-2002, Pengujian kuat tarik belah yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton yang menggunakan agregat ringan. Persamaan kuat tarik belah pada beton menurut SNI 03-2491-2002, dapat dilihat pada Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$fct = \frac{2P}{\pi LD} \tag{3.24}$$

Keterangan:

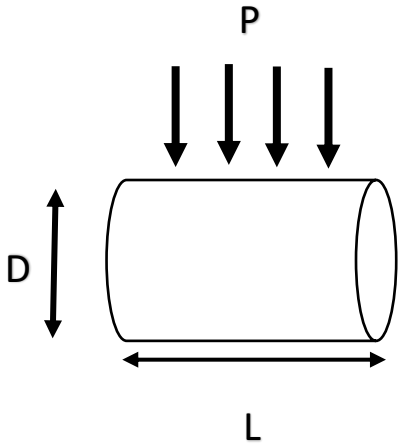
fct = Kuat tarik belah (Mpa),

P = Beban uji maksimum (yang belah atau hancur) (N),

L = Panjang benda uji (mm), dan

D = Diameter benda uji (mm).

Berikut adalah sketsa pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah rangkain langkah langkah yang dilakukan untuk melaksanakan penelitian yang bertujuan untuk menemukan jawaban atas suatu masalah yang ada melalui pengambilan, identifikasi, dan analisis variabel yang diteliti. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan tersistem dan baik serta tujuan dari penelitian ini tidak lepas dari metode penelitian yang diambil sehingga sesuai dengan prosedur, peralatan, dan langkah-langkah yang digunakan.

4.2 Bahan Penyusun Beton

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat Halus

   Agregat halus yang dipakai adalah pasir dengan kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD). Jenis pasir yang digunakan adalah Pasir Progo.

2. Agregat Kasar

   Agregat kasar yang dipakai merupakan batu pecah yang kondisinya kering permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD). Jenis batu pecah yang digunakan berasal dari Clereng Kulon Progo

3. Semen

   Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I dengan merek Tiga Roda dengan berat 40 kg

4. Air

   Air yang akan digunakan adalah air yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

5. Bahan Tambah

   Limbah keramik yang berasal dari sisa bangunan Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah istimewah Yogyakarta. Keramik tersebut dipecah hingga mencapai ukuran maksimal 20 mm.

4.3 Persiapan

Pada tahapan persiapan yang dilakukan merupakan langkah awal sebelum melakukan pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini, peneliti melakukan beberapa kegiatan persiapan yang bertujuan untuk memastikan kelancaran penelitian. Adapun tahap persiapan meliputi kegiatan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

   Peneliti melakukan tinjauan literatur yang relevan dengan topik penelitian. Hal yang dilakukan yaitu membaca jurnal ilmiah, buku, artikel, dan penelitian terdahulu dalam lima tahun terakhir untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang teori, konsep, dan pengembangan terkait topik yang diteliti. Selain itu, studi pustaka dan literatur bertujuan untuk mengidentifikasi latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, landasan teori, serta metode yang akan diterapkan pada penelitian ini.

2. Persiapan Laboratorium

   Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Hal yang dilakukan pada persiapan laboratorium yaitu memastikan bahwa laboratorium yang digunakan sudah memenuhi standar yang diperlukan untuk penelitian. Kemudian melakukan perizininan pemakaian laboratorium sesuai dengan prosedur yang berlaku, dan melakukan koordinasi dengan laboran terkait pelaksanaan penelitian meliputi pengaturan alat, pengaturan tata tertib, serta pengaturan area kerja sesuai dengan prosedur keamanan.

3. Persiapan Alat dan Bahan

   Pada tahap persiapan alat dan bahan dalam penelitian ini, langkah pertama yang dilakukan adalah menginventarisasi bahan-bahan yang dibutuhkan, serta memastikan bahwa alat-alat tersedia dalam kondisi baik dan siap digunakan. Bahan-bahan yang digunakan juga harus memenuhi spesifikasi yang

diperlukan agar hasil penelitian sesuai dengan perencanaan. Peneliti memperoleh keramik yang digunakan dari sisa-sisa bangunan di Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada tahap pengolahan, keramik dihancurkan hingga ukuran maksimal 20 mm, kemudian diayak menggunakan saringan dengan ukuran maksimal 20 mm. Proses ini bertujuan untuk memisahkan pecahan keramik yang tidak lolos saringan. Pecahan keramik yang lolos saringan akan digunakan dalam pembuatan campuran beton.

4.4 Pemeriksaan Bahan Susun

Sebelum melakukan pembuatan benda uji maka harus melakukan pengujian material terlebih dahulu seperti pengujian agregat. Adapun tahapan pengujian agregat adalah sebagai berikut.

4.4.1 Pemeriksaan Agregat

Dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat halus meliputi berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur, pemeriksaan berat volume padat serta pemeriksaan kadar lumpur.

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990. Adapun tahapan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sebagai berikut.

1. Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian.
2. Keringkan benda uji menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga berat tetap. Setelah itu, dinginkan benda uji pada suhu ruang dan rendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
3. Buang air perendam secara hati-hati, pastikan tidak ada butiran yang hilang atau terbuang, lalu sebarkan benda uji diatas talam dan aduk agar pengeringan merata hingga kondisi kering permukaan jenuh.
4. Pemeriksaan kondisi kering permukaan jenuh dilakukan dengan uji kerucut. Letakkan cetakan kerucut di atas talam yang rata, dengan posisi lubang besar di bawah. Masukkan agregat halus ke dalam kerucut hingga penuh, kemudian padatkan agregat menggunakan batang penumbuk sebanyak 25 kali secara

merata. Penumbukan dilakukan dengan cara menjatuhkan batang penumbuk secara bebas. Bersihkan tumpahan agregat halus di sekitar kerucut, kemudian angkat kerucut. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila benda uji akan runtuh tetapi tetap dalam kondisi tercetak.

5. Setelah benda uji mencapai keadaan kering permukaan jenuh, masukkan ke dalam piknometer sebanyak 550 gram, lalu tambahkan air suling hingga mencapai 90% dari kapasitas piknometer. Untuk menghilangkan gelembung udara di dalam air, guncangkan dan putar piknometer dengan tangan sampai gelembung udara hilang.
6. Piknometer direndam dalam air dan diukur temperatur air untuk menyesuaikan suhu standar 25^{o} C.
7. Tambahkan air hingga mencapai tanda batas pada piknometer.
8. Setelah piknometer yang berisi benda uji dan air mencapai tanda batas, timbang dengan ketelitian 0,1 gram
9. Keluarkan agregat halus dari piknometer, kemudian keringkan dengan oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga berat tetap. Setelah itu, dinginkan benda uji pada suhu ruang selama (1,0 ± 0,5) jam, dan timbang kembali.
10. Timbang piknometer yang berisi air penuh hingga mencapai tanda pembacaan yang ditentukan dan ukur suhu air untuk penyesuaian dengan suhu standar 25°C.
11. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-1970-1990. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air sebagai berikut.
    a. Berat Jenis Curah

    Berat jenis curah $= \frac{BK}{(B+500-Bt)}$

    $= \frac{487}{(708+500-1010)}$

    = 2,5 gram

    b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{500}{(B+500-Bt)}$

$= \frac{500}{(708+500-1010)}$

= 2,53 gram

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu $= \frac{BK}{(B+BK-Bt)}$

$= \frac{487}{(708+487-1010)}$

= 2,63 gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(500-BK)}{BK}\ x\ 100\%$

$= \frac{(500-487)}{487}\ x\ 100\%$

= 2,7 %

Adapun rekapitulasi hasil dari perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	**Hasil Pengamatan**
	Sampel
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708
Berat jenis curah $= \frac{\text{Bk}}{\text{B+500-Bt}}$	2,5
Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{500}{\text{B+500-Bt}}$	2,53
Berat jenis semu $= \frac{\text{Bk}}{\text{B + Bk - Bt}}$	2,63
Penyerapan air $= \frac{500-\text{Bk}}{\text{Bk}}$ x 100%	2,7

Pemeriksaan analisis saringan agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Adapun tahapan analisis Pemeriksaan saringan agregat halus sebagai berikut.

1. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5)°C sampai berat tetap.
2. Saringan disusun dengan urutan dari ukuran terbesar di bagian atas hingga ukuran terkecil di bagian bawah, kemudian pan diletakkan di posisi bawah. Benda uji dimasukkan ke dalam saringan bagian atas dan ditutup dengan penutup saringan.
3. Saringan kemudian ditempatkan dalam mesin pengguncang selama 10-15 menit. Setelah itu, benda uji yang tertahan di setiap saringan ditimbang dan hasilnya dicatat.
4. Setelah semua tahapan tersebut selesai, hasil pengujian analisis saringan dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-1969-1990. Adapun perhitungan analisa saringan agregat halus adalah sebagai berikut.
   a. Persentase Berat tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{27}{4999}\ x\ 100\%$

$= 0{,}54\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{718}{4999}\ x\ 100\%$

$= 14{,}38\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{1003}{4999}\ x\ 100\%$

$= 20{,}09\%$

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{1599}{4999}\ x\ 100\%$

$= 32{,}03\%$

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{1089}{4999}\ x\ 100\%$

$= 21{,}81\%$

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{446}{4999}\ x\ 100\%$

$= 8{,}93\%$

Pan $= \frac{110}{4999}\ x\ 100\%$

$= 2{,}20\%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm	= 0% + 0,54%
	= 0,54%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 0,54% + 14,38%
	= 14,92%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 14,92% + 20,09%
	= 35,01%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 35,01% + 32,03%
	= 67,04%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 67,04% + 21,81%
	= 88,86%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 88,86% +8,93%
	= 97,79%
Pan	= 97,79% + 2,20%
	= 100%

c. Persentase Lolos Komulatif

Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 0,54%
	= 99,45%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 14,92%
	= 85,07%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 35,01
	= 64,98%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 67,04%
	= 32,95%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 88,86%
	= 11,13%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 97,79%
	= 2,20%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Adapun rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,8	27	0,541	0,541	99,459
2,4	718	14,383	14,924	85,076
1,2	1003	20,092	35,016	64,984
0,6	1599	32,031	67,047	32,953
0,3	1089	21,81	88,862	11,138
0,15	446	8,934	97,796	2,204
Pan	110	2,204	100	0
Jumlah	4992	100	304,187	-

Dari hasil pengujian analisa saringan maka didapatkan perhitungan nilai modulus halus butir adalah sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma Persentase\ berat\ tertinggal\ komulatif}{100}$$

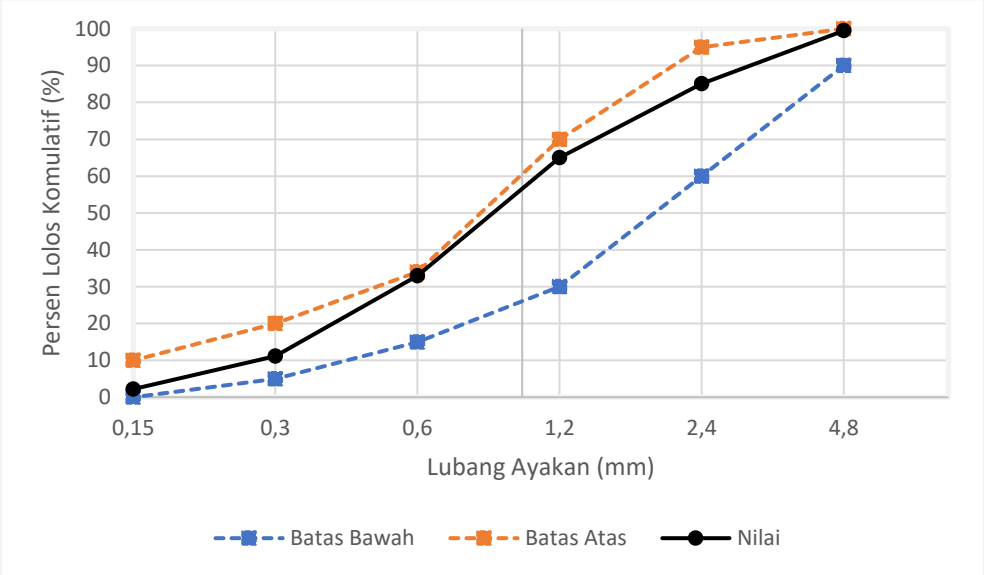
$$\text{MHB} = \frac{304{,}187}{100}$$

$$= 3{,}04$$

Hasil dari analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dari hasil tabel gradasi tersebut maka dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Daerah I Pasir Kasar	Hasil Pemeriksaan
10,00	100	-
4,80	90-100	99,459
2,40	60-95	85,076
1,20	30-70	64,984
0,60	15-34	32,953
0,30	5-20	11,138
0,15	0-10	2,204



Gambar 4.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah I

Pemeriksaan berat volume gembur agregat halus pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat volume agregat halus dalam kondisi tidak padat/gembur. Prosedur pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat sesuai dengan SNI 03-4804-1998, prosedur pengujian adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.
2. Setelah benda uji dikeluarkan, biarkan dingin selama 1-3 jam. Kemudian, benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,5 gram dan kapasitas masing-masing sampel sebesar 10000 gram.

3. Hitung berat tabung. Diperoleh nilai W1 = 11.495 gram untuk tabung 1 dan 10.472 gram untuk tabung 2.
4. Tempatkan silinder/tabung pada permukaan datar. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan mengisi tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa pemadatan. Kemudian, permukaan benda uji diratakan. Berat tabung yang berisi benda uji ditimbang, dan diperoleh nilai W2 = 20.096 gram.
6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan mengisi tabung secara bertahap, yaitu 1/3 bagian setiap kali, dengan penumbukan sebanyak 25 kali secara merata pada setiap bagian. Setelah itu, permukaan benda uji diratakan, dan pengisian dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung yang berisi benda uji ditimbang, dan diperoleh nilai W2 = 19.050 gram.
7. Hitung volume tabung. Diperoleh nilai V = 5301,4 cm^3
8. Setelah semua tahapan di atas selesai, hasil pengujian berat isi gembur agregat halus dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-4804-1998. Adapun perhitungan berat volume gembur agregat halus sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat Agregat (W3) = W2 - W1
      = 17500 – 10000
      = 7500 gram

      Volume tabung (V) = $1/4\ \pi\ d^2\ t$
      = $1/4\ \pi\ 15^2\ 30$
      = 5301,4 cm^3

      Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
      = $\frac{7500}{5301,4}$
      = 1,4 $gram/cm^3$

b. Berat Volume Padat

Berat Agregat (W3) = W2 - W1

= 19050 – 10472

= 8578 gram

Volume tabung (V) = $^1/_4\ \pi$ d² t

= $^1/_4\ \pi$ 15² 30

= 5301,4 cm³

Berat volume padat = $\frac{W3}{V}$

= $\frac{8578}{5301,4}$

= 1,6 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10000
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17500
Berat agregat (W3), gram	7500
Volume tabung (V), cm³	5301,4
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,4

Tabel 4.5 Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10472
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19050
Berat agregat (W3), gram	8578
Volume tabung (V), cm³	5301,4
Berat volume padat (W3/V), gram/cm3	1,6

Pemeriksaan kadar lumpur terhadap agregat halus (lolos saringan No. 200) dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Timbang pan atau wadah dalam keadaan kosong.
2. Timbang benda uji yang sudah dimasukkan dalam pan.
3. Rendam benda uji dalam bejana berisi air, kemudian guncangkan hingga terjadi pemisahan yang sempurna antara butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
4. Tuangkan air pencuci di atas saringan No. 16 (1,18 mm), dengan saringan No. 200 (0,075 mm) diletakkan di bawahnya. Penuangan air dilakukan dengan hati-hati agar agregat tidak ikut terbuang.
5. Ulangi prosedur pada poin 3 dan poin 4 hingga air terlihat jernih.
6. Pindahkan benda uji yang sudah diketahui beratnya ke dalam wadah.
7. Keringkan benda uji dalam oven hingga mencapai berat tetap pada suhu (110 ± 5)°C.
8. Timbang benda uji yang sudah kering dan hitung persentase kadar lumpur yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
9. Setelah semua tahapan di atas selesai, hasil pengujian kadar lumpur dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-4142-1996. Adapun perhitungan pengujian lolos saringan No. 200 atau uji kadar lumpur adalah sebagai berikut.

Kadar lumpur dalam pasir $= \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$

$= \frac{500-496}{500}\ x\ 100\%$

$= 0{,}8\%$

Adapun rekapitulasi hasil pengujian lolos saringan No. 200 atau pengujian kadar lumpur dalam pasir dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Kadar Lumpur Dalam Pasir

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat kering oven (W1), gram	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	496
Persentase yang lolos ayakan No.200 (W1-W2/W1) x100	0,8%

Pemeriksaan agregat kasar dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat kasar meliputi berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur, dan pemeriksaan berat volume padat

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Adapun tahapan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat kasar sebagai berikut ini.

1. Keringkan benda uji menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga mencapai berat tetap, kemudian keluarkan dari oven dan biarkan dingin pada suhu ruangan atau suhu normal selama tiga jam.
2. Timbang benda uji dalam keadaan kering oven, lalu rendam benda uji dalam air pada suhu ruangan selama (24 ± 4) jam.
3. Setelah direndam, keluarkan benda uji dari air dan pindahkan ke lembaran kain lap. Lap benda uji hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan.
4. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.
5. Segera masukkan benda uji ke dalam keranjang kawat, kemudian timbang beratnya di dalam air dengan kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada suhu (23 ± 2)°C. Untuk menghilangkan udara yang terperangkap, goyangkan benda uji di dalam wadah yang terendam air.
6. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian tersebut dapat dihitung sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam SNI 1969:2008. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut.
   a. Berat Jenis Curah

      Berat jenis curah $= \frac{BK}{(Bj-Ba)}$

      $= \frac{4895}{(5000-3045)}$

      = 2,5 gram

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{Bj}{(Bj-Ba)}$

$= \frac{5000}{(5000-3045)}$

= 2,56 gram

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{(Bk-Ba)}$

$= \frac{4895}{(4895-3045)}$

= 2,65 gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(Bj-Bk)}{Bk}\ x\ 100\%$

$= \frac{(5000-4895)}{4895}\ x\ 100\%$

= 2,15%

Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	**Hasil Pengamatan**
	Sampel
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4895
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3045
Berat jenis curah $= \frac{\text{Bk}}{\text{Bj}-\text{Ba}}$	2,50
Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{\text{Bj}}{\text{Bj}-\text{Ba}}$	2,56
Berat jenis semu $= \frac{\text{Bk}}{\text{Bk}-\text{Ba}}$	2,65
Penyerapan air $= \frac{\text{Bj}-\text{Bk}}{\text{Bk}}$ x 100%	2,15%

Pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Adapun tahapan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar sebagai berikut ini.

1. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga mencapai berat tetap.
2. Saringan disusun dengan urutan dari ukuran terbesar di bagian atas hingga ukuran terkecil di bagian bawah, kemudian pan diletakkan di posisi bawah. Benda uji dimasukkan ke dalam saringan bagian atas dan ditutup dengan penutup saringan.
3. Saringan kemudian ditempatkan dalam mesin pengguncang selama 10-15 menit. Setelah proses pengguncangan selesai, benda uji yang tertahan di setiap saringan ditimbang dan dicatat.
4. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-1968-1990. Adapun perhitungan analisa saringan agregat kasar sebagai berikut.
   a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

Lubang ayakan 40 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Lubang ayakan 20 mm $= \frac{44}{4999}\ x\ 100\%$

$= 0{,}88\%$

Lubang ayakan 10 mm $= \frac{4402}{4999}\ x\ 100\%$

$= 88{,}07\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{422}{4999}\ x\ 100\%$

$= 8{,}44\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Pan $= \frac{130}{4999}\ x\ 100\%$

= 2,61%

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 0%

Lubang ayakan 20 mm = 0% + 0,88%

= 0,88%

Lubang ayakan 10 mm = 0,88% + 88,44%

= 88,95%

Lubang ayakan 4,8 mm = 88,95% + 8,44%

= 97,39%

Lubang ayakan 2,4 mm = 97,39% + 0%

= 97,39%

Lubang ayakan 1,2 mm = 97,39% + 0%

= 97,39%

Pan = 97,39% + 2,60%

= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 20 mm = 100% - 0,88%

= 99,12%

Lubang ayakan 10 mm = 100% - 88,95%

= 11,04%

Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 97,39%

= 2,60%

Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 97,39%

= 2,60%

Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 97,39%

= 2,60%

Pan = 100% - 100%

= 0%

Adapun rekapitulasi hasil dari pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.8 pada berikut.

Tabel 4.8 Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,000	0,000	100,000
20	44	0,880	0,880	99,120
10	4402	88,075	88,956	11,044
4,8	422	8,443	97,399	2,601
2,4	0	0,000	97,399	2,601
1,2	0	0,000	97,399	2,601
0,6	0	0,000	97,399	2,601
0,3	0	0,000	97,399	2,601
0,15	0	0,000	97,399	2,601
Pan	130	2,601	100,000	0,000
Jumlah	4998	100,000	674,230	

berdasarkan hasil pengujian analisa saringan maka diperoleh perhitungan nilai modulus halus butir adalah sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma Persentase\ berat\ tertinggal\ komulatif}{100}$$

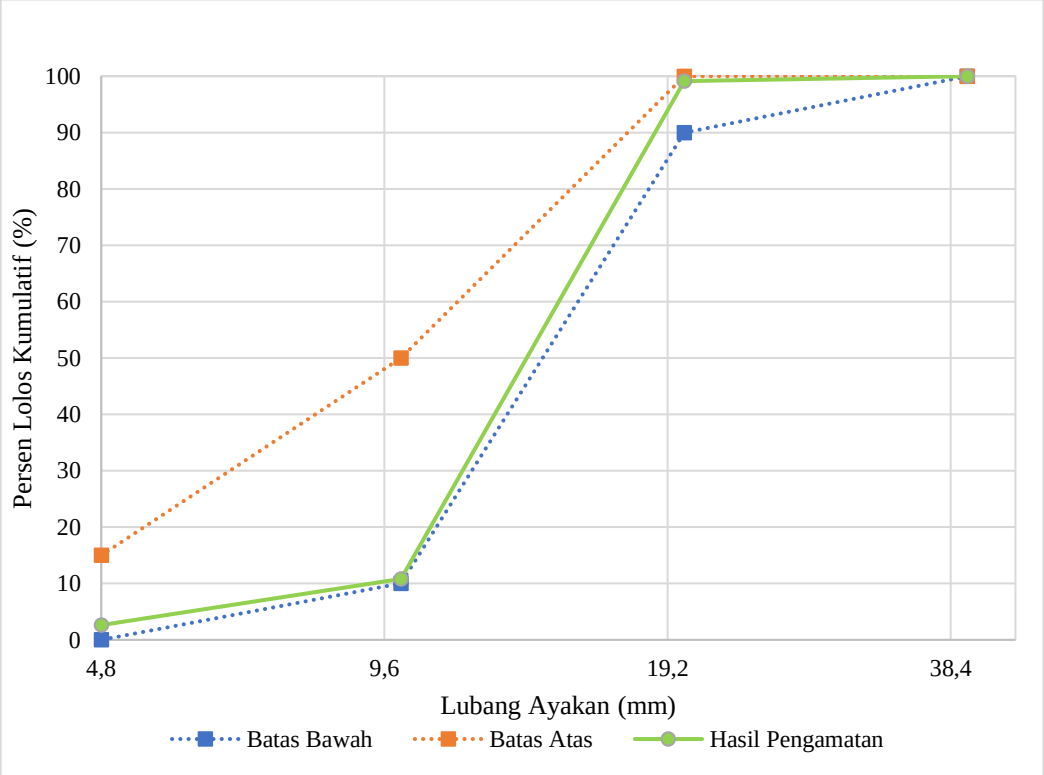
$$\text{MHB} = \frac{674{,}230}{100}$$

$$= 6{,}74$$

Hasil dari analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.9. dari hasil tabel gradasi tersebut maka dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Besaran Butiran Maksimum	Hasil Pemeriksaan
(mm)	20 mm	(%)
40	100	100
20	95-100	99,11
10	25-55	10,78
4,8	0-10	2,61



Gambar 4.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

Pemeriksaan berat volume padat dan gembur terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Ukur diameter dan tinggi silinder dengan teliti.
2. Timbang silinder dalam keadaan kosong.

3. Masukkan benda uji ke dalam silinder menggunakan sekop hingga sepertiga volume silinder penuh, kemudian tusuk lapisan agregat sebanyak 25 kali dengan batang penumbuk.
4. Isi silinder lagi hingga dua pertiga volumenya dan tusukkan agregat sebanyak 25 kali lagi menggunakan batang penumbuk.
5. Isi silinder hingga lebih dari volume penuh dan tusukkan agregat sebanyak 25 kali menggunakan batang penumbuk.
6. Ratakan permukaan benda uji menggunakan alat perata.
7. Timbang silinder yang berisi benda uji dan catat beratnya.
8. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-4804-1998. Adapun perhitungan berat volume padat dan gembur sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 - W1
      = 17822 – 10517
      = 7305 gram

      Volume tabung (V) = $^1/_4\ \pi$ d² t
      = $^1/_4\ \pi\ 15^2\ 30$
      = 5301,4 cm^3

      Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
      = $\frac{7305}{5301,4}$
      = 1,4 $gram/cm^3$

   b. Berat Volume Padat

      Berat agregat (W3) = W2 - W1
      = 19000 – 10472
      = 8528 gram

      Volume tabung (V) = $^1/_4\ \pi$ d² t
      = $^1/_4\ \pi\ 15^2\ 30$
      = 5301,4 cm^3

Berat volume padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8528}{5301,4}$

$= 1,6$ gram/cm^3

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka diperoleh hasil perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar. Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 pada berikut.

Tabel 4.10 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10517
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17822
Berat agregat (W3), gram	7305
Volume tabung (V), cm^3	5301,4
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,4

Tabel 4.11 Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10472
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19000
Berat agregat (W3), gram	8528
Volume tabung (V), cm^3	5301,4
Berat volume padat (W3/V), gram/cm3	1,6

Pada pengujian agregat kasar keramik meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume gembur dan berat volume padat. Berikut adalah hasil pengujian agregat kasar sebagai berikut.

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air keramik dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Adapun tahapan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat kasar sebagai berikut ini.

1. Keringkan benda uji menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga mencapai berat tetap, kemudian keluarkan dari oven dan biarkan dingin pada suhu ruangan atau suhu normal selama tiga jam.
2. Timbang benda uji dalam keadaan kering oven, lalu rendam benda uji dalam air pada suhu ruangan selama (24 ± 4) jam.
3. Setelah direndam, keluarkan benda uji dari air dan pindahkan ke lembaran kain lap. Lap benda uji hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan.
4. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.
5. Segera masukkan benda uji ke dalam keranjang kawat, kemudian timbang beratnya di dalam air dengan kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada suhu (23 ± 2)°C. Untuk menghilangkan udara yang terperangkap, goyangkan benda uji di dalam wadah yang terendam air.
6. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian tersebut dapat dihitung sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam SNI 1969:2008. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut.
   a. Berat Jenis Curah

      Berat jenis curah $= \frac{BK}{(Bj-Ba)}$

      $= \frac{4890}{(5000-3055)}$

      = 2,51 gram

   b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

      Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{Bj}{(Bj-Ba)}$

      $= \frac{5000}{(5000-3055)}$

      = 2,57 gram

   c. Berat Jenis Semu

      Berat jenis semu $= \frac{Bk}{(Bk-Ba)}$

$$= \frac{4890}{(4890-3055)}$$

= 2,66 gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(Bj-Bk)}{Bk}\ x\ 100\%$

$= \frac{(5000-4890)}{4890}\ x\ 100\%$

= 2,25%

Dari hasil perhitungan di atas maka diperoleh hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Berat Jenis dan Penyerapan Air Keramik

Uraian	**Hasil Pengamatan**
	Sampel
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4890
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3055
Berat jenis curah $= \frac{\text{Bk}}{\text{Bj}-\text{Ba}}$	2,51
Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{\text{Bj}}{\text{Bj}-\text{Ba}}$	2,57
Berat jenis semu $= \frac{\text{Bk}}{\text{Bk}-\text{Ba}}$	2,66
Penyerapan air $= \frac{\text{Bj}-\text{Bk}}{\text{Bk}}$ x 100%	2,25%

Pemeriksaan analisa saringan terhadap keramik dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Adapun tahapan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar sebagai berikut ini.

1. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5)°C hingga mencapai berat tetap.
2. Saringan disusun dengan urutan dari ukuran terbesar di bagian atas hingga ukuran terkecil di bagian bawah, kemudian pan diletakkan di posisi bawah.

Benda uji dimasukkan ke dalam saringan bagian atas dan ditutup dengan penutup saringan.

3. Saringan kemudian ditempatkan dalam mesin pengguncang selama 10-15 menit. Setelah proses pengguncangan selesai, benda uji yang tertahan di setiap saringan ditimbang dan dicatat.
4. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-1969-1990. Adapun perhitungan analisa saringan agregat kasar sebagai berikut.
   a. Persentase Berat Tertinggal

      Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

      Lubang ayakan 40 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 0\%$

      Lubang ayakan 20 mm $= \frac{46}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 0{,}92\%$

      Lubang ayakan 10 mm $= \frac{3910}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 78{,}23\%$

      Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{983}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 19{,}66\%$

      Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 0\%$

      Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{0}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 0\%$

      Pan $= \frac{59}{4999}\ x\ 100\%$

      $= 1{,}18\%$

   b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

      Lubang ayakan 40 mm $= 0\%$

      Lubang ayakan 20 mm $= 0\% + 0{,}92\%$

      $= 0{,}92\%$

Lubang ayakan 10 mm = 0,92% + 78,23%
= 79,15%
Lubang ayakan 4,8 mm = 79,15% + 19,66%
= 98,82%
Lubang ayakan 2,4 mm = 98,82% + 0%
= 98,82%
Lubang ayakan 1,2 mm = 98,82% + 0%
= 98,82%
Pan = 98,82% + 1,18%
= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100% - 0%
= 100%
Lubang ayakan 20 mm = 100% - 0,92%
= 99,08%
Lubang ayakan 10 mm = 100% - 79,15%
= 20,84%
Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 98,82%
= 1,18%
Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 98,82%
= 1,18%
Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 98,82%
= 1,18%
Pan = 100% - 100%
= 0%

Adapun rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan keramik dapat dilihat pada Tabel 4.13 sebagai berikut.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan Keramik

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,000	0,000	100,000
20	46	0,920	0,920	99,080
10	3910	78,231	79,152	20,848
4,8	983	19,668	98,820	1,180
2,4	0	0,000	98,820	1,180
1,2	0	0,000	98,820	1,180
0,6	0	0,000	98,820	1,180
0,3	0	0,000	98,820	1,180
0,15	0	0,000	98,820	1,180
Pan	59	1,180	100,000	0,000
Jumlah	4998	100,000	672,989	

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan maka didapatkan perhitungan nilai modulus halus butir adalah sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma Persentase\ berat\ tertinggal\ komulatif}{100}$$

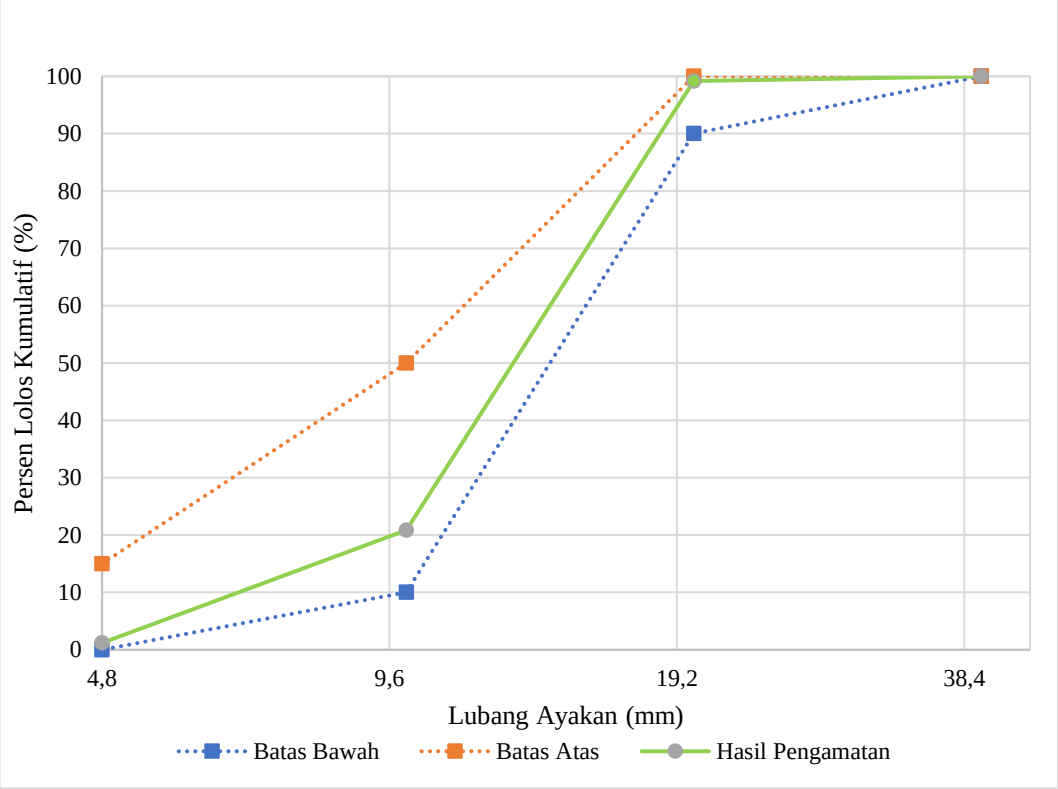
$$\text{MHB} = \frac{672{,}989}{100}$$

$$= 6{,}73$$

Hasil dari analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.14. dari hasil tabel gradasi tersebut maka dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.14 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Besaran Butiran Maksimum	Hasil Pemeriksaan
(mm)	20 mm	(%)
40	100	100
20	95-100	99,15
10	25-55	20,84
4,8	0-10	1,18



Gambar 4.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Keramik Maksimum 20 mm

Pemeriksaan berat volume padat dan gembur keramik dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Ukur diameter dan tinggi silinder dengan teliti.
2. Timbang silinder dalam keadaan kosong.
3. Masukkan benda uji ke dalam silinder menggunakan sekop hingga sepertiga volume silinder penuh, kemudian tusuk lapisan agregat sebanyak 25 kali dengan batang penumbuk.

4. Isi silinder lagi hingga dua pertiga volumenya dan tusukkan agregat sebanyak 25 kali lagi menggunakan batang penumbuk.
5. Isi silinder hingga lebih dari volume penuh dan tusukkan agregat sebanyak 25 kali menggunakan batang penumbuk.
6. Ratakan permukaan benda uji menggunakan alat perata.
7. Timbang silinder yang berisi benda uji dan catat beratnya.
8. Setelah semua data pengujian terkumpul, hasil pengujian dapat dihitung sesuai dengan pedoman SNI 03-4804-1998. Adapun perhitungan berat volume padat dan gembur sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 - W1
      = 18459 – 10962
      = 7497 gram

      Volume tabung (V) = $^1/_4\ \pi$ d² t
      = $^1/_4\ \pi\ 15^2\ 30$
      = 5301,4 cm^3

      Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
      = $\frac{7497}{5301,4}$
      = 1,4 gram/cm^3

   b. Berat Volume Padat

      Berat agregat (W3) = W2 - W1
      = 19050 – 10472
      = 8578 gram

      Volume tabung (V) = $^1/_4\ \pi$ d² t
      = $^1/_4\ \pi\ 15^2\ 30$
      = 5301,4 cm^3

      Berat volume padat = $\frac{W3}{V}$
      = $\frac{8578}{5301,4}$
      = 1,6 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi hasil dari perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.15, Tabel 4.16 pada berikut.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Keramik

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10962
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18459
Berat agregat (W3), gram	7497
Volume tabung (V), cm^3	5301,4
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,4

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Keramik

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,00
Berat tabung (W1), gram	10472
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19050
Berat agregat (W3), gram	8578
Volume tabung (V), cm^3	5301,4
Berat volume padat (W3/V), gram/cm3	1,6

4.4.2 Pemerikasaan Semen

Pada pemeriksaan semen, dilakukan pemeriksaan secara visual untuk memastikan bahwa kantong semen tertutup rapat, bebas dari kerusakan, dan tidak terdapat penggumpalan semen yang terjadi sejak proses pabrikasi.

4.4.3 Pemeriksaan Air

Pemeriksaan ini dilakukan secara visual untuk memastikan bahwa air yang akan digunakan bersih, jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau. Menurut PBI

1971, air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, atau garam.

4.5 Perencanaan Campuran *Mix Design*

Perencanaan campuran beton (*mix design*) yang digunakan menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Berikut adalah perhitungan rencana campuran sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana *(f'_c)* digunakan sebesar 25 MPa dengan benda uji silinder yang berdiamter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Jenis semen yang digunakan adalah semen *portland composite* tipe I dengan merk Tiga Roda.
3. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar diperoleh berat jenis agregat halus sebesar 2,53 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,56.
4. Dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar diperoleh ukuran maksimum sebesar 20 mm.
5. Dari hasil pengujian analisa agregat halus diperoleh susunan butir agregat halus masuk kedalam gradasi daerah I.
6. Menentukan nilai standar deviasi (Sd), dikarenakan dalam perencanaan campuran beton belum memiliki pengalaman, maka berdasarkan Tabel 4.17 berikut nilai standar deviasi dengan pengendalian mutu jelek sebesar 7 MPa.
7.

Tabel 4.17 Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu pekerjaan	Sd (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Terkendali	8,4

Sumber : SNI 03-2834-2000

8. Menentukan nilai tambah (M).

   M = 1,64 x Sd

   = 1,64 x 7

   = 11,48 MPa (dibulatkan menjadi 12 MPa).

9. Menentukan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan.

   $f'_{cr} = f'_c + M$

   = 25 + 12

   = 37 MPa

10. Menentukan nilai faktor air semen (fas) berdasarkan Tabel 4.18 dan Gambar 4.4 pada halaman berikut.

Tabel 4.18 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa)

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau Semen Tahan Sulfat tipe 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	

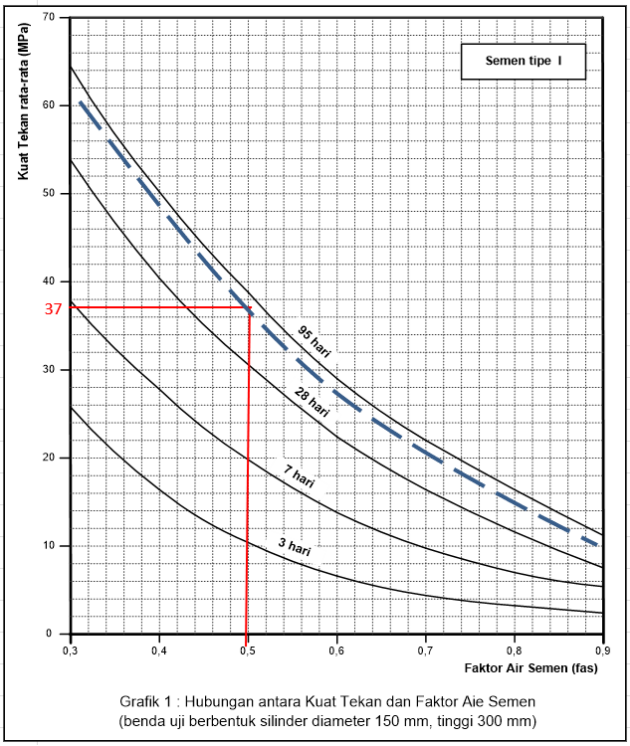
(Sumber: SNI 2834-2000)

a. Menggunakan jenis semen *portland* tipe I, jenis agregat kasar yaitu batu pecah, benda uji yang digunakan silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Maka berdasarkan Tabel 5.18 diperoleh perkiraan kuat tekan beton sebesar 37 MPa.

b. Dengan menggunakan fas sebesar 0,5 dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut, tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas sebesar 0,5 dan tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata rata sebesar 37 MPa (pada Tabel 5.18), sehingga didapatkan titik potongan antara kedua garis tersebut.

c. Buat kurva baru yang memotong titik potongan pada butir b.

d. Setelah itu tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
e. Tarik garis vertikal ke bawah dari titik potongan sehingga didapatkan nilai fas sebesar 0,5.



Gambar 4.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan faktor Air Semen (fas)

(Sumber: SNI 2834-2000)

10. Menentukan kadar air bebas yang dibutuhkan

Kadar air bebas pada campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 4.19 berikut.

a. Ukuran besar butir agregat maksimum hasil dari analisa saringan agregat kasar diperoleh sebesar 20 mm.
b. Jenis agregat terdiri dari batu tak dipecahkan (agregat halus) dan batu pecah (agregat kasar).
c. *Slump* yang direncanakan yaitu sebesar 60 - 100 mm.

Tabel 4. 19 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	*Slump* (mm)			
		0 - 10	**10 -30**	**30 - 60**	**60 - 100**
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(sumber: SNI 2834-2000)

d. Kadar air yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut.

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

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

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

e. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum.

Jumlah semen minimum dan fas maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 4.20 berikut.

Tabel 4. 20 Persyaratan Jumlah Semen Mininmum dan FAS Maksimum

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m3 beton (kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif Disebabkan oleh kondesansi atau uap korosif	 275 325	 0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	 325 275	 0,60 0,60
Beton masuk ke dalam tanah a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton di luar bangunan dengan keadaan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, sehingga didapatkan jumlah semen minimum sebesar 325 kg/m^3 dan fas maksimum sebesar 0,60.

11. Menentukan kadar semen yang digunakan

    Untuk menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut.

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

    $= \frac{205}{0,5}$

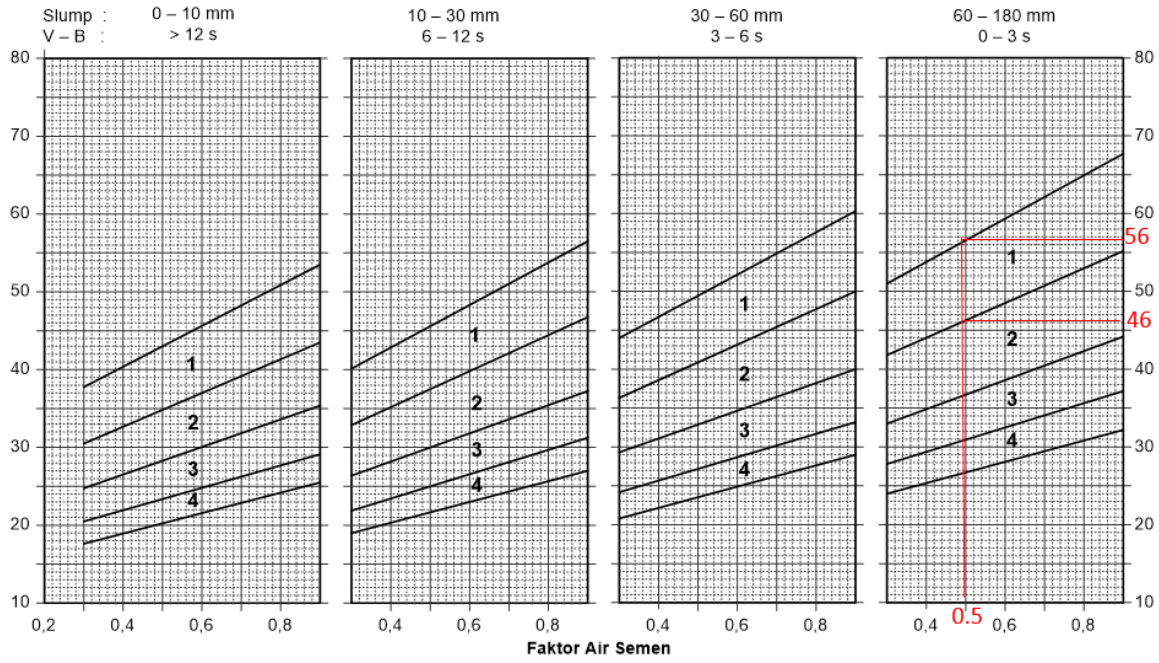
    $= 410$ kg/ m^3

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan kadar semen sebesar 410 kg/m^3 dan berdasarkan jenis pembetonan kadar semen minimum sebesar 325 kg/m^3, maka kadar semen yang digunakan sebesar 410 kg/m^3

12. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.

    Persentase agregat halus ditentukan berdasarkan Gambar 4.5 sebagai berikut.

    a. Ukuran maksimum agregat digunakan 20 mm, *slump* yang direncanakan masuk dalam 60-180 mm, nilai fas yang digunakan adalah sebasar 0,5 dan gradasi agregat halus masuk kedalam gradasi I.
    b. Tarik garis vertikal ke atas dari fas 0,5 sampai pada memotong dua garis kurva gradasi yang sudah ditentukan yaitu gradasi I.
    c. Dari dua titik perpotongan pada garis, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga didapatkan persentase batas atas dan batas bawah agregat halus, persentase batas atas agregat halus sebesar 56% dan persentase batas bawah sebesar 46%.



Gambar 4.5 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(sumber: SNI 03-2834-2000)

d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

Persentase agregat halus $= \frac{56\%+46\%}{2}$

$= 51\%$

e. Nilai persentase agregat kasar dapat dihitung sebagai berikut.

Persentase agregat kasar = 100% - Persentase agregat halus

= 100% - 51%

= 49%

13. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

berat jenis relatif agregat gabungan dapat dihitung sebagai berikut.

Berat jenis gabungan = (Persen Agregat Halus x Berat Jenis Agregat Halus) + (Persen Agregat Kasar x Berat Jenis Agregat Kasar)

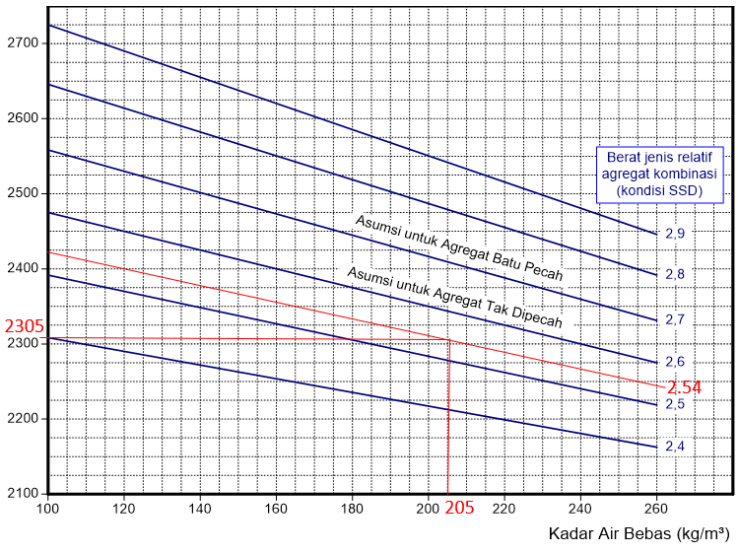
= (51% x 2,53) + (49% x 2,56)

= 2,54

14. Menentukan berat isi beton.

Berat isi beton dapat ditentukan berdasarkan Gambar 4.6 berikut.

a. Membuat garis kurva baru dengan nilai berat jenis relatif gabungan sebesar 2,54.
b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air bebas sebesar 205 kg/m^3 sampai memotong kurva baru yang telah dibuat.
c. Dari titik perpotongan garis tarik garis horizontal ke kiri, sehingga didapatkan nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2305 kg/m^3.



Gambar 4.6 Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan

(sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton.

    Kadar agregat dalam campuran beton dapat dihitung sebagai berikut.

    Kadar agregat = Berat isi beton – Kadar semen – Kadar air

    = 2305 – 410 - 205

    = 1690 kg/m^3

16. Mementukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

    Kadar agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung sebagai berikut.

    Kadar agregat halus = Persen agregat halus x kadar agregat

    = 51% x 1690

    = 861,900 kg/m^3

    Kadar agregat kasar = Persen agregat kasar x kadar agregat

    = 49% x 1690

    = 828,100 kg/m^3

17. Proporsi campuran per 1 m^3 beton.

    Dari hasil perencanaan campuran didapatkan proporsi dari tiap material untuk tiap 1 m^3 beton sebagai berikut.

    a. Semen = 410 kg

    b. Air = 205 kg

c. Agregat halus = 861,900 kg

d. Agregat kasar = 828,100 kg.

18. Nilai proporsi campuran untuk1 m^3 beton dalam penelitian ini angka penyusutan diambil sebesar 25%. Proporsi campuran pada proses *mixing* dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut

Tabel 4.21 Proporsi Campuran Benda Uji

No	Kode Sampel	Benda Uji		Volume	Semen	Pasir	Kerikil	Air	Keramik	
		Kuat tekan	Kuat Tarik	(m^3)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	%
1	BN-0	5	5	0,053	27,170	57,116	54,877	13,585	0,000	0
2	BNK-14	5	5	0,053	27,170	57,116	47,194	13,585	7,683	14
3	BNK-18	5	5	0,053	27,170	57,116	44,999	13,585	9,878	18
4	BNK-22	5	5	0,053	27,170	57,116	42,804	13,585	12,073	22
5	BNK-26	5	5	0,053	27,170	57,116	40,609	13,585	14,268	26
6	BNK-30	5	5	0,053	27,170	57,116	38,414	13,585	16,463	30
7	BNK-34	5	5	0,053	27,170	57,116	36,218	13,585	18,658	34
Total		35	35	0,371	190,189	399,815	305,113	95,095	79,022	

4.6 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

1. Persiapan Material
   a. Agregat kasar dan keramik dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*) agar dalam pengerjaan pembuatan adukan beton agar tidak mengurangi penggunaan air.
   b. Untuk agregat halus dalam kondisi SSD dengan cara pendiaman dalam karung yang sebelumnya telah diayak terlebih dahulu.
   c. Untuk agregat kasar dikondisikan dengan cara pendiaman di dalam karung yang sebelumnya telah dibersihkan dari seluruh kotoran menggunakan ayakan pencuci dan air.
   d. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan campuran beton (Mix Design) serta ditambahkan 25% setiap bahan untuk antisipasi bahan kurang akibat penempelan bahan pada *mixer* dan lainnya.

2. Persiapan alat
    a. Mesin pengaduk di cek terlebih dahulu apabila terdapat kotoran maka dibersihkan dahulu menggunakan air, kemudian mesin pengaduk dibiarkan sampai dalam kondisi kering.
    b. Setiap cetakan silinder diolesi pelumas seperti oli.
3. Pencampuran Material dan Pengadukan
    a. Mesin pengaduk dihidupkan.
    b. Dalam kondisi mesin berputar agregat kasar dan keramik dimasukan terlebih dahulu
    c. Setelah 5 menit, agregat halus dimasukkan ke mesin pengaduk berputar sampai tercampur rata.
    d. Semen dimasukan ke mesin pengaduk berputar sampai 5 menit sampai tercampur rata.
    e. Air dituangkan sesuai volume yang telah direncanakan secara bertahap.
    f. Pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.
    g. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang lembab dan segera dilaksanakan pengujian *slump*.
4. Pencetakan
    a. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan juga dipukul-pukul bagian dinding cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat sehingga tidak memiliki rongga udara.
    b. Permukaan beton diratakan dengan perata.
    c. Setelah cetakan silinder yang berisi campuran beton segar disimpan di dalam ruangan selama 24 jam.
    d. Beton keras sebagai benda uji dikeluarkan dari cetakan silinder dan diberikan kode identitas kemudian dimasukkan ke dalam bak perendaman.
5. Perawatan

Perawatan beton atau *curing* bertujuan untuk memperoleh beton dengan kualitas yang baik. Setelah benda uji mencapai waktu pengikatan atau mulai mengeras, beton dikeluarkan dari cetakannya untuk menjalani proses perawatan.

Perawatan dilakukan dengan metode perendaman hingga beton berumur 28 hari. Proses ini dilaksanakan dengan merendam benda uji dalam air yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.7 Nilai *Slump*

Pengujian campuran beton dilakukan pada saat sebelum campuran dimasukan ke dalam cetakan. Pengujian *slump* bertujuan untuk menentukan kekentelan atau kelecakan beton segar untuk mendapatkan nilai *slump*. Prosedur pengujian slump adalah sebagai berikut.

1. Basahi kerucut abrams, kemudian letakkan di atas pelat yang datar, kaku, dan tidak menyerap air serta lembab. Pastikan cetakan tertahan dengan kokoh.
2. Isi kerucut abrams dengan beton segar hingga penuh, membaginya dalam tiga lapisan, dengan setiap lapisan sepertiga dari volume cetakan.
3. Setiap lapisan beton dipadatkan dengan cara menusukkan batang penusuk sebanyak 25 tusukan secara merata, hingga mencapai bagian bawah setiap lapisan. Pada lapisan pertama, penusukan dilakukan dengan posisi tepi batang penusuk yang dimiringkan sesuai kemiringan kerucut Abrams.
4. Setelah selesai penusukan, ratakan permukaan beton dengan tongkat dan bersihkan sisa beton yang jatuh di sekitar cetakan.
5. Angkat cetakan secara perlahan-lahan dengan arah tegak lurus ke atas, sejauh 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa ada gerakan horizontal. Semua tahapan pengujian slump harus diselesaikan dalam waktu maksimal 2,5 menit.
6. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur tinggi penurunan dan bandingkan dengan tinggi kerucut, lalu catat hasil pengukuran tersebut.

Adapun hasil pengujian slump di lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.22 sebagai berikut.

Tabel 4.22 Pengujian *Slump*

No	Nama Benda Uji	Nilai Slump (mm)
1	BN-0	70,00
2	BNK-14	60,00
3	BNK-18	60,50
4	BNK-22	100,00
5	BNK-26	90,50
6	BNK-30	100,00
7	BNK-34	60,50

4.8 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal

Usia beton untuk sampel uji coba adalah 7 hari. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada usia 7 hari, mutu beton pada usia 28 hari dapat diperkirakan dengan menggunakan perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai usia. Kekuatan tekan beton pada usia 28 hari dihitung dengan membagi nilai *f'c* aktual dengan faktor konversi yang sesuai untuk usia uji pada 7 hari. Perhitungan di bawah ini merupakan penghitungan kuat tekan beton untuk sampel uji 1.

f'c actual $= \frac{P\ (Kn)}{A\ (mm^2)}$

$= \frac{P\ x\ 1000}{\frac{1}{4} x\ \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{300{,}7\ x\ 1000}{\frac{1}{4} x\ \pi\ x\ 150^2}$

=17,02 MPa

f'c Konversi = f'c actual x $\frac{1}{Angka\ Konversi}$

= 17,02 x $\frac{1}{0{,}65}$

= 26,18 MPa

Dengan menggunakan langkah yang sama pada tiga sampel yang diuji, diperoleh nilai kuat tekan pada usia 7 hari sebagaimana pada Tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.23 Beton *Trial*

Kode Sampel	Luas Penampang (cm^3)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor Konversi	Kuat Tekan Konversi (MPa)
BN1	177,48	400,5	22,66	0,65	34,87
BN2	175,81	389,6	22,05	0,65	33,92
BN3	178,54	378,8	21,44	0,65	32,98

4.9 Pengujian Sampel Beton

Pengujian pada benda uji dilakukan setelah beton mencapai usia 28 hari. Jenis pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat volume beton, uji kuat tekan, dan uji kuat tarik belah. Tahapan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Volume Beton

Adapun tahapan pengujian berat volume yaitu sebagai berikut.

a. Mengangkat benda uji dari proses perendaman dan membiarkannya selama kurang lebih 24 jam untuk memastikan tidak ada air yang terperangkap.
b. Mengukur dimensi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian yang sesuai.
c. Mencatat hasil pengukuran dimensi benda uji dalam satuan sentimeter (cm).
d. Menimbang berat benda uji menggunakan timbangan yang memiliki akurasi minimal 0,1 gram.
e. Mencatat berat benda uji dalam satuan kilogram (kg).

Berikut adalah rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 4.24 sampai dengan 4.30 berikut.

Tabel 4.24 Berat Volume Beton

Variasi Keramik	No Sampel	Diamter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BN-0	1	15,067	30,400	5419,982	12,690	2341,336	2372,231
	2	15,000	30,500	5389,795	12,802	2375,230	
	3	15,000	30.200	5336,781	12,772	2393,203	
	4	15,000	30.100	5319,109	12,750	2397,018	
	5	15,000	30.200	5336,781	12,872	2411,941	
	6	15,067	30,267	5396,210	12,663	2346,647	
	7	15,000	30,100	5319,109	12,664	2380,850	
	8	15,067	30,100	5366,495	12,800	2385,169	
	9	15,067	30,533	5443,754	12,788	2349,114	
	10	15,067	30,600	5455,640	12,776	2341,797	

Tabel 4.25 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 14%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-14	1	15,000	30,300	5354,452	12,733	2378,021	2371,914
	2	15,000	30,200	5336,781	12,722	2383,834	
	3	15,000	30,500	5389,795	12,841	2382,465	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,663	2349,440	
	5	15,000	30,333	5360,342	12,628	2355,820	
	6	15,000	30,000	5301,438	12,644	2385,013	
	7	15,000	30,067	5313,219	12,695	2389,324	
	8	15,067	30,000	5348,666	12,645	2364,141	
	9	15,000	30,033	5307,328	12,609	2375,772	
	10	15,100	30,233	5414,144	12,752	2355,312	

Tabel 4.26 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 18%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-18	1	15,033	30,000	5325,026	12,488	2345,153	2362,621
	2	15,067	30,000	5348,666	12,635	2362,271	
	3	15,000	30,000	5301,438	12,505	2358,794	
	4	15,000	30,000	5301,438	12,642	2384,636	
	5	15,000	30,000	5301,438	12,628	2381,995	
	6	15,000	30,000	5301,438	12,575	2371,998	
	7	15,000	30,000	5301,438	12,517	2361,058	
	8	15,067	30,000	5348,666	12,559	2348,062	
	9	15,133	30,000	5396,104	12,484	2313,521	
	10	15,000	30,000	5301,438	12,628	2381,995	

Tabel 4.27 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 22%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-22	1	15,000	30,433	5378,014	12,219	2272,028	2245,187
	2	15,033	30,400	5396,026	12,258	2271,672	
	3	15,100	30,400	5443,991	12,314	2261,944	
	4	15,100	30,467	5455,929	12,046	2207,873	
	5	15,133	30,433	5474,048	12,048	2200,931	
	6	15,033	30,367	5390,109	12,114	2247,450	
	7	15,067	30,533	5443,754	12,303	2260,021	
	8	15,067	30,333	5408,096	12,081	2233,873	
	9	15,067	30,233	5390,267	12,096	2244,045	
	10	15,067	30,400	5419,982	12,206	2252,037	

Tabel 4.28 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 26%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-26	1	15,000	30,567	5401,576	12,224	2263,043	2271,729
	2	15,000	30,533	5395,685	12,273	2274,595	
	3	15,000	30,433	5378,014	12,214	2271,099	
	4	15,000	30,367	5366,233	12,188	2271,239	
	5	15,000	30,400	5372,123	12,087	2249,948	
	6	15,067	30,400	5419,982	12,297	2268,827	
	7	15,033	30,400	5396,026	12,312	2281,679	
	8	15,067	30,533	5443,754	12,243	2249,000	
	9	15,000	30,300	5354,452	12,250	2287,816	
	10	15,000	30,333	5360,342	12,329	2300,040	

Tabel 4.29 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 30%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-30	1	15,033	30,433	5401,943	12,264	2270,294	2262,118
	2	15,000	30,433	5378,014	12,182	2265,148	
	3	15,000	30,600	5407,466	12,342	2282,400	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,293	2280,792	
	5	15,000	30,367	5366,233	12,207	2274,780	
	6	15,067	30,333	5408,096	12,206	2256,987	
	7	15,100	30,533	5467,868	12,308	2250,969	
	8	15,033	30,700	5449,276	12,255	2248,922	
	9	15,100	30,567	5473,837	12,329	2252,351	
	10	15,100	30,533	5467,868	12,240	2238,533	

Tabel 4.30 Berat Volume Beton Dengan Pecahan Keramik 34%

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-34	1	15,033	30,500	5413,776	12,437	2297,287	2270,371
	2	15,167	30,500	5510,234	12,285	2229,488	
	3	15,000	30,367	5366,233	12,355	2302,360	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,350	2291,367	
	5	15,033	30,533	5419,693	12,482	2303,083	
	6	15,067	30,633	5461,582	12,371	2265,094	
	7	15,033	30,533	5419,693	12,185	2248,282	
	8	15,067	30,367	5414,039	12,118	2238,255	
	9	15,100	30,700	5497,714	12,294	2236,202	
	10	15,000	30,567	5401,576	12,382	2292,294	

2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari, dengan total sampel yang diuji sebanyak 5 sampel untuk setiap variasi. Sebelum pengujian, permukaan bagian atas benda uji dilapisi dengan belerang melalui proses capping, yang bertujuan untuk meratakan permukaan sehingga beban yang diterima oleh mesin kompresi dapat tersebar merata. Pengujian dilanjutkan hingga benda uji tidak dapat menahan beban lebih lanjut, yang mengakibatkan beton retak. Berdasarkan SNI 1974-2011. Adapun tahapan pengujian kuat tekan sebagai berikut ini.

a. Mengangkat benda uji dari perendaman dan membiarkannya selama ± 24 jam untuk mengurangi kelembapan,
b. Mengukur dimensi dan berat benda uji dengan akurat,
c. Meletakkan benda uji pada landasan tekan bawah dan memastikan penunjuk beban mesin sudah menunjukkan nol,
d. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik,
e. Melakukan pembebanan secara bertahap hingga benda uji hancur,
f. Mencatat pembebanan maksimum yang terjadi selama pengujian.

Adapun perhitungan kuat tekan beton menggunakan persamaan 3.9 adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton normal

$$f'_{c\ \text{aktual}} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{451{,}71\ x\ 10^3}{17828{,}887}$$

$$= 25{,}336 \text{ MPa}$$

2. Kuat tekan beton dengan variasi keramik 14%

$$f'_{c\ \text{aktual}} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{516{,}2\ x\ 10^3}{17671{,}459}$$

$$= 29{,}211 \text{ MPa}$$

3. Kuat tekan beton dengan variasi keramik 18%

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

$= \frac{476{,}05\ x\ 10^3}{17750{,}086}$

= 26,820 MPa

Dengan cara yang sama dihitung juga kuat tekan beton pada variasi lainnya, sehingga didapatkan rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.31 sebagai berikut.

Tabel 4.31 Kuat Tekan Beton

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik (%)	Beban Maksimum (N)	Diamter (cm)	Luas Penampang (mm2)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1	BN-0	0	451710	15,067	17828,887	25,336	26,512
2	BN-0		494380	15,000	17671,459	27,976	
3	BN-0		484110	15,000	17671,459	27,395	
4	BN-0		458450	15,000	17671,459	25,943	
5	BN-0		457880	15,000	17671,459	25,911	
1	BNK-14	14%	516200	15,000	17671,459	29,211	28,020
2	BNK-14		531980	15,000	17671,459	30,104	
3	BNK-14		496690	15,000	17671,459	28,107	
4	BNK-14		476590	15,000	17671,459	26,969	
5	BNK-14		454320	15,000	17671,459	25,709	
1	BNK-18	18%	476050	15,033	17750,086	26,820	26,213
2	BNK-18		449260	15,067	17828,887	25,198	
3	BNK-18		473430	15,000	17671,459	26,791	
4	BNK-18		456010	15,000	17671,459	25,805	
5	BNK-18		467460	15,000	17671,459	26,453	
1	BNK-22	22%	462180	15,000	17671,459	26,154	24,757
2	BNK-22		427080	15,033	17750,086	24,061	
3	BNK-22		473530	15,100	17907,864	26,443	
4	BNK-22		440050	15,100	17907,864	24,573	
5	BNK-22		405690	15,133	17987,014	22,555	

Lanjutan Tabel 4.31

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik	Beban Maksimum	Diamter	Luas Penampang	Kuat Tekan	Rerata
		(%)	(N)	(cm)	(mm2)	(MPa)	(MPa)
1	BNK-26	26%	401300	15,000	17671,459	22,709	23,607
2	BNK-26		420400	15,000	17671,459	23,790	
3	BNK-26		409200	15,000	17671,459	23,156	
4	BNK-26		399180	15,000	17671,459	22,589	
5	BNK-26		455770	15,000	17671,459	25,791	
1	BNK-30	30%	395700	15,033	17750,086	22,293	20,456
2	BNK-30		381240	15,000	17671,459	21,574	
3	BNK-30		300640	15,000	17671,459	17,013	
4	BNK-30		341090	15,000	17671,459	19,302	
5	BNK-30		390560	15,000	17671,459	22,101	
1	BNK-34	34%	304100	15,033	17750,086	17,132	18,971
2	BNK-34		340710	15,167	18066,339	18,859	
3	BNK-34		309400	15,000	17671,459	17,508	
4	BNK-34		374790	15,000	17671,459	21,209	
5	BNK-34		357610	15,033	17750,086	20,147	

3. Pengujian Kuat Tarik

Sama halnya dengan uji kuat tekan beton, uji tarik belah beton dilakukan pada saat benda uji mencapai umur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 5 buah sampel untuk setiap variasi. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, adapun tahapan pengujian kuat tarik sebagai berikut ini.

1. Menyiapkan alat dan benda uji,
2. Memberikan tanda pada benda uji dengan cara menarik garis tengah pada setiap ujung benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, sehingga untuk memastikan bahwa kedua garis tersebut berada dalam bidang aksial yang sama,
3. Meletakan bantalan bantu pembebanan diatas meja tekan bagian bawah mesin uji pada bagian tengah-tengah,
4. Meletakan benda uji di atas bantalan dengan sedemikian rupa sehingga tanda garis tengah benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan tersebut,
5. Mengatur posisi pengujian sampai tercapai posisi proyeksi dari bidang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat sejajar dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji,
6. Menjalankan mesin uji dengan pemberian beban dilakukan secara konstan yang berkisar 0,7 MPa/menit sampai dengan 1,4MPa/menit hingga benda uji hancur,
7. Mencatat pembebanan maksimum yang terjadi selama pengujian.

Adapun perhitungan kuat tarik belah beton menggunakan persamaan 3.10 adalah sebagai berikut.

1. Kuat Tarik Belah Beton Normal

$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$

$= \frac{2\ x\ 182\ x\ 10^3}{\pi\ x\ 300{,}267\ x 150{,}067}$

= 2,541 MPa

2. Kuat Tarik Belah Beton dengan Variasi 14%

$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$

$= \frac{2\ x\ 158\ x\ 10^3}{\pi\ x\ 300{,}000\ x 150{,}000}$

= 2,235 MPa

3. Kuat Tarik Belah Beton dengan Variasi 18%

$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$

$= \frac{2\ x\ 147\ x\ 10^3}{\pi\ x\ 300{,}000\ x 150{,}000}$

= 2,080 MPa

Dengan cara yang sama dihitung juga kuat tarik beton pada variasi lainnya, sehingga didapatkan rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik beton dapat dilihat pada Tabel 4.32 berikut.

Tabel 4.32 Kuat Tarik Beton

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik	Beban Maksimum	Diamter	Tinggi	Kuat Tarik	Rerata
		(%)	(N)	(cm)	(cm)	(MPa)	(MPa)
1	BN-0	0	182000	15,067	30,267	2,541	2,308
2	BN-0		153000	15,000	30,100	2,157	
3	BN-0		136000	15,067	30,100	1,909	
4	BN-0		165000	15,067	30,533	2,283	
5	BN-0		192000	15,067	30,600	2,651	
1	BNK-14	14%	158000	15,000	30,000	2,235	2,378
2	BNK-14		179000	15,000	30,067	2,527	
3	BNK-14		168000	15,067	30,000	2,366	
4	BNK-14		174000	15,000	30,033	2,459	
5	BNK-14		165000	15,100	30,233	2,301	
1	BNK-18	18%	147000	15,000	30,000	2,080	2,079
2	BNK-18		123000	15,000	30,000	1,740	
3	BNK-18		179000	15,067	30,000	2,521	
4	BNK-18		163000	15,133	30,000	2,286	
5	BNK-18		125000	15,000	30,000	1,768	
1	BNK-22	22%	94000	15,033	30,367	1,311	1,509
2	BNK-22		81000	15,067	30,533	1,121	
3	BNK-22		118000	15,067	30,333	1,644	
4	BNK-22		100000	15,067	30,233	1,398	
5	BNK-22		149000	15,067	30,400	2,071	

Lanjutan Tabel 4.31

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik (%)	Beban Maksimum (N)	Diamter (cm)	Tinggi (cm)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1	BNK-26	26%	154000	15,067	30,400	2,140	2,157
2	BNK-26		138000	15,033	30,400	1,922	
3	BNK-26		151000	15,067	30,533	2,090	
4	BNK-26		173000	15,000	30,300	2,423	
5	BNK-26		158000	15,000	30,333	2,211	
1	BNK-30	30%	165000	15,067	30,333	2,117	2,185
2	BNK-30		160000	15,100	30,533	2,209	
3	BNK-30		155000	15,033	30,700	2,000	
4	BNK-30		160000	15,100	30,567	1,821	
5	BNK-30		150000	15,100	30,533	1,947	
1	BNK-34	34%	155000	15,067	30,633	2,138	2,212
2	BNK-34		163000	15,033	30,533	2,261	
3	BNK-34		183000	15,067	30,367	2,546	
4	BNK-34		155000	15,100	30,700	2,129	
5	BNK-34		143000	15,000	30,567	1,986	

Berikut merupakan gambar contoh benda uji kuat tarik belah dari hasil pengujian kuat tarik belah terdapat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Contoh Benda Uji dari Hasil pengujian Kuat Tarik Belah Beton

4.10 Analisis Pengujian Benda Uji

Analisis pengujian benda uji dilakukan dengan menggunakan data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian yang diolah berdasarkan penamaan benda uji dan landasan teori yang digunakan untuk memperoleh hasil pengujian benda uji beton. Pada tahap analisis data, data yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik dianalisis dengan bantuan program *Microsoft Excel* untuk mendapatkan hubungan antara variabel yang diteliti dalam penelitian. Analisis yang dilakukan meliputi analisis sebab akibat yang berkaitan dengan pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik, sehingga hasil dari pengujian tersebut dipaparkan ke dalam bentuk grafik.

4.11 Pembahasan

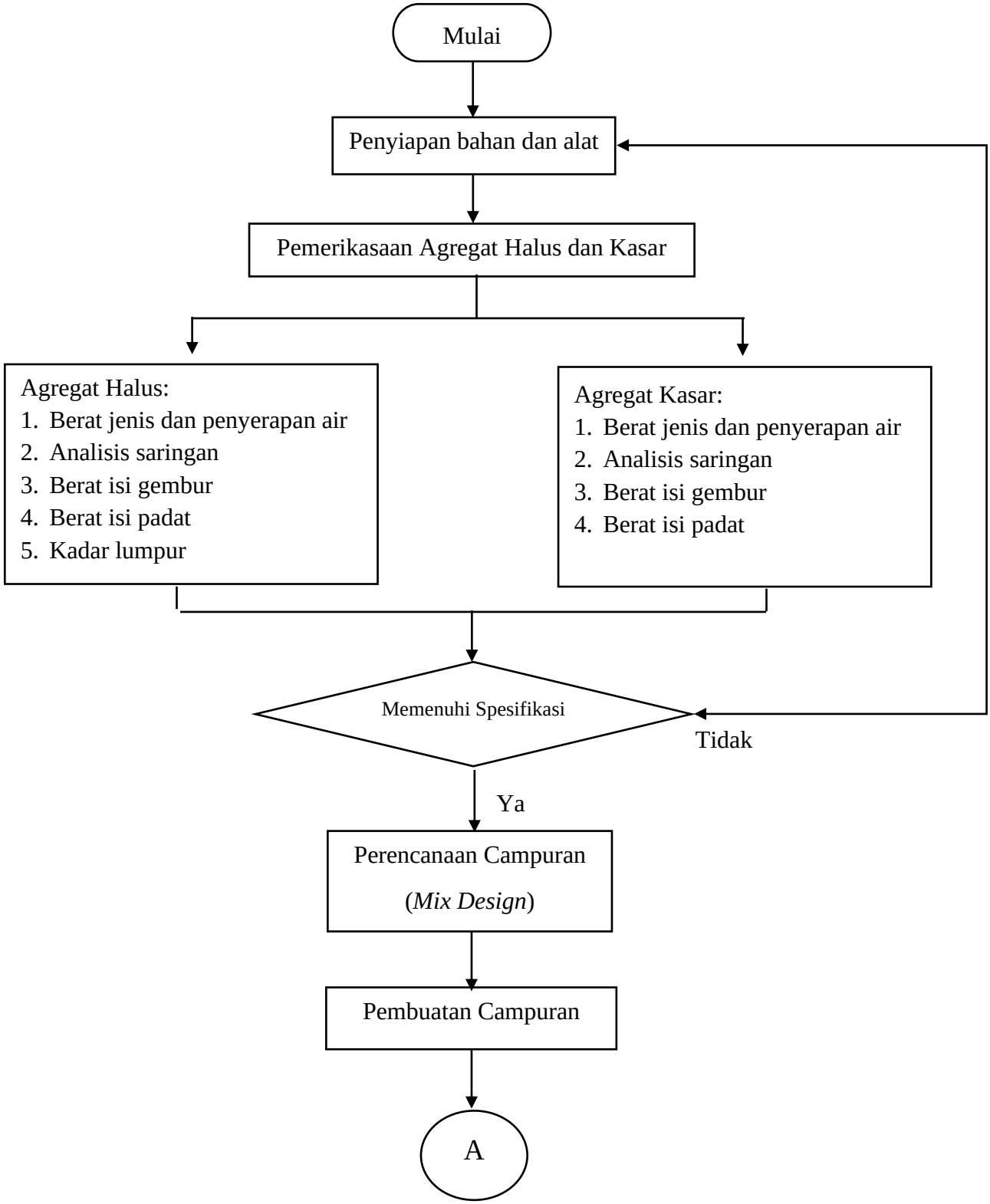
Pada tahap ini hasil analisis dibahas untuk memberikan jawaban dan penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai yang ditemui pada tahap analisis data.

4.12 Kesimpulan dan Saran

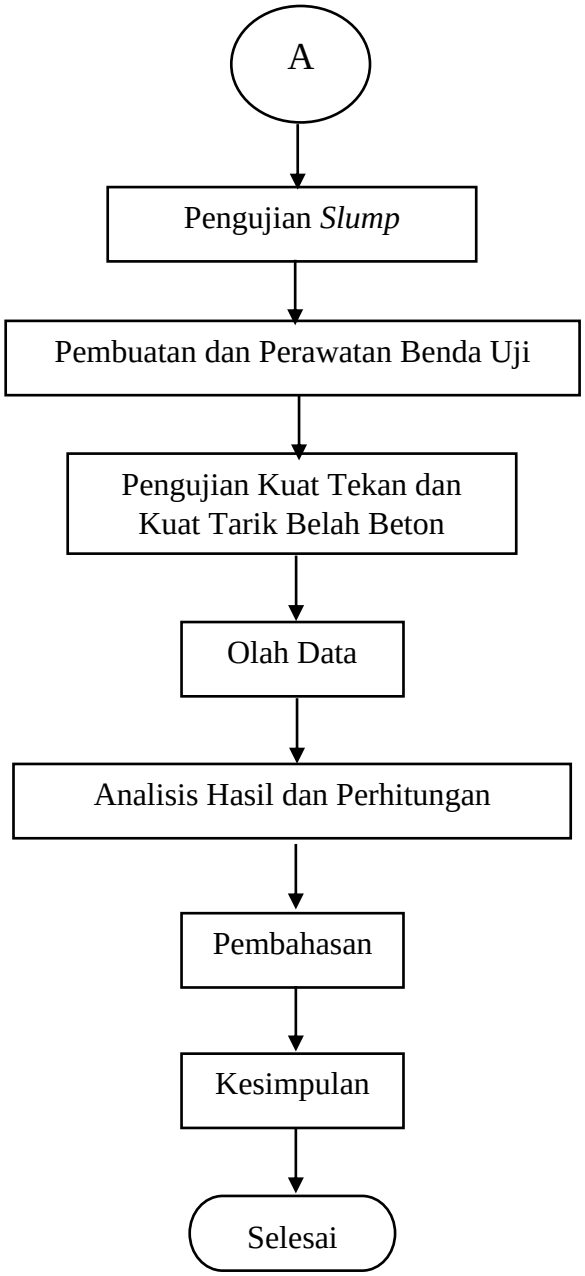
Pada tahap ini hasil yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan dibuat kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini juga dibuat saran untuk penelitan-penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang diperoleh.

4.13 Diagram Alir Penelitian

Adapun diangram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 8 Diagram Alir Pengujian



Lanjutan Gambar 4.8 Diagram Alir Pengujian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemeriksaan Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk memeriksa dan mengetahui sifat agregat yang akan digunakan sebagai penyusun campuran beton. Sebelum memulai perencanaan campuran, agregat harus memenuhi beberapa persyaratan. Pengujian agregat dibagi menjadi dua, yaitu pengujian agregat halus dan pengujian agregat kasar.

5.1.1 Agregat Halus

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.1 mengenai Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, diperoleh hasil bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah 2,53, dan penyerapan air sebesar 2,7%. Hasil ini telah memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus dalam SNI 03-1970-1990, di mana berat jenis jenuh SSD seharusnya berada dalam rentang 2,5–2,7, dan penyerapan air tidak melebihi 3%.

2. Analisa Saringan

   Dari Tabel 4.2, hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus diperoleh nilai sebesar 3,04. Berdasarkan pedoman SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir umumnya berada dalam rentang 1,35 hingga 3,8. Berdasarkan nilai persen lolos kumulatif pada Tabel 4.2, diperoleh grafik gradasi yang sesuai untuk agregat halus dari sampel pemeriksaan, yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai persen lolos kumulatif agregat halus masuk dalam kategori gradasi I, yang termasuk dalam jenis pasir kasar.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.3 mengenai Berat Volume Gembur dan Tabel 4.4 mengenai Berat Volume Padat, diperoleh nilai berat volume gembur sebesar 1,4 gram/cm^3 dan nilai berat volume padat sebesar 1,6 gram/cm^3. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat halus menurut SNI 03-

4804-1998, yang menetapkan bahwa berat volume gembur dan padat agregat halus berkisar antara 1,4 hingga 1,7 gram/cm³.

4. Lolos Saringan No. 200

   Dari Tabel 4.6, kadar lumpur dalam pasir diperoleh nilai sebesar 0,8%. Berdasarkan persyaratan yang ditetapkan dalam pedoman SNI 03-4142-1996, kandungan lumpur dalam pasir tidak boleh melebihi 5%. Dalam pengujian ini, pasir yang digunakan telah memenuhi syarat prosedur yang ditentukan dan dapat langsung digunakan tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

5.1.2 Agregat Kasar

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.7, hasil pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar menunjukkan bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,56 dan penyerapan air sebesar 2,15%. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material menurut SNI 03-1969-1990, yang menetapkan bahwa berat jenis jenuh SSD untuk agregat kasar berada dalam rentang 1,6–3,3, dengan penyerapan air maksimum sebesar 4%.

2. Analisa Saringan

   Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8. Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus menunjukkan nilai sebesar 6,74. Menurut pedoman SNI 03-1968-1990, modulus halus butir agregat umumnya berada dalam rentang 6,0–7,0. Berdasarkan nilai persen lolos kumulatif pada Tabel 4.8, diperoleh grafik gradasi yang sesuai untuk agregat kasar dari sampel pemeriksaan (dapat dilihat pada Gambar 4.2). Grafik tersebut menggambarkan nilai persen lolos kumulatif pada agregat kasar, berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi butiran agregat kasar dengan ukuran masksimum 20 mm. Maka dapat disimpulkan bahwa butiran agregat kasar tersebut memiliki ukuran maksimum 20 mm.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.9 mengenai Berat Volume Gembur dan Tabel 4.10 mengenai Berat Volume Padat, diperoleh nilai berat volume gembur sebesar 1,4 gram/cm³ dan berat volume padat sebesar 1,6 gram/cm³. Hasil tersebut

memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat halus menurut SNI 03-4804-1998, yang menyatakan bahwa dalam kondisi gembur, berat volume agregat harus berkisar antara 1,2 hingga 1,5 kg/m³, sedangkan dalam kondisi padat, berkisar antara 1,4 hingga 1,7 kg/m³.

5.1.3 Bahan Tambah (Keramik)

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.12 mengenai Berat Jenis dan Penyerapan Air keramik, diperoleh hasil berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,57 dan penyerapan air sebesar 2,25%. Nilai-nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material menurut SNI 03-1969-1990, yang menyatakan bahwa berat jenis jenuh SSD untuk agregat kasar harus berada dalam rentang 1,6 hingga 3,3, dengan nilai penyerapan air maksimum sebesar 4%.

2. Analisa Saringan

   Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.13. Hasil pemeriksaan modulus halus butir menunjukkan nilai sebesar 6,73. Menurut pedoman SNI 03-1968-1990, pada umumnya modulus halus butir agregat memiliki nilai antara 6,0 hingga 7,0. Berdasarkan nilai persen lolos kumulatif pada Tabel 4.13, diperoleh grafik gradasi yang sesuai untuk agregat kasar dari sampel pemeriksaan (dapat dilihat pada Gambar 4.3). Grafik tersebut menggambarkan bahwa nilai persen lolos kumulatif pada keramik dengan ukuran maksimum 20 mm. Maka dapat disimpulkan bahwa butiran agregat kasar tersebut memiliki ukuran maksimum sebesar 20 mm.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.15 hasil pemeriksaan berat volume gembur dan Tabel 4.16 hasil pemeriksaan berat volume padat, diperoleh nilai berat volume gembur sebesar 1,4 gram/cm³ dan berat volume padat sebesar 1,6 gram/cm³. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat halus sesuai dengan SNI 03-4804-1998, di mana nilai berat volume agregat halus dalam kondisi gembur berkisar antara 1,2 hingga 1,5 kg/m³, sementara dalam kondisi padat berkisar antara 1,4 hingga 1,7 kg/m³.

5.2 Proporsi Campuran Beton Normal

Hasil proporsi campuran beton normal dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Campuran Beton Normal

Mix Design				
No	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**	**Keterangan**
1	Kuat Tekan Beton Rencana	25	MPa	
2	Deviasi Standar (Sd)	7		Pengendalian Jelek
3	Nilai Tambah (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang Ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe I		Semen Tiga Roda
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Progo
8	Faktor Air Semen	0,5		
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	Uji Material
11	Kadar Air Bebas	205,00	kg/m^3	
12	Kadar Semen	410,00	kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325,00	kg	
15	Susunan Besar Butir Agregat Halus	1		Uji Material
16	Berat Jenis Agregat Halus	2,53		Uji Material
17	Berat Jenis Agregat Kasar	2,56		Uji Material
18	Persen Agregat Halus	51	%	
19	Berat Jenis relative Agregat Gabungan	2,54		
20	Berat Isi Beton	2305	kg/m^3	
21	Kadar Agregat Gabungan	1690	kg/m^3	
22	Kadar Semen digunakan	410	kg/m^3	
23	Kadar Agregat Halus	861,900	kg/m^3	
24	Kadar Agregat Kasar	828,100	kg/m^3	
25	Kadar Air digunakan	205,00	kg/m^3	

Lanjutan Tabel 5.1

Proporsi campuran dengan angka penyusutan 25%				
26	Semen	512,500	kg/m^3	
27	Agregat Halus	1077,375	kg/m^3	
28	Agregat Kasar	1035,135	kg/m^3	
29	Air	256,250	kg/m^3	
30	Keramik 14%	7,683	kg/m^3	
31	Keramik 18%	9,878	kg/m^3	
32	Keramik 22%	12,073	kg/m^3	
33	Keramik 26%	14,268	kg/m^3	
34	Keramik 30%	16,463	kg/m^3	
35	Keramik 34%	18,658	kg/m^3	

5.3 Hasil Pengujian Sampel Beton *Trial*

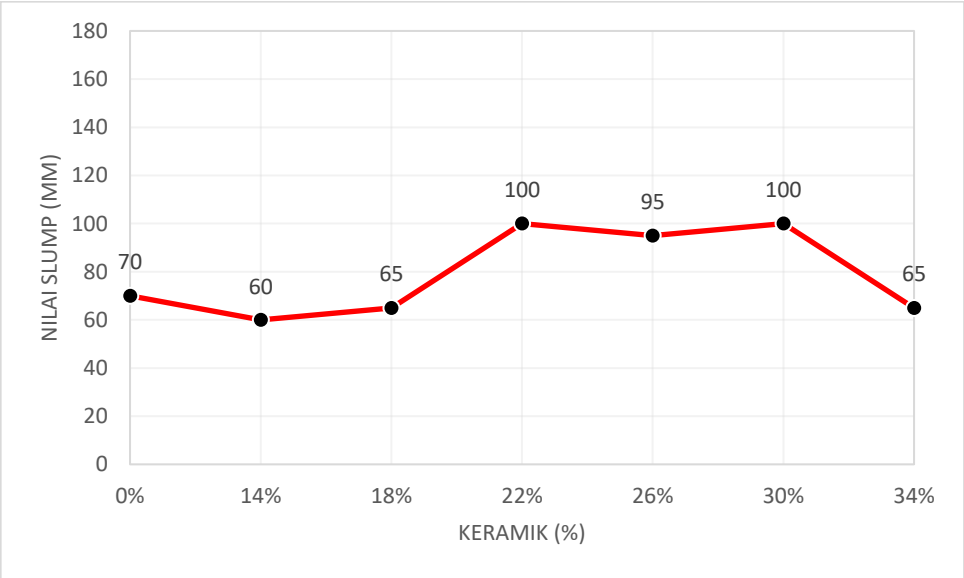
Pada Tabel 4.23, digunakan faktor konversi sebesar 0,65 sesuai dengan PBI 1971 untuk beton normal. Nilai konversi ini kurang relevan jika diterapkan pada beton dengan bahan tambah. Namun, hingga saat ini belum ada penelitian lain yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan nilai konversi yang lebih tepat, sehingga faktor konversi 0,65 tetap digunakan sebagai acuan. Perkiraan kuat tekan beton pada umur 28 hari diperoleh sebesar 34,87 MPa, 33,92 MPa, dan 32,98 MPa. Dengan demikian, nilai-nilai ini telah melebihi target kuat tekan rencana sebesar 25 MPa, yang menunjukkan bahwa hasil perhitungan perencanaan campuran beton *(mix design)* sudah sesuai dan dapat digunakan untuk pembuatan sampel benda uji selanjutnya.

5.4 *Slump*

Berdasarkan mix design sesuai dengan SNI 03-1972-1990, nilai *slump* yang direncanakan berada dalam rentang 60-180 mm. Hasil pengujian *slump* di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.2 Nilai *Slump* Beton

No	Variasi Keramik	Nilai *Slump* (mm)	Syarat Slump (60-100 mm)	Persentase Perubahan (%)
1	BN 0%	70,00	Memenuhi	0,000
2	BNK 14%	60,00	Memenuhi	-0,143
3	BNK 18%	60,50	Memenuhi	-0,071
4	BNK 22%	100,00	Memenuhi	0,429
5	BNK 26%	90,50	Memenuhi	0,357
6	BNK 30%	100,00	Memenuhi	0,429
7	BNK 34%	60,50	Memenuhi	-0,071



Gambar 5.1 Hubungan Nilai *Slump* dengan Variasi Keramik pada Campuran Beton

Berdasarkan Tabel 5.2 dan Gambar 5.1, nilai *slump* tertinggi didapatkan 100 mm pada kadar keramik 22% dan 30%, sementara pada nilai *slump* terkecil 60 mm dengan kadar keramik 14%. Penurunan nilai *slump* juga dipengaruhi oleh tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*). Semakin rendah nilai slump, semakin berkurang kelecakan beton yang mengakibatkan beton menjadi lebih kental dan sulit untuk dikerjakan. Jika, penurunan nilai *slump* yang tidak teratur dikarenakan cuaca panas menyebabkan kandungan air dalam keramik menjadi

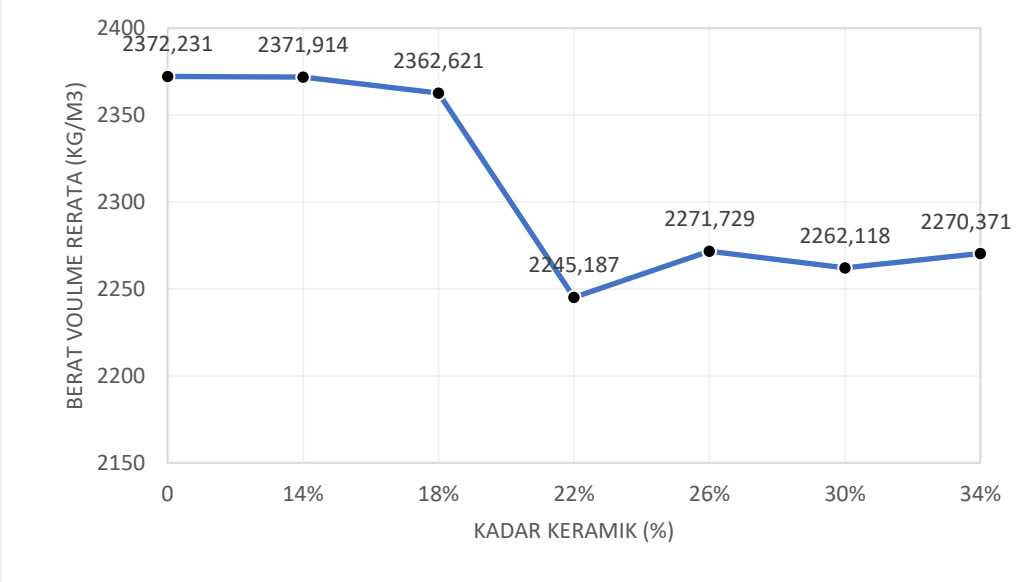
perbedaan nilai *slump*. Pada pengujian *slump* dalam penelitian ini, nilai yang diperoleh masih berada dalam batasan yang direncanakan, yaitu antara 60-180 mm.

5.5 Berat Volume beton

Berikut merupakan perhitungan dan hasil rekapitulasi pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Berat Volume Beton

Variasi Keramik	Kode Benda Uji	Rerata Berat Volume	Persentase Perubahan
(%)		(kg/m^3)	%
0	BN-0	2372,231	0,000
14	BNK-14	2371,914	0,000
18	BNK-18	2362,621	-0,004
22	BNK-22	2245,187	-0,054
26	BNK-26	2271,729	-0,042
30	BNK-30	2262,118	-0,046
34	BNK-34	2270,371	-0,043



Gambar 5.2 Berat Volume Beton Setiap Variasi

Berdasarkan hasil berat volume rata-rata yang ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.2, diperoleh nilai berat volume terbesar pada variasi tanpa keramik 0%, adalah 2372,231 kg/m³. Nilai berat volume terkecil pada variasi keramik 22% sebesar 2245,187 kg/m³. Dari hasil penelitian diketahui keramik mengakibatkan penurunan nilai berat volume. Kadar keramik mencapai 22% berat volume berada di 2262–2272 kg/m³. Persentase keramik 26% hingga 34% tidak mengalami penurunan signifikan. Penggunaan keramik pada beton menyebabkan rendahnya daya rekat antara keramik dengan agregat kasar, dikarenakan keramik yang mempunyai bentuk yang pipih/datar dan permukaan yang licin sehingga daya rekat tersebut rendah.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, nilai rerata tersebut memenuhi beton yang diklasifikasikan berdasarkan berat jenis menurut SNI 03-2847-2002, bahwa masuk kedalam klasifikasi berat beton normal karena berada diantara 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai rerata berat beton yang diperoleh dalam penelitian ini termasuk dalam kategori beton normal.

5.6 Kuat Tekan Beton

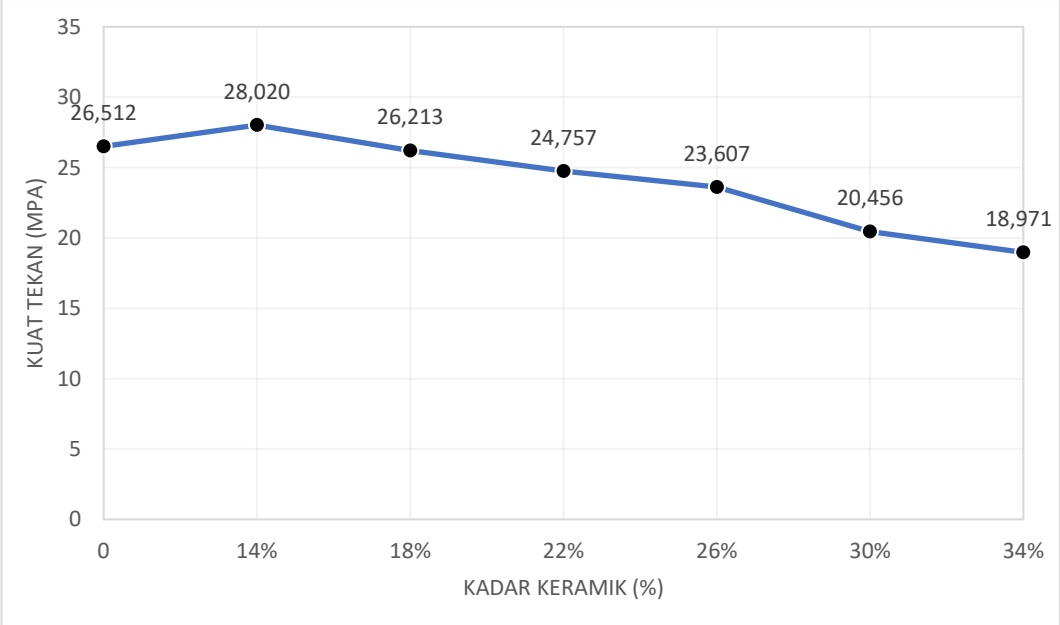
Pada pengujian kuat tekan dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari dengan kuat tekan yang direncanakan (*f'c*) sebesar 25 MPa sebanyak 35 sampel silinder. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Kuat Tekan Beton

Variasi Keramik	Kode Benda Uji	Rerata Kuat Tekan	Persentase Perubahan
(%)		(MPa)	%
0	BN-0	26,512	0,00
14	BNK-14	28,020	5,68
18	BNK-18	26,213	-1,12
22	BNK-22	24,757	-6,62
26	BNK-26	23,607	-10,95
30	BNK-30	20,456	-22,84
34	BNK-34	18,971	-28,44

Berdasarkan pada Tabel 5.4 diatas terdapat nilai kuat tekan yang memiliki nilai sangat kecil yaitu pada benda uji BNK-34 sebesar 18,971 MPa. Hal ini karena susunan keramik yang saling menempel pada permukaan halus menyebabkan tidak terisinya agregat halus. sehingga dalam beton banyaknya rongga pada campuran tersebut, maka semakin bertambahnya campuran keramik maka semakin menurun kekuatan beton.

Berdasarkan pada Tabel 5.4 tersebut didapatkan hasil nilai kuat tekan beton (f'c) rata-rata pada sebagian agregat kasar dan pecahan keramik sebanyak 0%, 14%, 18%, 22%, 26%, 30%, dan 34% dengan umur beton 28 hari secara berturut-turut sebesar 26,512 MPa, 28,020 MPa, 26,213 MPa, 24,757 MPa, 23,607 MPa, 20,456 MPa dan 18,971 MPa. Nilai-nilai tersebut dapat dibuatkan menjadi grafik hubungan kuat tekan beton dengan kadar keramik dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Pecahan Keramik

Pada Gambar 5.3, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi 14% dengan persentase perubahan sebesar 5,68%. Penurunan kuat tekan dimulai dari 28,020 MPa pada variasi 14% menjadi 18,971 MPa pada variasi 34% mengalami penurunan yang signifikan pada campuran keramik tersebut. Hal ini

penggunaan keramik dalam beton menyebabkan rendahnya daya rekat antara keramik dengan agregat kasar, dikarenakan keramik yang mempunyai bentuk yang pipih/datar dan permukaan yang licin sehingga daya rekat tersebut rendah, maka semakin bertambahnya keramik pada campuran tersebut maka semakin menurun pula kekuatan beton. Meskipun keramik bertujuan untuk sebagai bahan pengisi, penambahan keramik di luar kapasitas optimum justru dapat menurunkan kualitas beton, sehingga mempengaruhi kekuatan tekan beton tersebut. Oleh karena itu berdasarkan Tabel 5.4 dan Gambar 5.3, nilai rerata yang diperoleh pada penelitian ini melebihi kuat tekan rencana yaitu sebesar 25 MPa.

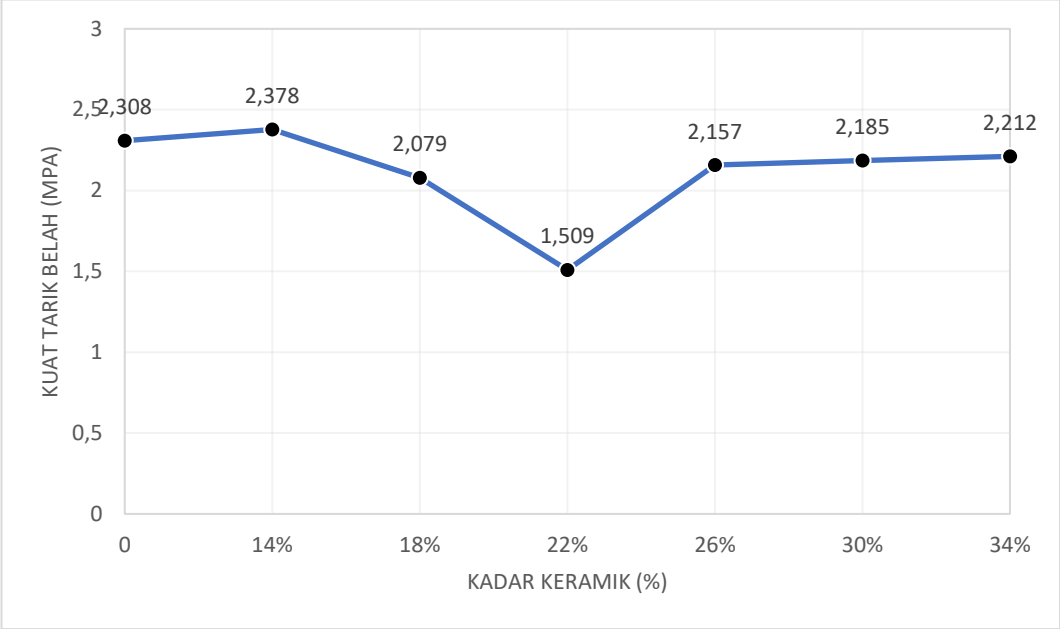
5.7 Kuat Tarik Belah Beton

Nilai rata-rata kuat tarik belah beton sampel pada setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Kuat Tarik Belah Beton

Variasi Keramik	Kode Benda Uji	Rerata Kuat Tarik	Persentase Perubahan
(%)		(MPa)	%
0	BN-0	2,308	0,00
14	BNK-14	2,378	2,99
18	BNK-18	2,079	-9,93
22	BNK-22	1,509	-34,63
26	BNK-26	2,157	-6,54
30	BNK-30	2,019	-5,35
34	BNK-34	2,212	-4,18

Berdasarkan hasil dari kuat tarik belah rata-rata Tabel 5.5, nilai tersebut dapat dibuat menjadi grafik hubungan kuat tekan beton dengan kadar pecahan keramik untuk umur uji beton 28 hari yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

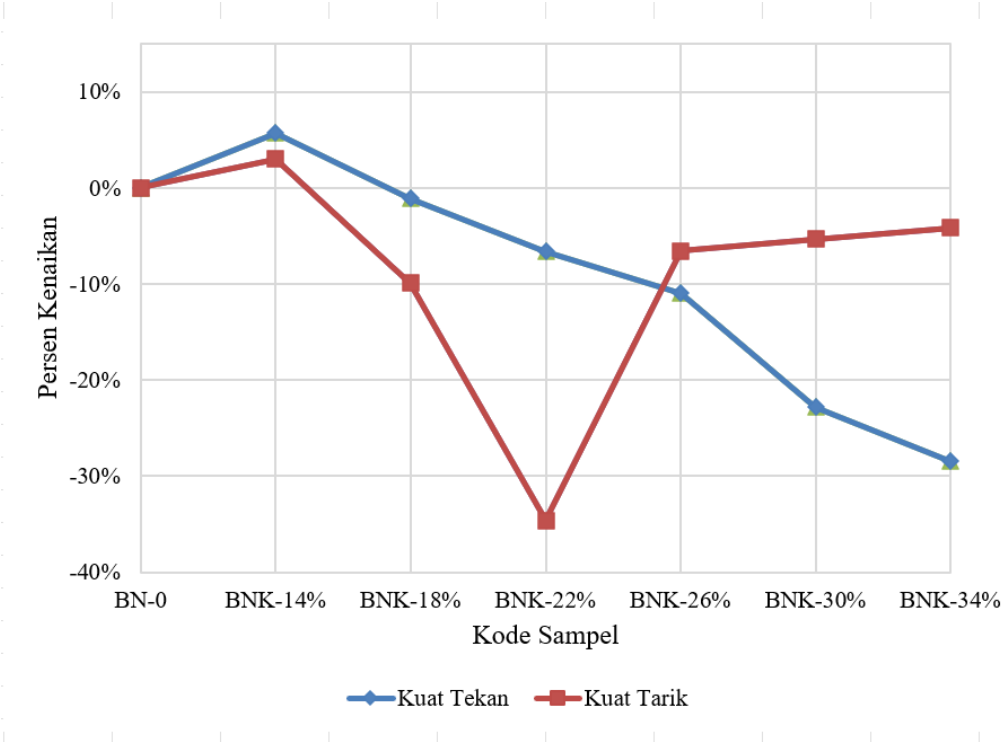


Gambar 5.4 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton dengan Kadar Pecahan Keramik

Berdasarkan Gambar 5.4 diatas dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah tertinggi terjadi sebesar 2,378 MPa pada variasi 14% dengan persentase perubahan 2,99%. Setelah kadar keramik mencapai 22%, kuat tarik belah berada di 2,157-2,212 MPa. Pada persentase keramik 26–34% tidak mengalami kenaikan yang signifikan pada keramik tersebut. Hal ini menunjukkan kuat tarik belah beton mengalami perubahan naik ataupun turun seiring peningkatan kadar keramik. Adapun perubahan nilai kuat tarik belah ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah ketidak homogenan campuran beton yang dapat menyebabkan terbentuknya celah dalam beton, sehingga menurunkan kekuatan tariknya.

5.8 Pembahasan Menyeluruh

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, didapatkan peresentase perubahan masing-masing pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai barikut.



Gambar 5.5 Persentase Kenaikan Hasil Pengujian Keseluruhan

Berdasarkan Gambar 5.5 diatas, persentase tertinggi kuat tekan dan kuat tarik optimum terjadi pada BNK-14%, sementara penurunan secara signifikan kuat tarik terjadi pada BNK-22%. Sedangkan kuat tekan mengalami penurunan secara bertahap. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan keramik pada beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian, analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan adalah sebagai berikut.

1. Penggunaaan keramik sebagai subsitusi agregat kasar dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik tertinggi sebesar 14%. Setelah melewati kadar optimum tersebut keramik dapat menurunkan kekuatan beton.
2. Kadar optimum substitusi agregat kasar dengan keramik pada campuran beton yaitu pada kadar 14% dengan nilai kuat tekan sebesar 28,020 MPa. Nilai kuat tarik belah optimum pada kadar 14% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2,378 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang diperoleh, masih terdapat beberapa kekurangan yang memerlukan perbaikan dan pengembangan dalam penelitian selanjutnya untuk mencapai hasil yang lebih optimal. Beberapa saran untuk penelitian mendatang adalah sebagai berikut.

1. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan interval kadar keramik lebih rapat, seperti 0,5% atau 2% di sekitar kadar optimum 14% untuk mendapatkan nilai kekuatan optimum dengan konsentrasi lebih spesifik.
2. Proses pemadatan beton perlu dilaksanakan secara konsisten dengan menggunakan alat vibrator untuk mengurangi potensi menurunnya kekuatan beton.
3. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan dengan penggunakan beton mutu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971: N. I – 2. *Yayasan LPMP. Bandung.*

Departemen Pekerjaan Umum. (1991). SNI 03-2495-1991: Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton. *Yayasan LPMP. Bandung.*

Eka Purnamasari. (2023). *Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Teknologi Terpadu Vol 11. No. 1.

Hermansyah, Dkk. (2022). *Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton.* Jurnal Kacapuri Vol. 5 No. 1.

Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.

Muhammad farid Maulana. H. (2023). *Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Pada beton dan Mortar*. Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Paul Nugraha. (2007). *Teknologi Beton dari material, pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi.* Penerbit: C.V. ANDI OFFSET.

Rado, P. (1988). *An Introduction to the Technology of Pottery*. Pergamon Press.

Lilis Tiyani, dkk. (2024). *Inovasi Eco Green Concrete Dengan Pemanfaatan Limbah SAW, Limbah Beton, Limbah Keramik, Dan Limbah Karet Sebagai Substitusi Agregat.* Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan.

Standarisasi Nasional Indonesia. (2012). SNI 7656-2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (2002). SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. *BSN. Jakarta*

Standar Nasional Indonesia. (2008). SNI 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1968-1990*: Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *BSN. Bandung.*

Standar nasional Indonesia. (1991). *SNI 08-1991-03*: Metode Pengujian Kuat Lentur Batu Memakai Gelagar Sederhana. *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (1998). *SNI 03-4804-1998*: Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. *BSN. Bandung*.

Standar Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1970-1990*: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *BSN. Bandung.*

Standar Nasional Indonesia. (2002). *SNI 03-2491-2002*: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *BSN. Bandung.*

Standar Nasional Indonesia. (2000). *SNI 03-2834-2000*: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *BSN. Bandung.*

Standar Nasional Indonesia. (2004). *SNI 15-2049-2004*: Semen Portland. *BSN. Bandung.*

Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI 1974:2011*: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (2002). *SNI 03-2491-2002*: Metode pengujian kuat tarik belah beton. *BSN. Bandung.*

Standar Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1974-1990*: Metode pengujian slump beton. *BSN. Jakarta*.

Standardisasi Nasional Indonesia. (1996). SNI 03-4142-1996: Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm). *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (1998). *SNI 03- 4804-1998:* Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara Dalam Agregat. *BSN. Jakarta.*

Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI-03-2847-2019*: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. *BSN. Jakarta.*

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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.uii.ac.id

Nomor : 075/Sek. Prodi PSTS/20/TA/IV/2024
Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium**

Kepada Yth:
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Melalui surat ini kami memohon kepada pimpinan Jurusan Teknik Sipil untuk dapat memberikan bantuan memberikan izin penelitian yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

NO	NAMA MAHASISWA	NIM	JUDUL TUGAS AKHIR	NO CP MHS
1.	Devi Ekawati	20511348	Pengaruh Substitusi Parsial Agregat Halus Menggunakan Abu Batu Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi	088232722101
2.	Muhammad Angger Pangestu	20511086	Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Limbah Keramik Pada Kuat Tekan Dan Tarik Beton	0898 4832 384

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

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

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 April 2024

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

AGREGAT HALUS

(SNI 1970:2008)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	487
Berat pasir kondisi (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708
Berat jenis curah Bk / (B + 500 – Bt)	2,5
Berat jenis jenuh (SSD) 500 / (B + 500 – Bt)	2,53
Berat jenis semu Bk / (B + Bk – Bt)	2,63
Penyerapan air (500 – Bk) / Bk x 100%	2,7

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40,00				
20,00				
10,00				
4,80	27	0,541	0,541	99,459
2,40	718	14,383	14,924	85,076
1,20	1003	20,092	35,016	64,984
0,60	1599	32,031	67,047	32,953
0,30	1089	21,81	88,862	11,138
0,15	446	8,934	97,796	2,204
Sisa	110	2,204	100	0
Jumlah	4992	100	304,187	-

Modulus Halus Butir $= \frac{304,187}{100}$

$= 3,04$

Nilai modulus halus butir yang didapatkan adalah sebesar 3,04 dan masuk ke dalam syarat yaitu 1,35 sampai 3,8 (SK SNI S-04-1989-F).

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI-03-2834-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

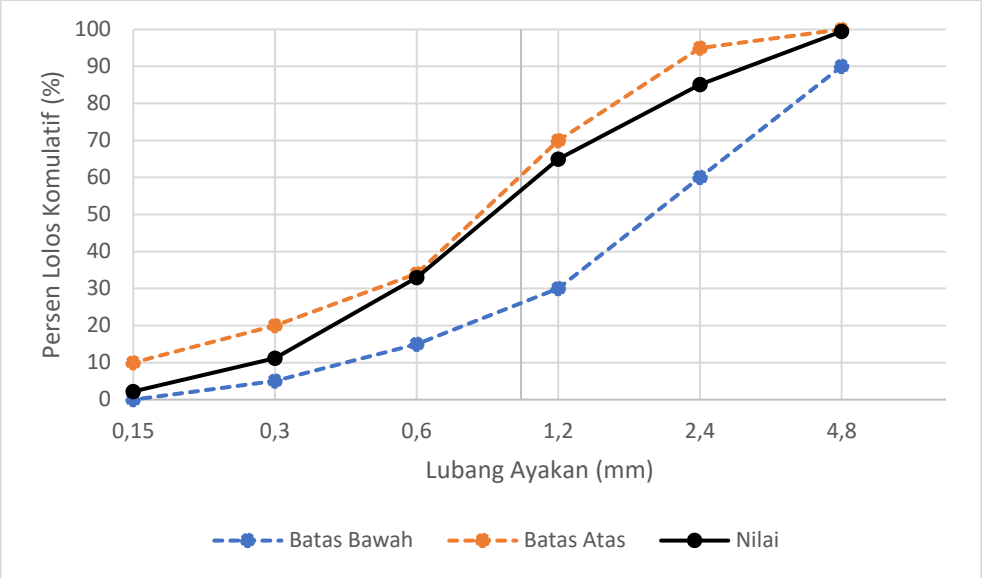
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah I

Jenis pasir : Pasir kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10000	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	17500	gram
Berat agregat (W3)	7500	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume gembur	1,4	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10472	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	19050	gram
Berat agregat (W3)	8578	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume padat	1,6	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

(SNI 03-4142-1996)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat kering awal (W1)	500	gram
Berat kering setelah dicuci (W2)	496	gram
Kadar lumpur	0,8	%

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

AGREGAT KASAR

(SNI 03-1969-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4895
Berat kerikil kondisi (SSD), gram	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3045
Berat jenis curah Bk / (5000 – Ba)	2,50
Berat jenis jenuh (SSD) 5000 / (5000 – Ba)	2,56
Berat jenis semu Bk / (Bk – Ba)	2,65
Penyerapan air (5000 – Bk) / Bk x 100%	2,15

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR

(SNI 03-1968-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0,000	0,000	100,000
20,00	44	0,880	0,880	99,120
10,00	4402	88,075	88,956	11,044
4,80	422	8,443	97,399	2,601
2,40	0	0,000	97,399	2,601
1,20	0	0,000	97,399	2,601
0,60	0	0,000	97,399	2,601
0,30	0	0,000	97,399	2,601
0,15	0	0,000	97,399	2,601
Sisa	130	2,601	100,000	0,000
Jumlah	4998	100,000	674,230	

Modulus Halus Butir $= \frac{674,230}{100}$

$= 6,74$

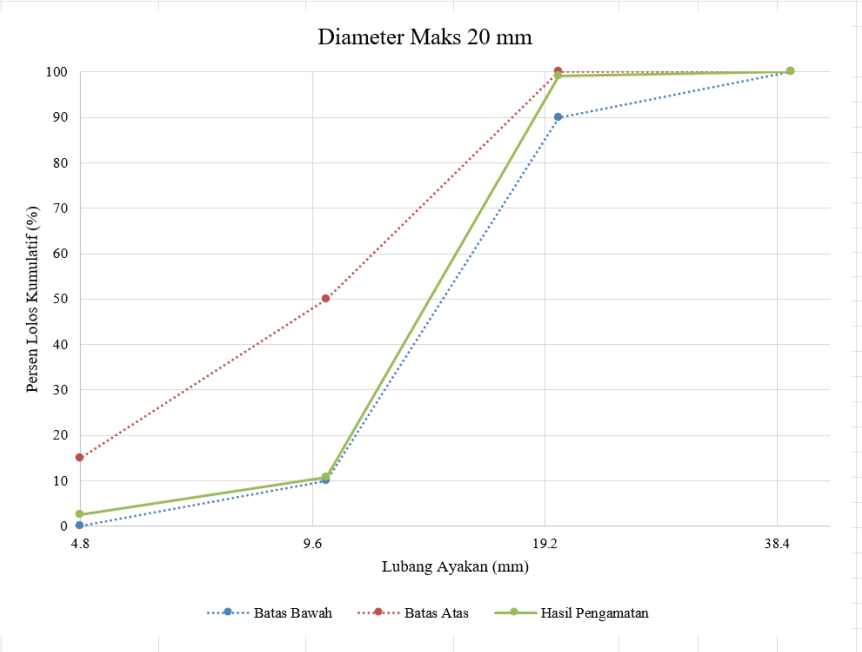
Nilai modulus halus butir yang didapatkan adalah sebesar 6,74 dan masuk ke dalam syarat yaitu 6,0 sampai 7,0 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95-100	100	-
20	30-70	95-100	100
10	10-35	25-100	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI-03-2834-2000

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10517	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	17822	gram
Berat agregat (W3)	7305	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume gembur	1,4	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10472	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	19000	gram
Berat agregat (W3)	8528	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume gembur	1,6	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

KERAMIK

(SNI 03-1969-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4890
Berat kerikil kondisi (SSD), gram	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3055
Berat jenis curah Bk / (5000 – Ba)	2,51
Berat jenis jenuh (SSD) 5000 / (5000 – Ba)	2,57
Berat jenis semu Bk / (Bk – Ba)	2,66
Penyerapan air (5000 – Bk) / Bk x 100%	2,25

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN KERAMIK

(SNI 03-1968-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0,000	0,000	100,000
20,00	46	0,920	0,920	99,080
10,00	3910	78,231	79,152	20,848
4,80	983	19,668	98,820	1,180
2,40	0	0,000	98,820	1,180
1,20	0	0,000	98,820	1,180
0,60	0	0,000	98,820	1,180
0,30	0	0,000	98,820	1,180
0,15	0	0,000	98,820	1,180
Sisa	59	1,180	100,000	0,000
Jumlah	4998	100,000	672,989	

Modulus Halus Butir $= \frac{672,989}{100}$

$= 6,73$

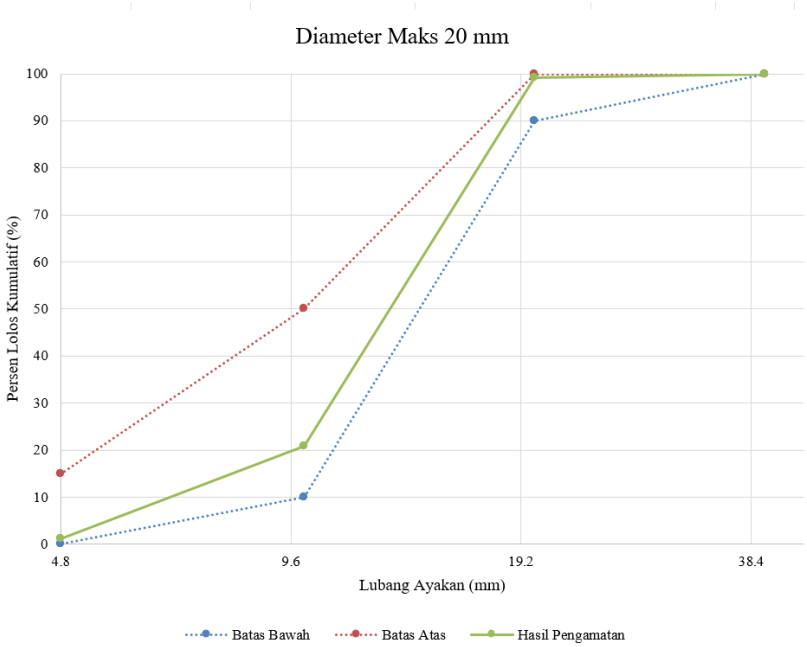
Nilai modulus halus butir yang didapatkan adalah sebesar 6,72 dan masuk ke dalam syarat yaitu 6,0 sampai 7,0 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95-100	100	-
20	30-70	95-100	100
10	10-35	25-100	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI-03-2834-2000

GAMBAR ANALISA SARINGAN KERAMIK



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR KERAMIK

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10962	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	18459	gram
Berat agregat (W3)	7497	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume gembur	1,4	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT KERAMIK

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10472	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	19050	gram
Berat agregat (W3)	8578	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4	cm^3
Berat volume gembur	1,6	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Muhammad Angger Pangestu)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Mix Design				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton Rencana	25	MPa	
2	Deviasi Standar (Sd)	7		Pengendalian Jelek
3	Nilai Tambah (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang Ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe I		Semen Tiga Roda
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Progo
8	Faktor Air Semen	0,5		
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	Uji Material
11	Kadar Air Bebas	205,00	kg/m^3	
12	Kadar Semen	410,00	kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325,00	kg	
15	Susunan Besar Butir Agregat Halus	1		Uji Material
16	Berat Jenis Agregat Halus	2,53		Uji Material
17	Berat Jenis Agregat Kasar	2,56		Uji Material
18	Persen Agregat Halus	51	%	
19	Berat Jenis relative Agregat Gabungan	2,54		
20	Berat Isi Beton	2305	kg/m^3	
21	Kadar Agregat Gabungan	1690	kg/m^3	
22	Kadar Semen digunakan	410	kg/m^3	
23	Kadar Agregat Halus	861,900	kg/m^3	
24	Kadar Agregat Kasar	828,100	kg/m^3	
25	Kadar Air digunakan	205,00	kg/m^3	
Proporsi campuran dengan angka penyusutan 25%				
26	Semen	512,500	kg/m^3	
27	Agregat Halus	1077,375	kg/m^3	
28	Agregat Kasar	1035,135	kg/m^3	
29	Air	256,250	kg/m^3	

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Variasi Keramik	No Sampel	Diamter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BN-0	1	15,067	30,400	5419,982	12,690	2341,336	2372,231
	2	15,000	30,500	5389,795	12,802	2375,230	
	3	15,000	30.200	5336,781	12,772	2393,203	
	4	15,000	30.100	5319,109	12,750	2397,018	
	5	15,000	30.200	5336,781	12,872	2411,941	
	6	15,067	30,267	5396,210	12,663	2346,647	
	7	15,000	30,100	5319,109	12,664	2380,850	
	8	15,067	30,100	5366,495	12,800	2385,169	
	9	15,067	30,533	5443,754	12,788	2349,114	
	10	15,067	30,600	5455,640	12,776	2341,797	

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-14	1	15,000	30,300	5354,452	12,733	2378,021	2371,914
	2	15,000	30,200	5336,781	12,722	2383,834	
	3	15,000	30,500	5389,795	12,841	2382,465	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,663	2349,440	
	5	15,000	30,333	5360,342	12,628	2355,820	
	6	15,000	30,000	5301,438	12,644	2385,013	
	7	15,000	30,067	5313,219	12,695	2389,324	
	8	15,067	30,000	5348,666	12,645	2364,141	
	9	15,000	30,033	5307,328	12,609	2375,772	
	10	15,100	30,233	5414,144	12,752	2355,312	

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-22	1	15,000	30,433	5378,014	12,219	2272,028	2245,187
	2	15,033	30,400	5396,026	12,258	2271,672	
	3	15,100	30,400	5443,991	12,314	2261,944	
	4	15,100	30,467	5455,929	12,046	2207,873	
	5	15,133	30,433	5474,048	12,048	2200,931	
	6	15,033	30,367	5390,109	12,114	2247,450	
	7	15,067	30,533	5443,754	12,303	2260,021	
	8	15,067	30,333	5408,096	12,081	2233,873	
	9	15,067	30,233	5390,267	12,096	2244,045	
	10	15,067	30,400	5419,982	12,206	2252,037	

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-26	1	15,000	30,567	5401,576	12,224	2263,043	2271,729
	2	15,000	30,533	5395,685	12,273	2274,595	
	3	15,000	30,433	5378,014	12,214	2271,099	
	4	15,000	30,367	5366,233	12,188	2271,239	
	5	15,000	30,400	5372,123	12,087	2249,948	
	6	15,067	30,400	5419,982	12,297	2268,827	
	7	15,033	30,400	5396,026	12,312	2281,679	
	8	15,067	30,533	5443,754	12,243	2249,000	
	9	15,000	30,300	5354,452	12,250	2287,816	
	10	15,000	30,333	5360,342	12,329	2300,040	

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-30	1	15,033	30,433	5401,943	12,264	2270,294	2262,118
	2	15,000	30,433	5378,014	12,182	2265,148	
	3	15,000	30,600	5407,466	12,342	2282,400	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,293	2280,792	
	5	15,000	30,367	5366,233	12,207	2274,780	
	6	15,067	30,333	5408,096	12,206	2256,987	
	7	15,100	30,533	5467,868	12,308	2250,969	
	8	15,033	30,700	5449,276	12,255	2248,922	
	9	15,100	30,567	5473,837	12,329	2252,351	
	10	15,100	30,533	5467,868	12,240	2238,533	

Variasi Keramik	No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
BNK-34	1	15,033	30,500	5413,776	12,437	2297,287	2270,371
	2	15,167	30,500	5510,234	12,285	2229,488	
	3	15,000	30,367	5366,233	12,355	2302,360	
	4	15,000	30,500	5389,795	12,350	2291,367	
	5	15,033	30,533	5419,693	12,482	2303,083	
	6	15,067	30,633	5461,582	12,371	2265,094	
	7	15,033	30,533	5419,693	12,185	2248,282	
	8	15,067	30,367	5414,039	12,118	2238,255	
	9	15,100	30,700	5497,714	12,294	2236,202	
	10	15,000	30,567	5401,576	12,382	2292,294	

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik	Beban Maksimum	Diamter	Luas	Kuat Tekan
		(%)	(N)	(cm)	(mm2)	(MPa)
1	BN-0	0	451710	15,067	17828,887	25,336
2	BN-0		494380	15,000	17671,459	27,976
3	BN-0		484110	15,000	17671,459	27,395
4	BN-0		458450	15,000	17671,459	25,943
5	BN-0		457880	15,000	17671,459	25,911
1	BNK-14	14%	516200	15,000	17671,459	29,211
2	BNK-14		531980	15,000	17671,459	30,104
3	BNK-14		496690	15,000	17671,459	28,107
4	BNK-14		476590	15,000	17671,459	26,969
5	BNK-14		454320	15,000	17671,459	25,709
1	BNK-18	18%	476050	15,033	17750,086	26,820
2	BNK-18		449260	15,067	17828,887	25,198
3	BNK-18		473430	15,000	17671,459	26,791
4	BNK-18		456010	15,000	17671,459	25,805
5	BNK-18		467460	15,000	17671,459	26,453
1	BNK-22	22%	462180	15,000	17671,459	26,154
2	BNK-22		427080	15,033	17750,086	24,061
3	BNK-22		473530	15,100	17907,864	26,443
4	BNK-22		440050	15,100	17907,864	24,573
5	BNK-22		405690	15,133	17987,014	22,555

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik	Beban Maksimum	Diamter	Luas	Kuat Tekan
		(%)	(N)	(cm)	(mm2)	(MPa)
1	BNK-26	26%	401300	15,000	17671,459	22,709
2	BNK-26		420400	15,000	17671,459	23,790
3	BNK-26		409200	15,000	17671,459	23,156
4	BNK-26		399180	15,000	17671,459	22,589
5	BNK-26		455770	15,000	17671,459	25,791
1	BNK-30	30%	395700	15,033	17750,086	22,293
2	BNK-30		381240	15,000	17671,459	21,574
3	BNK-30		300640	15,000	17671,459	17,013
4	BNK-30		341090	15,000	17671,459	19,302
5	BNK-30		390560	15,000	17671,459	22,101
1	BNK-34	34%	304100	15,033	17750,086	17,132
2	BNK-34		340710	15,167	18066,339	18,859
3	BNK-34		309400	15,000	17671,459	17,508
4	BNK-34		374790	15,000	17671,459	21,209
5	BNK-34		357610	15,033	17750,086	20,147

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik (%)	Beban Maksimum (N)	Diamter (cm)	Tinggi (cm)	Kuat Tarik (MPa)
1	BN-0	0	182000	15,067	30,267	2,541
2	BN-0		153000	15,000	30,100	2,157
3	BN-0		136000	15,067	30,100	1,909
4	BN-0		165000	15,067	30,533	2,283
5	BN-0		192000	15,067	30,600	2,651
1	BNK-14	14%	158000	15,000	30,000	2,235
2	BNK-14		179000	15,000	30,067	2,527
3	BNK-14		168000	15,067	30,000	2,366
4	BNK-14		174000	15,000	30,033	2,459
5	BNK-14		165000	15,100	30,233	2,301
1	BNK-18	18%	147000	15,000	30,000	2,080
2	BNK-18		123000	15,000	30,000	1,740
3	BNK-18		179000	15,067	30,000	2,521
4	BNK-18		163000	15,133	30,000	2,286
5	BNK-18		125000	15,000	30,000	1,768
1	BNK-22	22%	94000	15,033	30,367	1,311
2	BNK-22		81000	15,067	30,533	1,121
3	BNK-22		118000	15,067	30,333	1,644
4	BNK-22		100000	15,067	30,233	1,398
5	BNK-22		149000	15,067	30,400	2,071

No	Benda Uji	Variasi Pecahan Keramik	Beban Maksimum	Diamter	Tinggi	Kuat Tekan
		(%)	(N)	(cm)	(cm)	(MPa)
1	BNK-26	26%	154000	15,067	30,400	2,140
2	BNK-26		138000	15,033	30,400	1,922
3	BNK-26		151000	15,067	30,533	2,090
4	BNK-26		173000	15,000	30,300	2,423
5	BNK-26		158000	15,000	30,333	2,211
1	BNK-30	30%	165000	15,067	30,333	2,117
2	BNK-30		160000	15,100	30,533	2,209
3	BNK-30		155000	15,033	30,700	2,000
4	BNK-30		160000	15,100	30,567	1,821
5	BNK-30		150000	15,100	30,533	1,947
1	BNK-34	34%	155000	15,067	30,633	2,138
2	BNK-34		163000	15,033	30,533	2,261
3	BNK-34		183000	15,067	30,367	2,546
4	BNK-34		155000	15,100	30,700	2,129
5	BNK-34		143000	15,000	30,567	1,986

Lampiran 7 Dokumentasi Laboratorium



Gambar L-6.1 Alat Pengujian Kuat Tekan



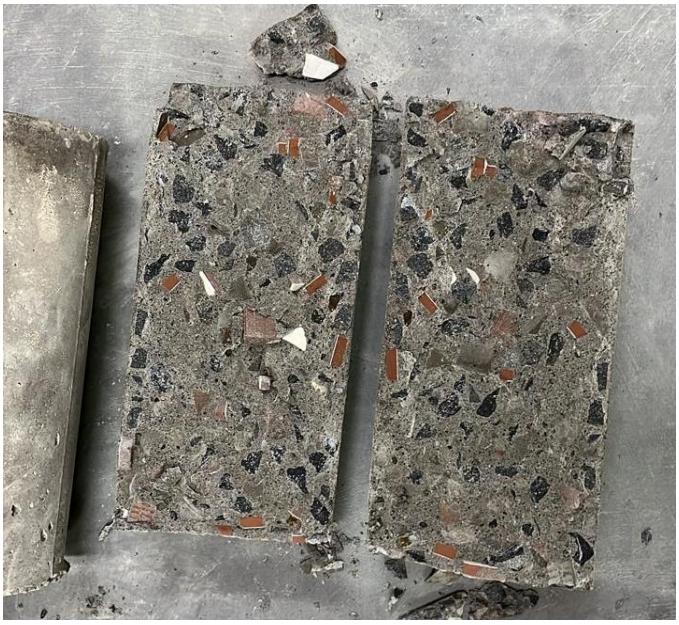
Gambar L-6.2 Alat Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar L-6.3 Pencetakan Benda Uji Silinder



Gambar L-6.4 Perawatan Benda uji Silinder



Gambar L-6.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Lampiran 8 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 127 / Ka.Lab/60/LBKT/X/2024

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama	: Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK	: 165111301
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama	: Muhammad Angger Pangestu
N I M	: 20511086
Program Studi	: S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Ir. Helmy Akbar Bale, M. T.
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 SUBSTITUSI AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH KERAMIK PADA KUAT TEKAN DAN TARIK BETON "** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya *).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 11 Oktober 2024

Disahkan oleh :	Didata oleh :
Kepala Laboratorium BKT	PLP/Teknisi
Astriana Hardawati, S. T., M. Eng	Daru Salam, A.Md.

*) Kwitansi/bukti transfer terlampir