TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN ABU SERABUT KELAPA DAN SERAT SERABUT KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT LENTUR, DAN TARIK BELAH BETON NORMAL

(THE EFFECT OF USING COCONUT FIBER ASH AND COCONUT FIBER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, FLEXIBLE STRENGTH, AND SPLIT TENSILE STRENGTH OF NORMAL CONCRETE)

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

YOGI HAFIZH TSAQIBFUDIN
22511131

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN ABU SERABUT KELAPA DAN SERAT SERABUT KELAPA TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT LENTUR, DAN TARIK BELAH BETON NORMAL

(THE EFFECT OF USING COCONUT FIBER ASH AND COCONUT FIBER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, FLEXIBLE STRENGTH, AND SPLIT TENSILE STRENGTH OF NORMAL CONCRETE)

Disusun oleh

Yogi Hafizh Tsaqibfudin

22511131

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

Diuji pada tanggal 27 Agustus 2026
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing:

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Tanggal : 31.08.2026

Penguji I :

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.
NIK : 185111304
Tanggal : 31 Ags 2026.

Penguji II :

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM
NIK : 095110101
Tanggal : 31 Agustus 2026

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Progam Sarjana

31/8-26

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK : 165110105

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Seluruh kutipan maupun penggunaan karya ilmiah pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara benar sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa laporan ini, baik seluruh maupun sebagian, bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau mengandung tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh.

Yogyakarta, 25 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Yogi Hafizh Tsaqibfudin

22511131

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "Pengaruh Penggunaan Abu Serabut Kelapa dan Serat Serabut Kelapa terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Tarik Belah Beton Normal" sebagai salah satu persyaratan akademik Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari adanya keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki. Oleh karena itu, tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, saran, serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Proposal Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak bimbingan serta masukan selama penyusunan Proposal Tugas Akhir .
2. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng., selaku PLT Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM, selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan dukungan, arahan, serta perhatian selama penulis menempuh pendidikan.

6. Seluruh dosen, laboran, asisten dosen, serta tenaga kependidikan Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan selama masa studi penulis.
7. Ibu Susilowati selaku Ibu penulis, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan tanpa henti, serta kepada Alm. Bapak Slamet Nurgiyanta yang telah berpulang, yang menjadi motivasi besar untuk saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Dzikra Arsyi Ammar selaku kakak penulis yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, yang secara tidak langsung memberikan pelajaran, pengalaman, dan pendewasaan dalam menghadapi berbagai proses kehidupan.
9. M. Nadhif Qothrun Nada, Nimas Fitriani Nurhidayah, dan Gisya Admiral Obey selaku sahabat penulis yang yang telah selalu memberikan dukungannya.
10. Febriani Sintia Dewi, sebagai seseorang yang selalu menemani dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang telah terlibat, yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sebagai penutup, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 25 Agustus 2026

Yogi Hafizh Tsaqibfudin
22511131

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Kajian Umum 6
2.2 Penelitian Terdahulu 8
2.2.1. Penelitian oleh Santosa (2009) 8
2.2.2. Penelitian oleh Affandy & Bukhori (2019) 8
2.2.3. Penelitian oleh Rohana (2022) 9
2.2.4. Penelitian oleh Tasik et al. (2022) 9
2.2.5. Penelitian oleh Puspitasari & Widodo (2021) 10
2.2.6. Penelitian oleh Fahrizal & Sari (2024) 10
2.2.7. Penelitian oleh Elhusna et al. (2011) 11
2.2.8. Penelitian oleh Prayogi et al. (2024) 11

2.2.9. Penelitian oleh Purwanto et al. (2021) 12
2.2 Analisis Perbandingan Penelitian Terdahulu 12
2.3 Kesimpulan Tinjauan Pustaka 18
BAB III LANDASAN TEORI 18
3.1. Beton 18
3.2. Semen Portland 21
3.3. Air 23
3.4. Agregat 24
3.4.1. Agregat Halus 25
3.4.2. Agregat Kasar 26
3.5. Bahan Tambah 27
3.5.1. Abu Serabut Kelapa 28
3.5.2. Serat Serabut Kelapa 29
3.6. Pengujian Beton 30
3.6.1. Kuat Tekan Beton 30
3.6.2. Kuat Lentur Beton 31
3.6.3. Kuat Tarik Belah Beton 33
BAB IV METODE PENELITIAN 35
4.1. Umum 35
4.2. Variabel Penelitian 35
4.3. Bahan yang Digunakan 35
4.4. Alat yang Digunakan 39
4.5. Benda Uji 45
4.6. Proses Pelaksanaan Penelitian 46
4.6.2 Proses Persiapan dan Pemeriksaan Bahan 46
4.6.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design) 51
4.6.3 Proses Pembuatan Benda Uji 54
4.6.4 Proses Perawatan Benda Uji 56
4.6.5 Proses Pengujian Benda Uji 56
4.7. Pengolahan Data 59

4.8. Langkah-langkah Penelitian 59
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 62
5.1. Umum 62
5.2. Pengujian Agregat 62
5.2.1. Pengujian Agregat Halus 62
5.2.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar 72
5.3 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design) 82
5.3. Hasil Pengujan Slump 93
5.4. Hasil Pengujan Kuat Tekan Beton 94
5.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah beton 106
5.6. Hasil Pengujian Kuat Lentur 111
5.7. Analisis Hubungan Hasil Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur Beton 116
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 118
6.1. Kesimpulan 118
6.2. Saran 119
DAFTAR PUSTAKA 118
LAMPIRAN 118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut**Error! Bookmark not defined.**
Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton 12
Tabel 3 1. Persyaratan Batas-batas Susunan Butir pada Agregat Kasar 27
Tabel 3.2. Kandungan Yang Terdapat Antara Abu Sabut Kelapa Dan Semen 29
Tabel 4 1. Rincian Benda Uji 46
Tabel 4 2. Faktor Pengali Deviasi Standar 51
Tabel 5.1. Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air
Agregat Halus 64
Tabel 5.2. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1 66
Tabel 5.3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2 67
Tabel 5. 4. Gradasi Agregat Halus 68
Tabel 5. 5. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 70
Tabel 5. 6. Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 71
Tabel 5. 7. Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 72
Tabel 5. 8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 74
Tabel 5. 9. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1 77
Tabel 5. 10. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2 77
Tabel 5. 11. Gradasi Agregat Kasar 78
Tabel 5. 12. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 81
Tabel 5. 13. Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar 81
Tabel 5. 14. Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS = 0,5 83
Tabel 5. 15. Perkiraan Kadar Air per-Perkiraan Kadar Air per-meter kubik Beton 84

Tabel 5. 16. Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus 85
Tabel 5. 17. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton 90
Tabel 5. 18. Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serabut Kelapa dan Abu Serabut Kelapa Setiap Kali Mixing 92
Tabel 5.19. Nilai Slump Beton Pengujian 93
Tabel 5. 20. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 96
Tabel 5. 21. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-0-0 99
Tabel 5. 22. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-0,5-3,5 100
Tabel 5. 23. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-1-3,5 101
Tabel 5. 24. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-1,5-3,5 103
Tabel 5. 25. Hasil Kuat Tekan Beton Setelah Pengujian Outlier 103
Tabel 5. 26. Hasil Kuat Tarik Belah Beton 107
Tabel 5. 27. Persentase Kuat Tarik Belah dari Kuat Tekan Beton 110
Tabel 5. 28. Hasil Uji Kuat Lentur 111
Tabel 5. 29. Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan 115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3 1. Uji Kuat Tekan Beton 31
Gambar 3 2. Uji Kuat Lentur Beton 33
Gambar 3 3. Uji Kuat Tarik Belah Beton 34
Gambar 4 1. Semen Tipe 1 Tiga Roda 36
Gambar 4 2. Agregat Halus 37
Gambar 4 3. Agregat Kasar 37
Gambar 4 4. Serat Serabut Kelapa 39
Gambar 4 5. Set Saringan Agregat 39
Gambar 4 6. Timbangan Digital 40
Gambar 4 7. Piknometer 40
Gambar 4 8. Oven 41
Gambar 4 9. Concrete Mixer 42
Gambar 4 10. Sekop 42
Gambar 4 11. Kerucut Abrams 43
Gambar 4 12. Bekisting Beton 43
Gambar 4 13. Mesin Uji Tekan 44
Gambar 4 14. Mesin Uji Tarik Lentur 44
Gambar 4 .15. Mesin Uji Tarik Belah 45
Gambar 4 16. Diagram Alir Penelitian **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1 68
Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2 69
Gambar 5. 3.Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1 79
Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2 79
Gambar 5. 5 Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS) 83
Gambar 5. 6 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20mm 87

Gambar 5. 7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan 89
Gambar 5. 8 Nilai Slump 94
Gambar 5. 9 Hasil Kuat Tekan Beton Setelah Uji Outlier 104
Gambar 5. 10 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tekan Beton 105
Gambar 5. 11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 108
Gambar 5. 12 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tarik Belah Beton 108
Gambar 5. 13 Grafik Pengujian Kuat Lentur 112
Gambar 5. 14 Grafik Regresi Polinomial Kuat Lentur Beton 112
Gambar 5. 15 Grafik Gabungan Ketiga Pengujian Sifat Mekanik Beton 116

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f ’c	= Kuat tekan beton (MPa)
f’cr	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
flt	= Kuat lentur (MPa)
PC	= Portland Cement
PBI	= Peraturan beton Indonesia
SNI	= Standar nasional Indonesia
SSD	= Saturated surface dry
MPa	= Megapascal
°C	= Derajat celcius
M	= Nilai tambah
Sr	= Deviasi standar
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
fas	= Faktor air semen
BJ_{gab}	= Berat jenis relatif/gabungan agregat
%Ag. Halus	= Presentase agregat halus (%)
%Ag. Kasar	= Presentase agregat kasar (%)
BJag. halus	= Berat jenis agregat halus
BJag. kasar	= Berat jenis agregat kasar
Wag. gab	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
Wbeton	= Berat isi beton (kg/m^3)
Wsemen	= Kadar semen (kg/m^3)
Wag. halus	= Kadar agregat halus (kg/m^3)

Wag. kasar	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
m	= Meter
mm	= Milimeter
cm	= Centimeter
kN	= Kilonewton
N	= Newton
d	= Diameter tabung silinder (mm)
t	= Tinggi tabung silinder (mm)
kg	= Kilogram
L	= Panjang antar tumpuan benda uji (mm)
B	= Lebar tampang lintang patah (mm)
h	= Tinggi tampang lintang patah (mm)
c	= Jarak rata-rata antara lintang patah dan tumpuan terdekat

ABSTRAK

Penggunaan limbah serabut kelapa sebagai bahan tambah beton merupakan salah satu alternatif untuk memanfaatkan limbah sekaligus mengembangkan material beton yang lebih berkelanjutan. Abu serabut kelapa dapat digunakan sebagai bahan tambah mineral, sedangkan serat serabut kelapa berfungsi sebagai serat alami dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton normal serta menentukan kombinasi kadar yang memberikan hasil terbaik.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia. Variasi abu serabut kelapa yang digunakan sebesar 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%, sedangkan kadar serat serabut kelapa ditetapkan sebesar 3,5%. Benda uji berupa silinder dan balok yang dirawat hingga umur 28 hari, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil pengujian dianalisis dengan membandingkan nilai setiap variasi terhadap beton normal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton normal sebesar 25,561 MPa dan mengalami penurunan menjadi 17,158 MPa pada variasi abu serabut kelapa 1,5% dan serat 3,5%. Kuat tarik belah meningkat dari 1,92 MPa menjadi 2,11 MPa, sedangkan kuat lentur meningkat dari 3,931 MPa menjadi 4,329 MPa pada variasi yang sama. Dengan demikian, kombinasi abu serabut kelapa 1,5% dan serat serabut kelapa 3,5% memberikan hasil terbaik terhadap kuat tarik belah dan kuat lentur, sedangkan kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton normal.

Kata kunci: Abu Serabut Kelapa, Kuat Lentur, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Serat Serabut Kelapa

ABSTRACT

The utilization of coconut fiber waste as an additional material in concrete is an alternative approach to reducing waste while developing more sustainable concrete materials. Coconut fiber ash can be used as a mineral additive, while coconut fiber functions as a natural fiber in the concrete mixture. This study aims to analyze the effect of combining coconut fiber ash and coconut fiber on the compressive strength, flexural strength, and split tensile strength of normal concrete and to determine the combination that provides the best performance.

This study used an experimental laboratory method conducted at the Construction Materials Laboratory, Universitas Islam Indonesia. The coconut fiber ash variations were 0%, 0.5%, 1%, and 1.5%, while the coconut fiber content was maintained at 3.5%. The specimens consisted of concrete cylinders and beams cured until the age of 28 days, followed by compressive strength, split tensile strength, and flexural strength tests. The test results were analyzed by comparing each variation with normal concrete.

The results showed that normal concrete had a compressive strength of 25.561 MPa, which decreased to 17.158 MPa at 1.5% coconut fiber ash and 3.5% coconut fiber. The split tensile strength increased from 1.92 MPa to 2.11 MPa, while the flexural strength increased from 3.931 MPa to 4.329 MPa at the same variation. Therefore, the combination of 1.5% coconut fiber ash and 3.5% coconut fiber provided the best results for split tensile and flexural strength, while the highest compressive strength was obtained from normal concrete.

Keywords: *Coconut Fiber Ash, Flexural Strength, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Coconut Fiber*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang memiliki peranan penting dalam dunia pembangunan, baik pada infrastruktur berskala kecil maupun besar. Beton dikenal memiliki kekuatan tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta memiliki daya tahan yang baik terhadap pengaruh lingkungan (Santosa, B. 2009). Namun demikian, beton juga memiliki kekurangan, terutama pada kekuatan tarik dan lenturnya yang relatif rendah sehingga mudah mengalami retak ketika menerima beban tarik atau lentur yang berlebihan (Prayogia et al. 2024).

Salah satu komponen penting pembuatan beton adalah semen Portland. Penggunaan semen dalam jumlah besar tidak hanya berpengaruh pada biaya produksi, tetapi juga dapat berdampak ke lingkungan karena proses produksinya melepaskan emisi karbon dioksida (CO_2) yang cukup signifikan (Tasik et al. 2022). Berdasarkan laporan International Energy Agency (IEA), industri semen berkontribusi sekitar 7–8% terhadap total emisi CO_2 dunia. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap semen melalui pemanfaatan bahan tambahan atau bahan pengganti sebagian semen yang bersifat ramah lingkungan.

Indonesia sebagai negara tropis menghasilkan limbah pertanian yang melimpah, salah satunya adalah serabut kelapa. Limbah ini umumnya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku masak tradisional atau bahkan dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut, padahal hasil pembakaran serabut kelapa berupa abu memiliki kandungan senyawa silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan kalsium oksida (CaO) yang berpotensi bersifat pozzolanik (Santosa, B. 2009). Kandungan tersebut memungkinkan abu serabut kelapa bereaksi dengan kalsium hidroksida dari hasil hidrasi semen untuk membentuk senyawa C-S-H (Calcium Silicate Hydrate) yang berfungsi penting dalam mengoptimalkan kekuatan beton (Santosa, B. 2009). Pemanfaatan abu serabut kelapa untuk bahan campuran beton diharapkan dapat

memperbaiki karakteristik kekuatan beton, khususnya terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah. Selain itu, penggunaan limbah ini juga dapat menjadi langkah nyata dalam mendukung konsep pembangunan berkelanjutan melalui pengurangan limbah organik dan penekanan dampak lingkungan akibat produksi semen.

Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh penggunaan abu serabut kelapa terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton normal menjadi penting untuk dilakukan. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif bahan tambahan yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta berpotensi meningkatkan mutu beton konvensional.

Selain dimanfaatkan dalam bentuk abu, serabut kelapa juga memiliki potensi besar untuk digunakan secara langsung sebagai bahan tambahan beton dalam bentuk serat alami. Serabut kelapa merupakan material berserat yang memiliki kuat tarik relatif baik, ringan, dan tersedia melimpah sebagai limbah pertanian di Indonesia. Dalam campuran beton, serabut kelapa dapat berfungsi sebagai serat penguat (*fiber reinforcement*) yang bekerja dengan mekanisme menjembatani retak (*crack bridging*), sehingga mampu menahan dan memperlambat perkembangan retak akibat beban tarik maupun lentur (Prayogi et al 2024).

Penggunaan serabut kelapa sebagai serat alami dalam beton diharapkan bisa meningkatkan kuat lentur dan kuat tarik belah beton, serta memperbaiki perilaku keruntuhan beton dari yang bersifat getas menjadi lebih daktail. Serabut kelapa yang terdistribusi dalam matriks beton dapat menahan pembukaan retak dan meningkatkan kemampuan beton dalam menahan deformasi sebelum mengalami keruntuhan (Prayogi et al 2024). Namun demikian, penggunaan serabut kelapa dalam jumlah berlebih dapat mempengaruhi kelecakan beton dan menurunkan kuat tekan, sehingga diperlukan pengendalian kadar serabut yang tepat dalam campuran beton.

Dengan demikian, pemanfaatan limbah serabut kelapa, baik dalam bentuk abu maupun serat, tidak sekedar berpotensi meningkatkan sifat mekanik beton, tetapi juga memberikan nilai tambah dari aspek lingkungan. Penggunaan limbah serabut kelapa sebagai bahan tambahan beton merupakan salah satu upaya untuk

mendukung konsep pembangunan berkelanjutan, melalui pengurangan limbah pertanian dan pengurangan ketergantungan terhadap semen Portland yang berdampak besar terhadap emisi karbon. Berdasarkan uraian tersebut, pemanfaatan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa secara bersamaan perlu dikaji untuk mengetahui pengaruh kombinasi keduanya terhadap sifat mekanik beton. Abu serabut kelapa berpotensi memberikan kontribusi sebagai bahan tambah mineral, sedangkan serat serabut kelapa berperan dalam menghambat perkembangan retak pada beton. Kombinasi kedua bahan tersebut dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap ketiga parameter tersebut serta menentukan kombinasi kadar yang memberikan hasil terbaik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat tekan beton normal?
2. Bagaimana pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat lentur beton normal?
3. Bagaimana pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat tarik belah beton normal?
4. Berapa kombinasi persentase optimum abu serabut kelapa dan serabut kelapa yang dapat memberikan hasil terbaik terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton normal?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat tekan beton normal.
2. Menganalisis pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat lentur beton normal.

3. Menganalisis pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serabut kelapa terhadap kuat tarik belah beton normal.
4. Menentukan kombinasi kadar atau persentase optimum abu serabut kelapa dan serabut kelapa yang memberikan hasil terbaik terhadap sifat mekanik beton normal (kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh penggunaan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa sebagai bahan campuran terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton normal.
2. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknologi beton, khususnya terkait pemanfaatan abu serabut kelapa sebagai bahan tambah mineral dan serat serabut kelapa sebagai serat alami dalam campuran beton.
3. Menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan kombinasi campuran beton yang memanfaatkan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa sebagai alternatif bahan tambah yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.
4. Mendukung pengembangan material konstruksi berkelanjutan, melalui pemanfaatan limbah organik serabut kelapa sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap semen Portland dan menekan dampak lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

1. Lokasi pelaksanaan pengujian berada di Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik, yang merupakan bagian dari Jurusan Teknik Sipil di Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia
2. Seluruh material berupa agregat kasar, agregat halus, serta bahan pengikat diperoleh langsung dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.
3. Abu serabut kelapa yang digunakan merupakan abu serabut kelapa yang lolos pada saringan nomor 150 dimaksudkan untuk mendapatkan abu dengan ukuran butiran yang halus dan relatif seragam.

4. Panjang serat serabut kelapa yang digunakan berkisar 2-5 cm.
5. Perawatan beton yang diberikan pada penelitian kali ini dengan cara direndam di dalam air.
6. Komposisi abu serat kelapa dengan 4 variasi (0%, 0.5%, 1%, 1,5%) dari berat volume beton permixing untuk masing-masing pengujian.
7. Komposisi serat serabut kelapa dengan 2 variasi (0%, 3,5%) dari berat semen beton. Diambil komposisi 3,5% karena jumlah tersebut sudah merupakan komposisi ideal yang diambil dari pertimbangan penelitian-penelitian terdahulu.
8. Dimensi satu benda uji untuk uji kuat desak beton menggunakan silinder berukuran tinggi 300 mm dan diameter 150 mm, sedangkan benda uji untuk uji lentur beton menggunakan balok berukuran tinggi 100 mm, lebar 100 mm, dan panjang 400 mm.
9. Pengujian beton dilakukan pada saat umur beton mencapai 28 hari, dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Umum

Beton adalah material komposit yang terbentuk dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan (*admixture*). Beton menjadi bahan konstruksi yang sering digunakan karena mempunyai kelebihan seperti kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap api, serta mudah dibentuk sesuai kebutuhan (Affandy & Bukhori, 2019). Namun demikian, beton memiliki kelemahan yaitu kekuatan tarik yang rendah, sehingga mudah mengalami retak akibat gaya tarik atau lentur (Prayogia et al. 2024).

Dalam rangka meningkatkan performa beton serta mengurangi penggunaan semen yang berdampak terhadap emisi karbon, berbagai penelitian mencoba menambahkan bahan alami sebagai bahan substitusi sebagian semen. Salah satu bahan yang potensial adalah abu serabut kelapa (ASK), yaitu hasil pembakaran limbah serabut kelapa yang mengandung senyawa silika (SiO_2) tinggi. Kandungan silika ini memiliki sifat pozzolanik yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) hasil hidrasi semen, membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C–S–H) yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan beton (Santosa, 2009).

Penggunaan abu serabut kelapa sebagai bahan pengganti sebagian semen juga sejalan dengan konsep beton ramah lingkungan (*eco-friendly concrete*), karena mampu memanfaatkan limbah organik dari industri kelapa yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia (Nurhadi & Syahrial, 2022). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada kadar rendah (sekitar 2–5%), abu serabut kelapa dapat meningkatkan kuat tekan, namun pada kadar tinggi terjadi penurunan kekuatan akibat jumlah semen aktif yang berkurang dan meningkatnya kebutuhan air dalam campuran (Rohana, 2022). Selain sebagai pengganti sebagian semen, abu serabut kelapa juga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi mikro (micro-filler) yang memperbaiki kepadatan beton dan menurunkan porositasnya, sehingga beton menjadi lebih kedap air (Affandy & Bukhori, 2019). Namun demikian, kualitas

pembakaran dan kehalusan abu sangat berpengaruh terhadap hasil akhir kuat tekan beton (Tasik et al., 2022).

Selain dimanfaatkan dalam bentuk abu, serabut kelapa juga telah banyak diteliti sebagai bahan tambah beton dalam bentuk serat alami. Penambahan serat serabut kelapa pada beton bertujuan untuk memperbaiki kelemahan beton terhadap gaya tarik dan lentur. Serat serabut kelapa yang terdistribusi di dalam matriks beton berfungsi sebagai elemen pengikat retak (*fiber bridging*) yang mampu menahan dan memperlambat perkembangan retak, sehingga beton tidak langsung mengalami keruntuhan getas ketika menerima beban lentur atau tarik. Beton dengan penambahan serat menunjukkan perilaku keruntuhan yang lebih daktail dibandingkan beton normal (Elhusna et al., 2011). Beberapa penelitian menunjukkan penambahan serat serabut kelapa dapat meningkatkan kuat lentur beton secara signifikan. Elhusna et al. (2011) melaporkan bahwa penggunaan serat serabut kelapa pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat lentur beton dibandingkan beton tanpa serat. Peningkatan kuat lentur ini terjadi karena serat serabut kelapa berperan dalam menahan tegangan tarik pada zona tarik beton dan memperbaiki pola perambatan retak yang terjadi saat beton mengalami pembebanan lentur.

Selain berpengaruh terhadap kuat lentur, serat serabut kelapa juga berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton. Prayogi et al. (2024) menyatakan bahwa penambahan serat serabut kelapa ke dalam campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah beton hingga kadar optimum tertentu. Serat berfungsi menahan pembelahan beton secara tiba-tiba dengan cara menjembatani retak yang terbentuk selama proses pengujian tarik belah. Namun demikian, pada kadar serat yang terlalu tinggi, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan akibat meningkatnya porositas dan menurunnya tingkat kepadatan beton. Penelitian lainnya oleh Purwanto et al. (2021) menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada beton normal dapat meningkatkan kuat lentur beton, namun berpotensi menurunkan kuat tekan beton apabila kadar serat yang digunakan terlalu besar. Penurunan kuat tekan tersebut disebabkan oleh menurunnya kelecakan beton dan meningkatnya rongga udara akibat kesulitan pemadatan pada campuran beton

berserat. Oleh karena itu, penggunaan serat serabut kelapa dalam beton harus dibatasi pada kadar tertentu agar diperoleh keseimbangan antara peningkatan kuat lentur dan tarik belah tanpa menurunkan kuat tekan beton secara signifikan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh penggunaan abu serabut kelapa (ASK) maupun serat serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton. Hasil-hasil penelitian tersebut bisa digunakan referensi dan acuan dalam pengembangan penelitian ini. Secara umum, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa abu serabut kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan tambah mineral atau pengganti sebagian semen, sedangkan serat serabut kelapa berfungsi sebagai serat penguat yang mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap retak. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang relevan diuraikan sebagai berikut.

2.2.1. Penelitian oleh Santosa (2009)

Penelitian yang dilakukan oleh Santosa (2009) meneliti manfaat abu serabut kelapa untuk pengganti sebagian semen dengan bahan tambah Sikament-LN untuk meningkatkan kuat tekan beton. Variasi yang digunakan yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dari berat semen. Hasil penelitian menyatakan bahwa kuat tekan optimum diperoleh pada kadar 2,5%, yaitu sebesar 38,128 MPa, meningkat sekitar 17,4% dibandingkan beton normal. Peningkatan ini disebabkan oleh sifat pozzolanik dari abu serabut kelapa yang mengandung senyawa SiO_2 dan CaO yang mampu membentuk senyawa C–S–H (Calcium Silicate Hydrate) saat bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ dari hidrasi semen. Namun, pada kadar di atas 5%, kekuatan beton menurun karena berkurangnya semen aktif (Santosa, 2009).

2.2.2. Penelitian oleh Affandy & Bukhori (2019)

Penelitian yang dilakukan oleh Affandy & Bukhori (2019) di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan yang memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu serabut kelapa terhadap kuat tekan beton. Variasi abu serabut kelapa yang dipakai adalah 0%, 0,25%, 0,5%, dan 0,75% dari berat semen.

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kuat tekan beton normal sebesar 16,505 MPa, sedangkan pada penambahan 0,25% abu serabut kelapa meningkat menjadi 23,895 MPa. Penambahan abu di atas 0,5% tidak menunjukkan peningkatan signifikan. Peneliti menyimpulkan bahwa dosis rendah abu serabut kelapa mampu meningkatkan kuat tekan beton karena partikel halusnya membantu mengisi rongga antar agregat, sedangkan dosis berlebih menurunkan workability campuran (Affandy & Bukhori, 2019).

2.2.3. Penelitian oleh Rohana (2022)

Rohana (2022) melakukan penelitian berjudul "Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton" di Universitas Islam Riau. Variasi abu serabut kelapa yang dipakai yaitu 0%, 1%, 3%, 5%, dan 7% dari berat semen. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa penambahan abu serabut kelapa 4% menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah paling optimum pada umur 28 hari. Hal tersebut disebabkan oleh sifat pozzolanik abu serabut kelapa yang mempercepat pembentukan senyawa pengikat C–S–H, sehingga beton lebih padat dan kuat. Namun, pada kadar di atas 5%, kekuatan beton menurun akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya pasta semen aktif (Rohana, 2022)..

2.2.4. Penelitian oleh Tasik et al. (2022)

Penelitian oleh Tasik et al. (2022) di Universitas Yapis Papua menguji variasi abu serabut kelapa sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap kuat tekan beton pada umur 3 hari dan 14 hari. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi terdapat pada kadar 2% ASK, sedangkan pada kadar lebih tinggi nilai kuat tekan menurun dari 16,7 MPa menjadi 11,9 MPa. Penurunan ini disebabkan oleh pembakaran abu yang tidak sempurna sehingga masih mengandung karbon, yang dapat menghambat reaksi hidrasi semen. Peneliti menegaskan bahwa abu serabut kelapa tetap potensial digunakan sebagai bahan tambahan ramah lingkungan pada kadar rendah (Tasik et al., 2022).

2.2.5. Penelitian oleh Puspitasari & Widodo (2021)

Penelitian ini meninjau pengaruh penggunaan abu serabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen dengan penambahan superplasticizer terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Variasi kadar abu serabut kelapa yang diuji yaitu 0%–10% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan untuk kuat tekan optimum dicapai pada kadar 5% ASK, sedangkan kuat lentur meningkat hingga kadar 7,5%. Penambahan superplasticizer membantu memperbaiki distribusi partikel abu dan meningkatkan homogenitas beton. Dengan demikian, penggunaan abu serabut kelapa dapat dikombinasikan dengan bahan kimia tambahan untuk meningkatkan performa beton (Puspitasari & Widodo, 2021).

2.2.6. Penelitian oleh Fahrizal & Sari (2024)

Penelitian yang dilakukan oleh Fahrizal & Sari (2024) memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh abu sabut kelapa sebagai substitusi sebagian semen dengan penambahan Sika Viscocrate 8670 MN terhadap kuat tarik belah beton. Penelitian ini memakai metode eksperimen laboratorium di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan benda uji silinder dengan ukuran 15×30 cm sebanyak 12 sampel. Variasi abu sabut kelapa yang digunakan adalah 5%, 6,5%, dan 8,5% terhadap berat semen dengan tambahan Sika Viscocrate sebesar 0,85%. Pengujian dilakukan saat umur beton 28 hari dengan menggunakan metode SNI 2491:2014 tentang uji kuat tarik belah beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton normal sebesar 2,005 MPa, sedangkan beton dengan penambahan abu sabut kelapa mengalami penurunan menjadi 1,179 MPa (5%), 1,415 MPa (6,5%), dan 1,250 MPa (8,5%). Penurunan ini disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia antara semen dan abu sabut kelapa, khususnya pada kandungan CaO yang rendah. Oleh karena itu, peneliti menyimpulkan bahwa penggunaan abu sabut kelapa kurang efisien sebagai pengganti sebagian semen, meskipun dapat dimanfaatkan sebagai bahan penelitian untuk inovasi beton ramah lingkungan di masa mendatang (Fahrizal & Sari, 2024).

2.2.7. Penelitian oleh Elhusna et al. (2011)

Penelitian yang dilakukan oleh Elhusna et al. (2011) bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat serabut kelapa sebagai bahan tambah beton terhadap kuat lentur beton. Variasi kadar serat serabut kelapa yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1%, 3%, dan 5% terhadap volume beton. Benda uji yang digunakan berupa balok beton dengan metode pengujian lentur dua titik pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa memberikan pengaruh positif terhadap kuat lentur beton. Kuat lentur beton meningkat seiring dengan bertambahnya kadar serat hingga mencapai nilai optimum, yang disebabkan oleh kemampuan serat serabut kelapa dalam menjembatani retak dan menahan propagasi retak pada zona tarik beton. Namun, pada kadar serat yang terlalu tinggi, peningkatan kuat lentur tidak lagi signifikan akibat menurunnya kelecakan beton dan kesulitan dalam proses pemadatan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa serat serabut kelapa berpotensi digunakan sebagai serat alami untuk meningkatkan kuat lentur beton (Elhusna et al., 2019).

2.2.8. Penelitian oleh Prayogi et al. (2024)

Penelitian yang dilakukan oleh Prayogia et al. (2024) mengkaji pengaruh penambahan serat serabut kelapa terhadap kuat tarik belah beton normal. Penelitian ini menggunakan metode penelitian laboratorium dengan benda uji silinder beton yang diuji pada umur 28 hari. Variasi kadar serat serabut kelapa yang digunakan adalah 0%, 0,5%, 2,5%, 4,5%, 6,5% dan 8,5% terhadap volume beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada kadar tertentu mampu meningkatkan nilai kuat tarik belah beton dibandingkan beton normal tanpa serat. Peningkatan kuat tarik belah terjadi karena serat serabut kelapa berperan dalam menahan pembelahan beton secara tiba-tiba dengan cara menjembatani retak yang terbentuk selama proses pengujian. Namun, pada kadar serat yang lebih tinggi, kuat tekan beton cenderung menurun akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya kepadatan beton. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan serat serabut kelapa perlu dibatasi pada kadar optimum agar peningkatan kuat tarik belah tidak diikuti oleh penurunan kuat tekan beton (Prayogia et al., 2024).

2.2.9. Penelitian oleh Purwanto et al. (2021)

Penelitian oleh Purwanto et al. (2021) bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serat serabut kelapa pada beton normal terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Penelitian ini dilakukan dengan variasi kadar serat serabut kelapa sebesar 0%, 1%, dan 2% terhadap volume beton. Benda uji yang digunakan meliputi silinder beton untuk pengujian kuat tekan dan balok beton untuk pengujian kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa memberikan peningkatan terhadap kuat lentur beton, terutama pada kadar serat menengah. Namun demikian, nilai kuat tekan beton mengalami kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya kadar serat. Penurunan kuat tekan ini disebabkan oleh menurunnya kelecakan beton dan meningkatnya rongga udara akibat kesulitan pemadatan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa serat serabut kelapa efektif meningkatkan sifat lentur beton, tetapi penggunaannya harus dikontrol agar tidak menurunkan mutu beton secara keseluruhan (Purwanto et al., 2021).

2.2 Analisis Perbandingan Penelitian Terdahulu

Dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah dijelaskan sebelumnya, diperoleh beberapa data dan kesimpulan yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini. Analisis perbandingan ini bertujuan untuk melihat persamaan, perbedaan, serta hasil yang paling relevan dengan topik penelitian “Pengaruh Penggunaan Abu Serabut Kelapa dan Serat Serabut Kelapa terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Tarik Belah Beton Normal”. Perbandingan antara penelitian yang telah dilakukan dan penelitian saat ini ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2 1. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton

No.	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Tujuan Penelitian	Parameter Pengujian	Mutu Beton Rencana	Kadar ASK	Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Metode Penelitian	Hasil Utama
1	Santosa Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa sebagai Pengganti Sebagian Semen dengan Bahan Tambah Sikament-LN untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton	2009	Santosa	Mengetahui pengaruh abu serabut kelapa dan Sikament-LN terhadap peningkatan kuat tekan beton	Kuat tekan beton	K-300	0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%	Silinder Ø15×30 cm	28	Eksperimen laboratorium dengan metode mix design dan uji kuat tekan menggunakan alat UTM	Kuat tekan optimum pada 2,5% = 38,128 MPa; kadar >5% menurunkan kekuatan akibat berkurangnya semen aktif.
2	Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton	2019	Affandy & Bukhori	Mengetahui pengaruh penambahan abu serabut kelapa terhadap kuat tekan beton	Kuat tekan	K-100	0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%	Silinder Ø15×30 cm	7	Penelitian eksperimental menggunakan beton K-100, dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari	Optimum pada 0,25% ASK dengan kuat tekan 23,895 MPa; kadar tinggi menurunkan workability (Affandy & Bukhori, 2019)

Sumber: Santoso (2009), Affandy & Bukhori (2019), Rohana (2022), Tasik et al. (2022), Puspitasari & Widodo (2021), Fahrizal & Sari (2024), Elhusna et al. (2024), Elhusna et al. (2021), Prayogi et al. (2024), Purwanto et al. (2021)

Lanjutan Tabel 2 2. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton

No.	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Tujuan Penelitian	Parameter Pengujian	Mutu Beton Rencana	Kadar RHA	Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Metode Penelitian	Hasil Utama
3	Rohana Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	2022	Rohana	Mengetahui pengaruh abu serabut kelapa terhadap kuat tekan dan tarik belah beton	Kuat tekan & mikrostruktur	K-225	0%, 1%, 3%, 5%, 7%	Silinder Ø15×30 cm	28	Metode eksperimental dengan perbandingan semen–pasir–kerikil (1 : 2 : 3) dan water cement ratio 0,5	Optimum pada 4% ASK; kadar > 5% menurunkan kekuatan karena meningkatnya porositas (Rohana, 2022).
4	Tasik et al. Pengaruh Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton	2022	Tasik et al.	Mengetahui pengaruh kadar abu serabut kelapa terhadap kuat tekan beton muda	Kuat tekan	K-200	0%, 2%, 4%, 6%	Kubus 15×15×15 cm	3,14	Eksperimen laboratorium dengan variasi kadar abu dan pengujian pada umur 3 dan 14 hari	Kuat tekan menurun seiring peningkatan kadar ASK; pembakaran tidak sempurna menurunkan kualitas abu (Tasik et al., 2022)

Sumber: Santoso (2009), Affandy & Bukhori (2019), Rohana (2022), Tasik et al. (2022), Puspitasari & Widodo (2021), Fahrizal & Sari (2024), Elhusna et al. (2024), Elhusna et al. (2021), Prayogi et al. (2024), Purwanto et al. (2021)

Lanjutan Tabel 2 3. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton

No.	Judul Penelitian	Tahun	peneliti	Tujuan Penelitian	Parameter Pengujian	Mutu Beton Rencana	Kadar RHA	Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Metode Penelitian	Hasil Utama
5	Puspitasari & Widodo Pengaruh Penggunaan Abu Serabut Kelapa Substitusi Sebagian Semen dengan Penambahan Superplasticizer terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton	2021	Puspitasari & Widodo	Mengkaji kombinasi ASK dan superplasticizer terhadap kekuatan beton	Kuat lentur	K-300	0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%	Balok 10×10×50 cm,	28	Eksperimen laboratorium menggunakan *mix design* K-300, diuji kuat tekan & lentur	Kuat tekan optimum 5%, kuat lentur maksimum 7,5%; superplasticizer memperbaiki homogenitas beton (Puspitasari & Widodo, 2021

Sumber: Santoso (2009), Affandy & Bukhori (2019), Rohana (2022), Tasik et al. (2022), Puspitasari & Widodo (2021), Fahrizal & Sari (2024), Elhusna et al. (2024), Elhusna et al. (2021), Prayogi et al. (2024), Purwanto et al. (2021)

Lanjutan Tabel 2 4. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton

No.	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Tujuan Penelitian	Parameter Pengujian	Mutu Beton Rencana	Kadar RHA	Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Metode Penelitian	Hasil Utama
6	Fahrizal & Sari Pengaruh Abu Sabut Kelapa sebagai Alternatif Mengganti Sebagian Semen dengan Memakai Bahan Tambah Sika Viscocrate 8670 MN terhadap Kuat Tarik Belah Beton	2024	Fahrizal & Sari	Mengetahui pengaruh abu sabut kelapa dan bahan kimia Sika Viscocrate terhadap kuat tarik belah beton	Kuat tekan	fc' 20 MPa	5%, 6,5%, 8,5% + Sika 0,85%	Silinder Ø15×30 cm	28	Metode eksperimental di laboratorium UMSU, uji kuat tarik belah (SNI 2491:2014)	Kuat tarik belah beton menurun dengan peningkatan kadar ASK; optimum 1,415 MPa pada 6,5%; penggunaan abu kurang efisien (Fahrizal & Sari, 2024)
7	Elhusna et al. Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Lentur Beton dengan Faktor Air Semen 0,5	2011	Elhusna et al.	Mengetahui pengaruh penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat lentur beton	Kuat lentur	K-250	1%, 2%, 3%, 4%,5%	Balok 10 x 10 x 50 cm	28	Eksperimen laboratorium dengan pengujian lentur dua titik pembebanan	Peningkatan kuat lentur sebesar 30% terjadi pada beton dengan persentase serat 5% yang merupakan persentase terbesar pada penelitian ini.

Sumber: Santoso (2009), Affandy & Bukhori (2019), Rohana (2022), Tasik et al. (2022), Puspitasari & Widodo (2021), Fahrizal & Sari (2024), Elhusna et al. (2024), Elhusna et al. (2021), Prayogi et al. (2024), Purwanto et al. (2021)

Lanjutan Tabel 2 5. Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan Serat Serabut Kelapa pada Campuran Beton

No.	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Tujuan Penelitian	Parameter Pengujian	Mutu Beton Rencana	Kadar RHA	Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Metode Penelitian	Hasil Utama
8	Prayogi et al. Pengaruh Penambahan Serat Serabut Kelapa terhadap Kuat Tarik Belah Beton	2024	Prayogi et al.	Mengetahui pengaruh serat serabut kelapa terhadap kuat tarik belah beton	Kuat tarik belah beton	F'c 30 MPa	0%; 0,5%; 2,5%; 4,5%; 6,5%; dan 8,5%	Balok	7, 14, 28	Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen	Pada pengujian kuat tarik, beton dengan penambahan serat serabut kelapa sebanyak 4,5 % memiliki nilai kuat tarik yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran serat serabut kelapa.
9	Purwanto et al. Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton	2021	Purwanto et al	Mengetahui Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton	Kuat Lentur	K-200	0%, 1% dan 2%	Balok	28	Metode yang akan digunakan merupakan metode eksperimen. .	Pada pengujiam kuat tekan , beton dengan penambahan serat serabut kelapa mengalami penurunan kekuatan.Sedangkan,untuk uji kuat tarik lentur, beton dengan penambahan serat serabut kelapa mengalami peningkatan kekuatan.

Sumber: Santoso (2009), Affandy & Bukhori (2019), Rohana (2022), Tasik et al. (2022), Puspitasari & Widodo (2021), Fahrizal & Sari (2024), Elhusna et al. (2024), Elhusna et al. (2021), Prayogi et al. (2024), Purwanto et al. (2021)

2.3 Kesimpulan Tinjauan Pustaka

Abu serabut kelapa (ASK) memiliki potensi sebagai bahan pozzolanik alami karena kandungan silika, alumina, dan kalsium oksidanya yang dapat meningkatkan kekuatan beton (Santosa, 2009). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan ASK sebesar 2–5% mampu meningkatkan kuat tekan, lentur, dan tarik belah beton (Affandy & Bukhori, 2019; Rohana, 2022). Namun, pada kadar di atas 5%, kekuatan beton cenderung menurun akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya semen aktif (Tasik et al., 2022; Fahrizal & Sari, 2024). Penambahan bahan kimia seperti Sikament-LN, Superplasticizer, dan Sika Viscocrate dapat memperbaiki *workability* dan homogenitas campuran (Puspitasari & Widodo, 2021). Selain meningkatkan kekuatan, pemanfaatan ASK juga mendukung konsep *eco-friendly concrete* dengan mengurangi limbah dan penggunaan semen portland.

Selain digunakan sebagai bahan tambah mineral, serabut kelapa dalam bentuk serat alami juga menunjukkan potensi sebagai bahan tambah beton yang berfungsi untuk meningkatkan sifat tarik dan lentur beton. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat lentur dan kuat tarik belah beton melalui mekanisme penjembatanan retak, serta memperbaiki perilaku keruntuhan beton menjadi lebih daktail (Elhusna et al., 2019; Prayogia et al., 2020; Purwanto et al., 2021). Akan tetapi, penggunaan serat serabut kelapa dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan kuat tekan beton akibat menurunnya kelecakan dan meningkatnya rongga udara dalam campuran beton.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton adalah material konstruksi yang paling sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena mempunyai kuat tekan yang tinggi, daya tahan yang kuat, serta kemudahan dalam pelaksanaan di lapangan. Beton diperoleh dari hasil pencampuran semen Portland, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan perbandingan tertentu, serta dapat ditambahkan bahan tambah apabila diperlukan untuk memperoleh karakteristik beton yang diinginkan (Kardiyono, 1992).

Beton memiliki keunggulan utama berupa ketahanan terhadap api, keawetan yang tinggi, serta kemampuan untuk dicetak sesuai bentuk yang direncanakan. Namun demikian, beton juga memiliki kelemahan, yaitu kuat tarik yang relatif rendah sehingga mudah mengalami retak apabila menerima tegangan tarik. Oleh karena itu, berbagai inovasi dilakukan untuk meningkatkan kinerja beton, baik melalui penggunaan bahan tambah kimia, bahan tambah mineral, maupun pemanfaatan limbah sebagai material alternatif (Affandy dan Bukhori, 2019).

Mutu beton sangat dipengaruhi oleh kualitas material penyusunnya, perencanaan campuran beton (mix design), metode pencampuran, proses pengangkutan, pemadatan, serta perawatan beton selama proses pengerasan. Untuk mendapatkan mutu beton yang sesuai rencana, material penyusun beton harus memenuhi syarat standar yang berlaku, baik dari segi sifat fisik maupun sifat mekaniknya. Pencampuran beton harus dilakukan secara merata agar diperoleh adukan yang homogen, sehingga beton yang dihasilkan mempunyai kekuatan dan keawetan yang optimal (Santosa, 2009).

Seiring dengan meningkatnya penggunaan beton dalam skala besar, muncul permasalahan lingkungan yang berkaitan dengan produksi semen Portland. Proses produksi semen membutuhkan energi yang besar dan menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah signifikan. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaan semen melalui pemanfaatan bahan alternatif yang lebih

ramah lingkungan tanpa mengurangi mutu beton (Tasik et al., 2023). Salah satu bahan alternatif yang berpotensi digunakan dalam campuran beton adalah abu serabut kelapa. Serabut kelapa merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia namun belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan melalui proses pembakaran dan penghalusan, serabut kelapa dapat menghasilkan abu yang mengandung senyawa silika dan oksida lain yang berpotensi bersifat pozzolanik (Syah dan Agustapraja, 2023).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa abu serabut kelapa dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen atau sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Kandungan silika (SiO_2) dalam abu serabut kelapa dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil dari hidrasi semen dan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang berkontribusi terhadap peningkatan kerapatan mikrostruktur beton (Santosa, 2009). Hasil penelitian Affandy dan Bukhori (2019) menunjukkan ternyata penambahan abu serabut kelapa pada persentase tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Namun, apabila persentase penambahan terlalu besar, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan akibat berkurangnya jumlah semen efektif dalam campuran. Hal serupa juga ditunjukkan pada penelitian Tasik et al. (2023), yang menyimpulkan bahwa penggunaan abu serabut kelapa harus dibatasi pada kadar optimum agar mutu beton tetap memenuhi persyaratan struktural. Selain berpengaruh terhadap kuat tekan beton, pemanfaatan abu serabut kelapa juga memberikan manfaat dari sisi lingkungan, yaitu mengurangi limbah organik serta menurunkan ketergantungan terhadap semen sebagai bahan utama beton. Dengan demikian, penggunaan abu serabut kelapa dalam campuran beton sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan dan pengembangan material konstruksi ramah lingkungan (Fahrizal, 2024).

Selain pemanfaatan abu serabut kelapa sebagai bahan tambah mineral, serabut kelapa juga dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan tambah beton dalam bentuk serat alami. Serabut kelapa merupakan material berserat yang memiliki kuat tarik cukup baik dan berasal dari limbah pertanian yang ketersediaannya melimpah di Indonesia. Dalam campuran beton, serabut kelapa berperan sebagai serat penguat

(fiber reinforcement) yang bekerja secara mekanis untuk menahan dan menjembatani retak, terutama pada zona tarik beton. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa memberikan pengaruh positif terhadap sifat tarik dan lentur beton. Elhusna et al. (2011) menyatakan bahwa penggunaan serat serabut kelapa dalam beton mampu meningkatkan kuat lentur beton dan memperbaiki pola keruntuhan beton menjadi lebih daktail. Serat serabut kelapa yang terdistribusi dalam matriks beton berfungsi menahan perambatan retak, sehingga beton tidak langsung mengalami keruntuhan getas saat menerima beban lentur.

Selain meningkatkan kuat lentur, serat serabut kelapa juga mempengeruhi t kuat tarik belah beton. Prayogia et al. (2024) melaporkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada kadar tertentu dapat meningkatkan kuat tarik belah beton dibandingkan beton normal. Peningkatan tersebut disebabkan oleh kemampuan serat dalam menahan pembelahan beton secara tiba-tiba melalui mekanisme penjembatanan retak. Namun demikian, pada kadar serat yang terlalu tinggi, kuat tekan beton cenderung menurun akibat meningkatnya porositas dan menurunnya kepadatan beton. Penelitian lain oleh Purwanto et al. (2021) menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada beton normal mampu meningkatkan kuat lentur beton, tetapi perlu pengendalian kadar serat agar tidak menurunkan kuat tekan dan kelecakan beton secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serat serabut kelapa harus dibatasi pada kadar optimum untuk memperoleh keseimbangan antara peningkatan sifat tarik dan lentur tanpa mengorbankan kekuatan tekan beton.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa serabut kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan tambah beton ramah lingkungan, khususnya untuk meningkatkan kuat lentur dan kuat tarik belah beton. Pemanfaatan serabut kelapa sebagai serat alami, terutama apabila dikombinasikan dengan abu serabut kelapa sebagai bahan tambah mineral, diharapkan dapat menghasilkan beton dengan kinerja mekanik yang lebih seimbang serta mendukung pengembangan material konstruksi berkelanjutan.

3.2. Semen Portland

Semen Portland merupakan material pengikat hidrolis yang paling umum dipakai dalam pembuatan beton. Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan melalui proses penghalusan klinker yang terdiri dari senyawa silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dengan penambahan bahan tambahan berupa gipsum untuk mengendalikan waktu pengikatan semen (Safaruddin, 2023). Klinker merupakan produk antara hasil pembakaran bahan baku semen yang belum ditambahkan material lain untuk memperbaiki sifat fisik maupun kimia semen.

Pada saat semen Portland dicampur dengan air, terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) sebagai komponen utama pembentuk kekuatan beton. Selain C-S-H, proses hidrasi juga menghasilkan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) atau kapur bebas yang tidak berkontribusi langsung terhadap peningkatan kuat tekan beton. Keberadaan kapur bebas ini justru dapat menurunkan keawetan beton apabila bereaksi dengan lingkungan agresif. Oleh karena itu, $Ca(OH)_2$ dapat dimanfaatkan melalui reaksi pozzolanik dengan bahan tambah yang mengandung silika aktif, seperti abu serabut kelapa (Santosa, 2009).

Komposisi kimia semen Portland pada umumnya terdiri dari tricalcium silicate (C_3S), dicalcium silicate (C_2S), tricalcium aluminate (C_3A), dan tetracalcium alumino ferrite (C_4AF). Senyawa C_3S berperan dalam memberikan kekuatan awal beton dan menghasilkan panas hidrasi yang relatif tinggi, sedangkan C_2S berkontribusi terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur lanjut dengan panas hidrasi yang lebih rendah (Safaruddin, 2023), Sementara itu, C_3A berpengaruh terhadap kecepatan pengikatan semen dan ketahanan beton terhadap serangan sulfat.

Berdasarkan tujuan penggunaannya, semen portland dibagi menjadi beberapa tipe, antara lain:

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

   Ordinary Portland Cement merupakan semen portland yang dipakai untuk konstruksi yang tidak membutuhkan sifat-sifat khusus, misalnya ketahanan terhadap sulfat, panas hidrasi dan sebagainya. Ordinary Portland Cement

mengandung 5% MgO dan 2,5-3% SO3. Sifatsifat Ordinary Portland Cement berada diantara sifat-sifat moderate heat cement dan high early strength portland cement.

2. Tipe II (*Moderate Heat Portland Cement*)

   Moderate Heat Portland Cement adalah jenis semen portland yang dipakai pada pekerjaan konstruksi yang menuntut ketahanan terhadap serangan sulfat serta menghasilkan panas hidrasi dalam tingkat sedang. Semen ini umumnya diaplikasikan pada bangunan pelabuhan dan konstruksi di wilayah pesisir. Komposisi kimianya terdiri atas sekitar 20% SiO_2, 6% Al_2O_3, 6% MgO, dan 8% C_3A. Dibandingkan dengan semen portland tipe I, semen ini memiliki kandungan C_2S yang lebih tinggi dan kadar C_3A yang lebih rendah.

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

   High Early Strength Portland Cement merupakan jenis semen portland yang digunakan pada kondisi khusus, seperti pekerjaan darurat dan pengecoran pada suhu rendah. Semen ini memiliki kandungan C_3S yang relatif tinggi sehingga mampu memberikan kekuatan awal yang cepat disertai dengan laju pelepasan panas hidrasi yang lebih besar. Dengan komposisi sekitar 6% MgO, 3,5–4,5% Al_2O_3, 35% C_3S, 40% C_2S, dan 15% C_3A, semen ini sesuai digunakan pada konstruksi gedung bertingkat, pekerjaan berisiko tinggi, pondasi, beton prategang, serta struktur yang memerlukan kekuatan awal tinggi.

4. Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)

   Low Heat Portland Cement adalah jenis semen portland yang dirancang untuk konstruksi yang membutuhkan panas hidrasi rendah, khususnya pada struktur beton berukuran besar dan berdimensi tebal guna meminimalkan risiko terjadinya retak. Semen ini memiliki kandungan C_3S dan C_3A yang relatif rendah sehingga laju pelepasan panas hidrasi menjadi lebih kecil. Komposisi kimianya meliputi sekitar 6,5% MgO, 2,3% SO_3, dan 7% C_3A. Oleh karena itu, semen ini umumnya digunakan pada pekerjaan teknik hidraulik dan struktur lain yang mensyaratkan panas hidrasi rendah.

5. Tipe V (*Shulphato Resistance Portland Cement*)

Sulphate Resistance Portland Cement merupakan jenis semen portland yang memiliki ketahanan tinggi terhadap serangan sulfat akibat kandungan C_3A yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe semen portland lainnya. Semen ini umum digunakan pada konstruksi yang berada di lingkungan dengan kadar sulfat tinggi, seperti pelabuhan, terowongan, pekerjaan pengeboran lepas pantai, serta bangunan yang dikerjakan pada kondisi suhu tinggi. Secara kimiawi, semen ini tersusun atas sekitar 6% MgO, 2,3% SO_3, dan 5% C_3A.

Dalam penelitian beton dengan bahan tambah abu serabut kelapa, pemilihan jenis semen Portland menjadi faktor penting karena reaksi pozzolanik abu serabut kelapa sangat bergantung pada ketersediaan $Ca(OH)_2$ hasil hidrasi semen. Semen Portland dengan kandungan senyawa silikat yang memadai akan menghasilkan $Ca(OH)_2$ yang cukup untuk bereaksi dengan silika dalam abu serabut kelapa, sehingga terbentuk senyawa C-S-H tambahan yang dapat meningkatkan kerapatan mikrostruktur beton (Santosa, 2009; Affandy dan Bukhori, 2019). Dengan demikian, semen Portland tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengikat utama dalam beton, tetapi juga berperan sebagai sumber senyawa kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi lanjutan dengan bahan tambah mineral. Pemahaman terhadap sifat, jenis, dan komposisi semen Portland menjadi dasar penting dalam perencanaan campuran beton, khususnya beton yang memanfaatkan bahan alternatif seperti abu serabut kelapa untuk mendukung pengembangan beton ramah lingkungan dan berkelanjutan.

3.3. Air

Beton terbentuk melalui proses hidrasi semen yang berfungsi mengikat agregat halus dan agregat kasar. Proses hidrasi ini terjadi akibat reaksi kimia antara semen Portland dan air, yang menyebabkan partikel semen berinteraksi dalam fase cair dan membentuk pasta semen sebagai bahan pengikat agregat. Keberadaan air memiliki peranan penting dalam pembuatan beton, karena memudahkan proses pencampuran, pengecoran, dan pemadatan. Tingkat kemudahan pengerjaan beton tersebut dikenal sebagai kelecakan beton, yang sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara jumlah air dan semen. Kardiyono (2007) menyatakan bahwa semen Portland memerlukan air sekitar 25–30% dari berat semen untuk

berlangsungnya proses hidrasi, yang setara dengan nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,25–0,30. Namun demikian, penerapan nilai fas tersebut di lapangan menghasilkan campuran beton yang cenderung kaku sehingga menyulitkan proses pengerjaan. Oleh sebab itu, dalam praktik konstruksi sering digunakan nilai fas yang lebih besar dari 0,40 atau dengan kadar air sekitar 40% dari berat semen. Kelebihan air yang tidak terlibat langsung dalam proses hidrasi berperan sebagai pelumas untuk meningkatkan kemudahan pengerjaan beton, meskipun penggunaannya tetap harus dikendalikan agar tidak menurunkan mutu beton.

Syarat pemilihan air sebagai campuran beton antara lain:

1. Air pencampur beton tidak diperkenankan mengandung lumpur atau partikel melayang lainnya dengan kadar melebihi 2 gram per liter.
2. Kandungan garam yang berpotensi merusak beton, serta asam dan zat organik lainnya, dibatasi maksimum sebesar 15 gram per liter.
3. Kadar klorida (Cl^-) dalam air pencampur tidak boleh melampaui 0,5 gram per liter.
4. Kandungan sulfat dalam air pencampur beton dibatasi hingga maksimum 1 gram per liter.

Kelebihan air dalam campuran beton dapat menimbulkan fenomena bleeding, yaitu naiknya air ke permukaan beton segar akibat terjadinya pemisahan air dari campuran. Kondisi ini dapat mengurangi daya ikat antara pasta semen dan agregat serta menurunkan mutu lapisan beton pada bagian permukaan. Selain itu, penggunaan kadar air yang berlebihan berpotensi meningkatkan risiko retak dan menurunkan kuat tekan beton (Tasik et al., 2023).

3.4. Agregat

Agregat adalah material berbentuk butiran yang berasal dari mineral alami maupun hasil buatan, yang berperan sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton. Agregat membentuk struktur rangka beton dan memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik serta mekanik beton, baik pada fase beton segar maupun setelah mengeras. Secara umum, agregat menyusun sekitar 60–80% dari volume beton, sehingga mutu agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan (Raja et al., 2021). Agregat dalam campuran beton tidak hanya

berfungsi sebagai material pengisi, tetapi juga berperan penting dalam menentukan kuat tekan, stabilitas volume, keawetan, serta tingkat kemudahan pengerjaan beton. Penggunaan agregat yang tidak memenuhi persyaratan teknis dapat mengakibatkan penurunan kekuatan beton, peningkatan porositas, dan berkurangnya ketahanan beton terhadap pengaruh lingkungan (Affandy dan Bukhori, 2019).

Agregat yang dipakai untuk campuran beton harus memenuhi sejumlah persyaratan teknis, antara lain memiliki bentuk butiran yang baik, bersifat keras, tidak mudah hancur, bersih dari kotoran, serta memiliki gradasi yang sesuai. Gradasi agregat merupakan susunan distribusi ukuran butiran yang berpengaruh signifikan terhadap tingkat kepadatan beton. Gradasi yang baik mampu menghasilkan beton yang lebih rapat dengan jumlah rongga yang lebih kecil, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton (Tasik et al., 2023). Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dalam campuran beton diklasifikasikan menjadi agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus merupakan material yang lolos saringan berukuran 4,75 mm dan umumnya berupa pasir alam maupun pasir buatan hasil pemecahan batu. Sebaliknya, agregat kasar merupakan agregat yang tidak lolos pada saringan 4,75 mm, seperti kerikil atau batu pecah dengan ukuran tertentu sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku (SNI 03-2834-2000).

3.4.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah material dengan ukuran butiran berkisar antara 0,14–5 mm yang berasal dari hasil disintegrasi batuan alam (pasir alami) maupun dari proses pemecahan batuan secara mekanis (pasir buatan), tergantung pada kondisi geologi daerah asalnya. Pasir alami dapat diklasifikasikan menjadi pasir galian, pasir sungai, pasir laut, dan pasir gunung. Dalam campuran beton, pasir berfungsi sebagai bahan pengisi yang dicampurkan dengan semen untuk membentuk adukan, serta berpengaruh terhadap sifat susut, keretakan, dan kekerasan beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pasir yang digunakan harus memiliki mutu yang baik, yaitu bersih dari lumpur, tanah liat, zat organik, serta garam klorida dan sulfat, serta bersifat keras, tahan lama, dan memiliki gradasi butiran yang sesuai.

Berdasarkan Persyaratan Beton Indonesia (PBI) Tahun 1982 Pasal 32, agregat halus yang digunakan sebagai bahan campuran pada beton bertulang harus memenuhi beberapa persyaratan tertentu, antara lain sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butiran-butiran kasar, tajam, dan keras.
2. Pasir harus mempunyai kekerasan yang sama.
3. Agregat halus tidak diperkenankan mengandung lumpur dengan kadar lebih dari 5%. Apabila kadar lumpur melebihi batas tersebut, maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan. Lumpur yang dimaksud adalah partikel halus yang lolos melalui ayakan berukuran 0,063 mm.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
5. Pasir tidak mudah terpengaruh oleh perubahan cuaca.

Selain itu, untuk memperoleh pasir dengan gradasi yang sesuai, perlu dilakukan pengujian di laboratorium. Agregat halus terdiri atas butiran dengan ukuran yang bervariasi, sehingga pengujian dengan metode pengayakan menggunakan susunan ayakan yang telah ditetapkan diperlukan untuk memastikan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan yang berlaku, antara lain sebagai berikut:

1. Sisa di ayakan di atas 4 mm, harus minimum 2% dari berat total.
2. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% dari berat total.
3. Sisa di atas ayakan 0,22 mm, harus berkisar di antara 80% - 90% dari berat total.

3.4.2. Agregat Kasar

Agregat kasar dalam campuran beton dapat berupa kerikil yang berasal dari proses disintegrasi alami batuan maupun batu pecah yang dihasilkan melalui pemecahan batu. Secara umum, agregat kasar didefinisikan sebagai agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 5 mm atau 4,8 mm. Agregat kasar harus tersusun atas butiran yang keras dan tidak berpori, serta bersifat kekal, yaitu tidak mudah pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca seperti paparan sinar matahari dan hujan.

Ketentuan untuk agregat kasar antara lain:

1. Agregat kasar harus tersusun atas butiran yang keras dan tidak berpori.
2. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, yaitu tidak mudah pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca, seperti paparan sinar matahari dan hujan.

3. Agregat kasar tidak diperkenankan mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, termasuk senyawa yang bersifat alkali reaktif.
4. Kandungan lumpur dalam agregat kasar dibatasi maksimum sebesar 1%. Apabila kadar lumpur melebihi batas tersebut, maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

Tabel 3 1. Persyaratan Batas-batas Susunan Butir pada Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	**Presentase Berat Bagian yang Lewat Ayakan (%)**		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	Maksimum 40	**Maksimum 20**	**Maksimum 10**
38.1	95-100	100	-
19.0	37-70	95-100	100
9.5	10-40	30-60	50-85
4.8	0-5	0-10	0-10

(sumber: SNI 03-2834-2000)

3.5. Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah material selain air, semen, dan agregat yang ditambahkan ke dalam campuran beton sebelum atau selama proses pencampuran dengan tujuan untuk mengubah atau memperbaiki sifat dan karakteristik beton. Penggunaan bahan tambah bertujuan untuk meningkatkan kinerja beton, baik pada kondisi beton segar maupun beton keras, antara lain dengan meningkatkan kemudahan pengerjaan (workability), mengendalikan waktu ikat, meningkatkan kuat tekan, serta memperbaiki keawetan beton. Dalam penerapannya, bahan tambah digunakan dalam jumlah yang relatif kecil dibandingkan dengan bahan utama penyusun beton, namun memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat beton. Oleh sebab itu, penggunaan bahan tambah perlu direncanakan dan dikendalikan secara tepat agar tidak menimbulkan dampak negatif, seperti meningkatnya susut, menurunnya elastisitas, maupun berkurangnya kuat tekan beton akibat pemakaian yang berlebihan (Affandy dan Bukhori, 2019).

Secara umum, bahan tambah pada beton dikelompokkan ke dalam dua kategori utama, yaitu bahan tambah kimia dan bahan tambah mineral. Bahan tambah kimia digunakan untuk memodifikasi sifat beton segar, antara lain sebagai pengurang air (water reducer), percepat pengikatan (accelerator), perlambat pengikatan (retarder), serta bahan pembentuk gelembung udara (air-entraining admixture). Sementara itu, bahan tambah mineral berasal dari material alami maupun limbah industri dan pertanian yang bersifat pozzolan atau sebagai bahan pengisi (filler), seperti fly ash, abu sekam padi, dan abu serabut kelapa.

3.5.1. Abu Serabut Kelapa

Abu serabut kelapa yang pada awalnya merupakan limbah buangan ternyata memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam peningkatan mutu beton. Seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan tambah pada beton, pemanfaatan abu serabut kelapa dapat menjadi alternatif yang ekonomis dan tepat guna. Hal ini disebabkan oleh adanya kesamaan kandungan kimia antara abu serabut kelapa dan semen. Secara kimiawi, abu serabut kelapa mengandung komponen organik seperti serat selulosa dan lignin, serta mineral berupa silika, aluminium, dan oksida besi. Kandungan SiO_2 dalam abu serabut kelapa memiliki peranan yang sangat penting karena mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida [$Ca(OH)_2$] dan air (H_2O). Reaksi tersebut menghasilkan senyawa utama berupa $C_3S_2H_3$ atau kalsium silikat hidrat (C–S–H) yang dikenal sebagai tobermorite, berbentuk gel yang selanjutnya dapat mengalami proses pengkristalan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Tasik et al. (2023) menyatakan bahwa penggunaan abu serabut kelapa sebagai bahan tambah mineral dalam campuran beton memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, terutama pada umur beton 28 hari. Namun, pada kadar penambahan yang terlalu tinggi, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan akibat berkurangnya jumlah semen aktif dan meningkatnya kebutuhan air dalam campuran beton.

Tabel 3.2. Kandungan Yang Terdapat Antara Abu Sabut Kelapa Dan Semen

Komposisi	Persentase pada Semen (%)	Persentase pada Abu Serabut Kelapa (%)
CaO (Kapur)	60-65	9,51
SiO_2 (Silika)	17-25	47,55
Al_2O_3 (Alumina)	3-8	1,05
Fe_2O_2 (Besi)	0,5-6	-
MgO (Magnesia)	0,6-4	2,65
SO_3 (Sulfur)	1-2	1,43
$Na_2O + K_2O$	0,5-1	-
(Potash)		

Sumber : *(Agustapraja & Syah, 2023)*

Selain mempengaruhi kuat tekan beton, penggunaan abu serabut kelapa juga berdampak pada sifat beton segar. Abu serabut kelapa yang memiliki ukuran partikel halus dan luas permukaan yang besar dapat meningkatkan kebutuhan air sehingga mempengaruhi nilai kelecakan beton. Oleh karena itu, penggunaan abu serabut kelapa harus disertai dengan pengendalian faktor air semen agar mutu beton tetap terjaga (Fahrizal, 2024).

3.5.2. Serat Serabut Kelapa

Serat serabut kelapa merupakan serat alami yang berasal dari limbah pertanian kelapa dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah beton dalam bentuk serat (fiber reinforced concrete). Serat ini memiliki kuat tarik yang relatif baik, bersifat ringan, serta tersedia melimpah di Indonesia, sehingga berpotensi menjadi alternatif serat buatan yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis (Elhusna et al., 2019). Penggunaan serat serabut kelapa dalam campuran beton bertujuan untuk meningkatkan sifat tarik dan lentur beton, serta memperbaiki perilaku retak beton yang pada umumnya bersifat getas. Serat serabut kelapa bekerja dengan mekanisme penjembatanan retak (crack bridging), yaitu menahan dan memperlambat perkembangan retak yang terjadi akibat pembebanan tarik maupun lentur. Dengan adanya serat, beton masih mampu menahan beban setelah

terjadinya retak awal, sehingga perilaku keruntuhan beton menjadi lebih daktail dibandingkan beton normal (Prayogia et al., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat lentur beton. Elhusna et al. (2019) menyatakan bahwa peningkatan kuat lentur terjadi karena serat serabut kelapa mampu menahan tegangan tarik pada zona tarik beton dan memperbaiki distribusi tegangan saat pembebanan lentur. Selain itu, beton berserat menunjukkan pola retak yang lebih halus dan merata dibandingkan beton tanpa serat. Selain berpengaruh terhadap kuat lentur, serat serabut kelapa juga berkontribusi terhadap peningkatan kuat tarik belah beton. Penelitian oleh Prayogia et al. (2020) menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat tarik belah beton. Peningkatan ini disebabkan oleh peran serat dalam menahan pembelahan beton secara tiba-tiba, sehingga energi retak dapat diserap lebih besar sebelum terjadinya keruntuhan.

3.6. Pengujian Beton

3.6.1. Kuat Tekan Beton

Uji tekan beton merupakan metode pengujian yang digunakan untuk menentukan kemampuan beton dalam menahan beban tekan per satuan luas hingga mengalami kerusakan atau keruntuhan. Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan memberikan beban tekan secara bertahap pada benda uji hingga mencapai beban maksimum yang menyebabkan benda uji hancur (Affandy dan Bukhori, 2019). Kuat tekan beton didefinisikan sebagai perbandingan antara beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji terhadap luas penampangnya. Pengujian kuat tekan beton umumnya dilakukan menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM) dengan laju pembebanan yang telah ditetapkan sesuai standar. Nilai kuat tekan yang diperoleh digunakan sebagai acuan dalam menentukan mutu beton serta mengevaluasi kesesuaian beton dengan spesifikasi perencanaan yang ditetapkan (Tasik et al., 2023). Nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain proporsi campuran beton, mutu dan jenis agregat, jenis semen, faktor air semen, metode pencampuran, proses pemadatan, serta perawatan beton (curing). Selain itu,

penggunaan bahan tambah mineral, seperti abu serabut kelapa, juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, yang dapat meningkatkan atau menurunkan nilainya bergantung pada kadar penambahan yang digunakan (Affandy dan Bukhori, 2019).

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

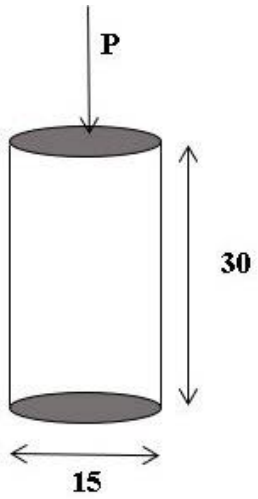
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$f'c$ = kuat tekan beton (kg/cm² atau MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm2)



Gambar 3 1. Uji Kuat Tekan Beton

3.6.2. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton merupakan salah satu parameter penting untuk menilai kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik yang timbul akibat pembebanan lentur. Meskipun beton memiliki kuat tekan yang tinggi, kemampuannya dalam menahan gaya tarik relatif rendah. Oleh karena itu, nilai kuat lentur sering

digunakan sebagai indikator perilaku beton terhadap retak dan potensi keruntuhan akibat momen lentur, khususnya pada elemen struktur seperti balok, pelat, dan perkerasan kaku (Pane et al., 2015). Kuat lentur beton didefinisikan sebagai kemampuan balok beton yang ditumpu pada dua perletakan untuk menahan beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang benda uji hingga terjadi kegagalan. Nilai kuat lentur dinyatakan dalam satuan tegangan, seperti MPa atau kg/cm², dan diperoleh melalui pengujian lentur dengan sistem pembebanan tertentu sesuai dengan standar yang berlaku (SNI 03-4431-1997). Pada pengujian tersebut, beban diberikan secara bertahap sampai balok beton mengalami retak dan patah akibat mekanisme lentur murni (Pane et al., 2015).

Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton telah banyak dikaji dalam berbagai penelitian. Secara umum, nilai kuat lentur beton berada pada kisaran sekitar 8%–15% dari kuat tekan beton. Pane et al. (2015) mengemukakan bahwa peningkatan kuat tekan beton cenderung diikuti oleh peningkatan nilai kuat lenturnya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa perbandingan antara kuat lentur dan akar kuat tekan berada dalam rentang tertentu dan relatif konsisten pada berbagai variasi mutu beton.

Berikut Merupakan rumus kuat lentur beton:

$$\text{fr} = \frac{3Pa}{bh\text{^}2} \qquad (3.2)$$

Keterangan:

fr= Kuat Tarik Lentur [MPa]

P= Beban pada waktu lentur [kN]

a= Jarak dari perletakan ke gaya [mm]

b= Lebar penampang balok [mm]

h= Tinggi penampang balok [mm]

Untuk 1/3 batang menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{flt} = \frac{PxL}{bh\text{^}2} \quad (3.3)$$

Keterangan:

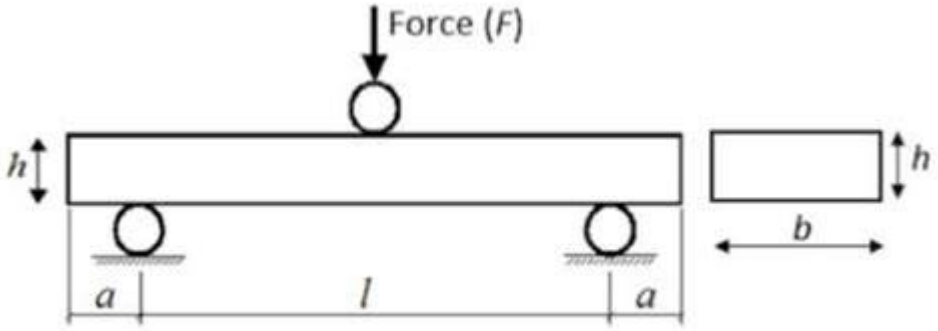
Flt= Kuat lentur (MPa)

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

L= Panjang antar tumpuan benda uji (mm)

b= Lebar penampang balok [mm]

h= Tinggi penampang balok [mm]



Gambar 3 2. Uji Kuat Lentur Beton

3.6.3. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi sifat mekanik beton yang mencerminkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik secara tidak langsung. Meskipun beton memiliki kuat tekan yang tinggi, kekuatan tariknya relatif rendah. Oleh karena itu, pengujian kuat tarik belah digunakan untuk menilai perilaku beton terhadap terjadinya retak akibat gaya tarik yang bekerja pada struktur, khususnya pada elemen seperti balok, pelat, dan perkerasan beton (Felany, 2004). Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan memberikan beban tekan secara diametral pada benda uji berbentuk silinder yang ditempatkan dalam posisi horizontal. Beban diberikan secara bertahap hingga

benda uji mengalami retak dan terbelah menjadi dua bagian. Tegangan tarik yang terjadi pada bidang vertikal silinder tersebut dinyatakan sebagai nilai kuat tarik belah beton (SNI 2491:2014).

Fahrizal dan Sari (2024) menyatakan bahwa metode uji tarik belah merupakan metode yang paling umum digunakan karena pelaksanaannya relatif sederhana serta mampu memberikan gambaran yang cukup representatif mengenai kekuatan tarik beton dibandingkan dengan metode uji tarik langsung. Pengujian ini umumnya dilakukan pada beton berumur 28 hari, karena pada umur tersebut beton telah mencapai kekuatan yang mendekati kekuatan rencana.

Berikut adalah rumus menghitung kuat tarik belah beton:

$$Fct = \frac{2P}{\pi\ LD} \tag{3.4}$$

Keterangan:

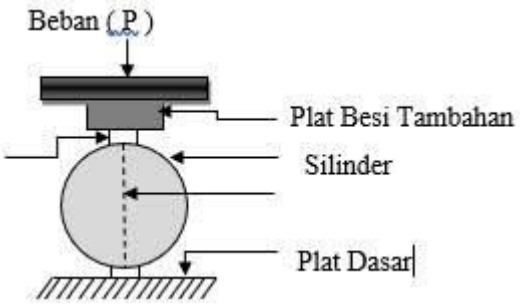
Fct= kuat Tarik belah (MPa)

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

L= Panjang benda uji silinder (mm)

D= Diameter benda uji (mm)

Π= Phi



Gambar 3 3. Uji Kuat Tarik Belah Beton

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1. Umum

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode eksperimen laboratorium di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pelaksanaan penelitian spenambahan abu serabut kelapa (ASK) sebagai bahan tambah mineral serta serat serabut kelapa sebagai serat alami dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton normal, yang meliputi kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah. Variasi kadar abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa digunakan untuk menentukan kombinasi optimum yang menghasilkan kinerja beton paling baik.

4.2. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol sebagai berikut.

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kadar abu serabut kelapa (ASK) dan kadar serat serabut kelapa.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi kuat tekan beton, kuat lentur beton, kuat tarik belah beton
3. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi bentuk benda uji, dimensi benda uji, dan kuat tekan beton rencana (f'c).

4.3. Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai bertikut:

1. Semen Portland

   Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I merek Tiga Roda dengan berat kemasan 40 kg. Semen ini dipilih karena merupakan

semen Portland umum yang banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi dan memiliki karakteristik yang sesuai untuk pembuatan beton normal. Kondisi fisik semen yang digunakan berada dalam keadaan baik dan belum melewati masa simpan. Semen Portland tipe I merek Tiga Roda yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4 1. Semen Tipe 1 Tiga Roda

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir alami yang berasal dari Merapi. Pasir tersebut dipilih karena ketersediaannya yang cukup dan karakteristiknya yang umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Sebelum digunakan dalam campuran beton, agregat halus terlebih dahulu dilakukan pengujian analisis saringan untuk menentukan gradasi butirannya

dan memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan standar. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4 2. Agregat Halus

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berupa kerikil yang berasal dari daerah Cangkringan, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agregat kasar tersebut dipilih karena memiliki karakteristik yang umum digunakan sebagai bahan penyusun beton. Sebelum digunakan, agregat kasar dipastikan berada dalam kondisi bersih dan memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar



Gambar 4 3. Agregat Kasar

4. Air

   Air yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air tersebut digunakan sebagai air pencampur beton dan secara visual tampak jernih serta bebas dari kotoran atau kontaminan lain yang dapat memengaruhi mutu beton.

5. Abu Serabut Kelapa

   Bahan tambah mineral yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu serabut kelapa. Abu serabut kelapa diperoleh dari hasil pembakaran serabut kelapa hingga menjadi abu, kemudian disaring untuk memperoleh ukuran butiran yang halus sebelum digunakan dalam campuran beton. Abu serabut kelapa dimanfaatkan sebagai bahan tambah mineral dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik beton. Abu yang digunakan adalah abu yang lolos saringan nomor 150 agar dapat tercampur rata dengan campuran beton, kehalusan abu didapatkan dengan cara diayak manual menggunakan alat saringan nomor 150.



Gambar 4.4. Abu Serabut Kelapa

6. Serabut Kelapa

   Bahan tambah lain yang digunakan dalam penelitian ini selain abu serabut kelapa adalah serabut kelapa. Serabut kelapa digunakan sebagai serat alami dalam campuran beton dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja mekanik

beton. Serabut kelapa yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Serat Serabut Kelapa

4.4. Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Set Saringan Agregat

   Set saringan agregat merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirannya secara bertahap. Alat ini berfungsi untuk menentukan distribusi ukuran butir (gradasi) agregat yang digunakan dalam campuran beton. Dalam penelitian ini, set saringan agregat digunakan pada pengujian analisis saringan agregat halus dan agregat kasar guna memastikan kesesuaian gradasi agregat dengan persyaratan standar yang berlaku. Set saringan agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Set Saringan Agregat

2. Timbangan Digital

Timbangan digunakan sebagai alat untuk menimbang seluruh bahan penyusun beton sesuai dengan proporsi yang telah ditetapkan dalam perencanaan campuran beton (mix design).

Ketelitian penimbangan sangat berpengaruh terhadap kesesuaian komposisi campuran dan mutu beton yang dihasilkan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Timbangan Digital

3. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan dalam perencanaan campuran



G r

beton (mix design). Piknometer yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.8.

4. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar sebelum dilakukan pengujian. Proses pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air dalam agregat sehingga pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilakukan dengan hasil yang akurat. Oven yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Oven

5. *Concrete Mixer*

Concrete mixer merupakan alat yang digunakan untuk mencampur seluruh bahan penyusun beton secara merata sesuai dengan proporsi yang telah ditetapkan dalam perencanaan campuran beton (mix design). Penggunaan concrete mixer bertujuan untuk memperoleh campuran beton yang homogen sehingga kualitas beton yang dihasilkan lebih seragam. Concrete mixer yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Concrete Mixer

6. Sekop

Sekop merupakan alat bantu yang digunakan untuk memindahkan dan menuangkan beton segar ke dalam cetakan beton. Penggunaan sekop bertujuan untuk mempermudah proses pengecoran benda uji serta menjaga ketepatan dan kebersihan selama proses pencetakan. Sekop yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Sekop

7. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai slump beton segar sebagai indikator tingkat kelecakan atau kemudahan pengerjaan beton. Pengujian slump dilakukan untuk memastikan konsistensi dan workability campuran beton sebelum pengecoran benda uji. Kerucut Abrams yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Kerucut Abrams

8. Bekisting Beton

Bekisting beton merupakan alat atau media cetak yang digunakan untuk membentuk beton sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan. Dalam penelitian ini, bekisting beton yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, yang berfungsi sebagai cetakan benda uji beton. Bekisting beton yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Bekisting Beton

9. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besarnya beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji hingga mengalami keruntuhan. Alat ini digunakan dalam pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton untuk memperoleh nilai kekuatan mekanik beton. Mesin uji tekan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gam bar 4.14.



Gambar 4.14 Mesin Uji Tekan

10. Mesin Uji Tarik Lentur

Mesin uji tarik lentur merupakan alat yang digunakan untuk menentukan nilai kuat lentur beton. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap pada benda uji berbentuk balok hingga terjadi retak dan keruntuhan akibat gaya lentur. Alat ini berfungsi untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik yang timbul akibat pembebanan lentur. Mesin uji tarik lentur yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Mesin Uji Tarik Lentur

11. Mesin Uji Tarik Belah

Mesin uji tarik belah merupakan alat yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tarik belah beton dengan cara memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami retak dan terbelah.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Mesin uji tarik belah yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Mesin Uji Tarik Belah

4.5. Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini terdiri dari beton normal dan beton dengan penambahan abu serabut kelapa (ASK) serta serat serabut kelapa dengan variasi kadar tertentu. Variasi komposisi abu serabut kelapa yang digunakan adalah 0%,1%, dan 1,5% dari berat semen, sedangkan variasi komposisi serat serabut kelapa yang digunakan adalah 0% dan 3,5% dari volume beton. Benda uji dicetak dalam dua bentuk, yaitu silinder beton dan balok beton, sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Benda uji berbentuk silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton, dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sementara itu, benda uji berbentuk balok digunakan untuk pengujian kuat lentur beton, dengan ukuran tinggi 150 mm, lebar 150 mm, dan panjang 600 mm. Pengujian ini berupa pengujian kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat tarik belah. Jumlah sampel untuk pengujian kuat tekan berjumlah 5 sampel,

sedangkan jumlah sampel untuk kuat tarik lentur dan kuat tarik belah masing-masing 3 sampel. Adapun rincian benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Kadar Abu Serabut Kelapa	Serabut Kelapa	Umur Benda Uji (hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan Beton	0%	0%	28	T-0-0	5
	0,5%	3,5%	28	T-0,5-3,5	5
	1%	3,5%	28	T-1-3,5	5
	1,5%	3,5%	28	T-1,5-3,5	5
Kuat Tarik Lentur	0%	0%	28	L-0-0	3
	0,5%	3,5%	28	L-0,5-3,5	3
	1%	3,5%	28	L-1-3,5	3
	1,5%	3,5%	28	L-1,5-3,5	3
Kuat Tarik Belah	0%	0%	28	B-0-0	3
	0,5%	3,5%	28	B-0,5-3,5	3
	1%	3,5%	28	B-1-3,5	3
	1,5%	3,5%	28	B-1,5-3,5	3
Total Sampel					44

4.6. Proses Pelaksanaan Penelitian

4.6.2 Proses Persiapan dan Pemeriksaan Bahan

Proses persiapan dan pemeriksaan bahan dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang harus dilaksanakan sebelum pembuatan benda uji, yang meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Proses Persiapan

   Memepersiapkan semua kebutuhan alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian berlangsung.

2. Proses Pemeriksaan Bahan

   Ada beberapa pengujian dalam pemerikasaan bahan-bahan dalam penelitian ini, diantaranya yaitu sebagai berikut:

   a. Berat Jenis Agregat Halus

      Langkah-langkah dalam pengujian agregat halus antara lain sebagai berikut.

1). Menyiapkan benda uji pasir yang lolos saringan 4,75 mm sebanyak 500 gram
2). Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110±5)°C hingga mencapai berat konstan, yaitu apabila perubahan massa setelah tiga kali penimbangan berturut-turut dengan selang waktu 2 jam tidak melebihi 0,1%. Selanjutnya, benda uji didinginkan pada suhu ruang dan direndam dalam air selama (24±4) jam.
3). Air sisa perendaman dibuang secara hati-hati agar tidak ada butiran agregat yang ikut terbuang. Selanjutnya, agregat diletakkan di atas talam dan dikeringkan dengan udara panas sambil dibolak-balik secara berkala hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD).
4). Kondisi jenuh kering permukaan (SSD) diperiksa dengan mengisikan agregat ke dalam kerucut terpancung, kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali menggunakan penumbuk dan diratakan permukaannya. Keadaan SSD dinyatakan tercapai apabila setelah kerucut terpancung diangkat, agregat runtuh namun masih mempertahankan bentuk cetakannya.
5). Setelah agregat mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD), sebanyak 500 gram benda uji dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian ditambahkan air suling. Selanjutnya, piknometer diguncang hingga tidak terlihat lagi gelembung udara di dalamnya.
6). Piknometer selanjutnya direndam di dalam air, kemudian suhu air diukur untuk keperluan penyesuaian perhitungan terhadap suhu standar 25°C.
7). Tambahkan air sampai mencapai tanda batasnya.
8). Piknometer yang telah berisi benda uji dan air ditimbang dengan ketelitian hingga 0,1 gram, kemudian dicatat sebagai berat B_t.
9). Benda uji dikeluarkan dari piknometer, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu (110±5)°C hingga mencapai berat konstan. Setelah

itu, benda uji didinginkan di dalam desikator sebelum dilakukan penimbangan selanjutnya.

10). Setelah benda uji sudah dingin, lalu di timbang (Bk)

11). Piknometer diisi penuh dengan air kemudian ditimbang dan dicatat sebagai berat B. Selanjutnya, suhu air diukur untuk keperluan penyesuaian perhitungan terhadap suhu standar 25°C.

b. Modulus Halus Butir Agregat Halus

Langkah-langkah pengujian modulus halus butir agregat halus adalah sebagai berikut.

1). Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu (110±5)°C hingga mencapai berat konstan.

2). Benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 1 jam.

3). Setelah mencapai kondisi kering, benda uji ditimbang dengan massa sebesar 2000 gram.

4). Saringan disusun berdasarkan ukuran bukaan dari yang terbesar hingga terkecil, kemudian benda uji dimasukkan ke dalam susunan saringan tersebut dan dilakukan pengayakan menggunakan mesin penggoyang selama 10–15 menit.

5). Benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan dikeluarkan dan dipindahkan ke talam yang sesuai, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya. Setelah itu, saringan dibersihkan menggunakan sikat untuk saringan dengan bukaan besar dan kuas untuk saringan dengan bukaan kecil atau halus.

c. Kandungan Lumpur (Lolos saringan #200)

Langkah-langkah pengujian Kandungan Lumpur (Lolos saringan #200) adalah sebagai berikut.

1). Benda uji yang dipakai dalam keadaan kering oven.

2). Benda uji ditempatkan di dalam saringan, kemudian dialiri air di bagian atasnya.

3). Benda uji di dalam saringan digerakkan dengan aliran air yang cukup deras hingga partikel halus lolos melalui saringan No. 200, sedangkan partikel kasar tertahan.
4). Pekerjaan tersebut diulangi hingga air pencucian bersih.
5). Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu (110±5)°C hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.

d. Berat Jenis Agregat Kasar

Langkah-langkah pengujian Kandungan Lumpur (Lolos saringan #200) adalah sebagai berikut.

1). Benda uji disiapkan berupa agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) dengan massa sebesar 5000 gram.
2). Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu serta kotoran lain yang melekat pada permukaannya.
3). Benda uji dikeringkan di dalam oven di suhu (110±5)°C sampai berat tetap.
4). Benda uji dikeluarkan dan didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 1 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
5). Benda uji direndam di air pada suhu kamar selama (24±4) jam.
6). Benda uji dikeluarkan dari air, kemudian dilap menggunakan kain penyerap hingga lapisan air pada permukaannya hilang. Untuk agregat berukuran besar, pengelapan dilakukan satu per satu.
7). Setelah benda uji mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD), selanjutnya dilakukan penimbangan dan dicatat sebagai berat jenuh kering permukaan (B_j).
8). Benda uji ditempatkan di dalam keranjang air, kemudian digoyangkan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan ditentukan beratnya di dalam air sebagai B_a. Selanjutnya, suhu air diukur untuk keperluan penyesuaian perhitungan terhadap suhu standar 25 °C.
9). Benda uji ditempatkan pada talam dan selanjutnya dimasukkan ke dalam oven. Pengeringan dilakukan pada suhu (110±5)°C selama

(24±4) jam, kemudian benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram dan dicatat sebagai B_k.

e. Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Langkah-langkah pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar adalah sebagai berikut.

1). Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu (110±5)°C hingga mencapai berat konstan.

2). Benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 1 jam.

3). Setelah benda uji kering, dikeluarkan dari oven dan ditimbang dengan massa sebesar 5000 gram.

4). Setelah benda uji kering, dikeluarkan dari oven dan ditimbang dengan massa sebesar 5000 gram.

5). Benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan dikeluarkan dan dipindahkan ke talam yang sesuai, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya. Selanjutnya, saringan dibersihkan menggunakan sikat untuk saringan dengan bukaan besar dan kuas untuk saringan dengan bukaan kecil atau halus.

f. Berat Volume Agregat Halus dan Agregat Kasar

Langkah-langkah pengujian Berat Volume Agregat Halus dan Agregat Kasar adalah sebagai berikut.

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

2). Silinder ukur diletakkan pada permukaan yang datar. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam cetakan silinder hingga terisi penuh tanpa dilakukan pemadatan. Sementara itu, untuk pengujian berat volume padat, benda uji dimasukkan ke dalam cetakan silinder secara bertahap per 1/3 bagian dan setiap lapisan dipadatkan dengan 25 kali tumbukan hingga silinder terisi penuh.

3). Silinder yang telah terisi benda uji, baik agregat halus maupun agregat kasar, ditimbang dan beratnya dicatat.

4). Hitung volume dari cetakan silinder.

4.6.2 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Perencanaan campuran beton (mix design) dalam penelitian ini mengacu pada SNI 2834-2000. Pembuatan benda uji dilakukan setelah komposisi campuran ditetapkan, dengan menggunakan alat dan bahan dalam kondisi baik. Tahapan perhitungan campuran beton meliputi langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai deviasi standar (ds)

   Nilai deviasi standar ditentukan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pada pelaksanaan pencampuran beton segar, di mana mutu pelaksanaan yang semakin baik akan menghasilkan nilai deviasi standar yang semakin kecil. Apabila jumlah data hasil pengujian kurang dari 30, maka nilai deviasi standar perlu dikoreksi dengan menggunakan faktor pengali sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4 1. Faktor Pengali Deviasi Standar

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

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

   $M = 1{,}64 \times sd \times k$

   Keterangan :

   M= Nilai tambah

   1,64 = Tetapan stastistik yang nilainya bergantung pada besarnya presentase kegagalan maksimum 5%

   k = Faktor pengali deviasi standar, yang didapat dari Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4 5. Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

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

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

   Penentuan nilai kuat tekan beton rencana dilakukan sesuai dengan ketentuan pada rencana struktur dan kondisi lokasi setempat. Nilai kuat tekan beton rencana ditetapkan dengan mempertimbangkan kemungkinan hasil pengujian yang lebih rendah sebesar 5%. Selanjutnya, nilai kuat tekan beton rata-rata rencana ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

   f'cr = f'c + M

   Keterangan :

   f'cr = Nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan (MPa)

   f'c = Nilai kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

   M = Nilai tambah, margin (MPa)
4. Menetapkan jenis semen dan agregat yang akan dipakai.
5. Menetapkan nilai faktor air semen (FAS)
6. Menetapkan nilai slump

   Nilai slump digunakan untuk menunjukkan tingkat kekentalan beton segar. Tingkat kekentalan ini berkaitan erat dengan kemudahan pengerjaan beton (workability). Semakin besar nilai slump, maka campuran beton semakin encer sehingga proses pengerjaannya menjadi lebih mudah.
7. Menetapkan ukuran maksimum dari agregat yang digunakan.
8. Menetapkan kadaar air bebas (Ks)

   Kadar air bebas pada agregat campuran, yang terdiri atas agregat tak dipecahkan dan agregat dipecahkan, dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

   Kadar air bebas= $\frac{2}{3} \times \mathrm{Wh} + \frac{1}{3} \times \mathrm{Wk}$

   Keterangan :

   Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

9. Menghitung berat jenis relatif agregat

   Perhitungan berat relatif agregat didasarkan pada data hasil pengujian yang diperoleh di laboratorium. Rumus yang digunakan untuk menentukan berat jenis agregat disajikan sebagai berikut.

   BJAG = (%AH×BJAH) + (%AK×BJAK)

   Keterangan:

   BJAG = Berat jenis agregat gabungan

   BJAH = Berat jenis agreagt halus

   BJAK = Berat jenis agreagt kasar

   %AH = Presentase agreagat halus (%)

   %AK = Presentase agreagaat kasar (%)

10. Menetapkan nilai berat isi beton berdasarkan Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah Yang Sudah Padat.

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

    Kag = Wbeton – Ks – Ka

    Keterangan :

    Kag= Kadar agregat gabungan

    Wbeton= Berat isi beton

    Ks= Kadar semen

    Ka= Kadar air

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

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

    Keterangan :

    Kah = Kadar agregat halus

    %AH= Presentase agregat halus

    Kag = Kadar agregat gabungan

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

Kak = $Kag - Kah$

Keterangan :

Kak = Kadar agregat kasar

Kag = Kadar agregat gabungan

Kah = Kadar agregat halus

14. Menghitung angka penyusutan sekitar 10% - 20%
15. Perhitungan dilakukan untuk menentukan berat masing-masing bahan pada setiap variasi campuran beton.
16. Melakukan rekapitulasi data hasil penelitian yang diperoleh dari perencanaan campuran beton (mix design).

4.6.3 Proses Pembuatan Benda **Uji**

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Tahapan pembuatan benda uji dalam penelitian ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perhitungan kebutuhan mix design dilakukan untuk memperoleh komposisi campuran beton yang tepat dan sesuai dengan perencanaan.
2. Seluruh bahan penyusun campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen, agregat kasar, agregat halus, air, serta bahan tambah berupa abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa dengan variasi panjang 2-5 cm dipersiapkan terlebih dahulu..
3. Molen (mixer) dan talam baja sebagai alat bantu pencampuran agregat dipersiapkan terlebih dahulu. Sebelum digunakan, seluruh peralatan dibasahi dan dibersihkan untuk memastikan tidak dalam kondisi kering, sehingga tidak menyerap sebagian air dari campuran beton.
4. Selanjutnya, mesin molen (mixer) dioperasikan dengan posisi kemiringan sekitar 45° untuk menghasilkan campuran beton yang homogen serta mencegah terjadinya penggumpalan adukan.
5. Agregat kasar dimasukkan terlebih dahulu ke dalam mesin mixer, kemudian sebagian agregat halus ditambahkan dan dibiarkan hingga campuran tercampur secara merata.

6. Semen dimasukkan secara perlahan.
7. Abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa dimasukkan secara kontinu ke dalam mixer sesuai dengan presentase yang telah direncanakan.
8. Setelah agregat, semen, dan serat serabut kelapa tercampur secara merata, air ditambahkan ke dalam molen secara bertahap sesuai kebutuhan dengan menggunakan gelas ukur.
9. Setelah campuran beton tercampur secara homogen, sebagian adukan dituangkan ke dalam talam baja untuk dilakukan pengujian slump. Pengujian slump ini bertujuan untuk mengetahui nilai slump beton sebelum penambahan bahan tambah berupa serat serabut kelapa.
10. Uji slump dilakukan menggunakan kerucut Abrams dengan pengisian adukan beton sebanyak tiga lapis, masing-masing dipadatkan 25 kali. Setelah permukaan diratakan dan didiamkan ±30 detik, kerucut diangkat secara vertikal, kemudian nilai slump ditentukan dari selisih tinggi cetakan dengan tinggi adukan beton.
11. Cetakan benda uji, baik berbentuk silinder maupun balok, dipersiapkan terlebih dahulu dan diolesi oli untuk memudahkan proses pelepasan benda uji setelah beton mengeras.
12. Seluruh adukan beton yang berada di dalam mixer dituangkan ke dalam beberapa ember.
13. Adukan beton yang berada di dalam ember kemudian dituangkan ke dalam cetakan silinder atau balok sesuai kebutuhan. Pengisian dilakukan secara bertahap sebanyak 1/3 bagian cetakan, kemudian dipadatkan dengan 25 kali tumbukan, dan diulangi hingga cetakan terisi penuh. Selanjutnya, cetakan dipukul pada bagian luar sebanyak 10–15 kali menggunakan palu karet untuk mengeluarkan gelembung udara sehingga beton menjadi lebih padat.
14. Setelah dirasa padat, permukaan cetakan diratakan dengan cetok perata.
15. Cetakan yang telah terisi adukan beton ditempatkan pada lokasi yang terlindung dari hujan dan paparan sinar matahari langsung.
16. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian diberikan kode pada benda uji agar benda uji tidak tertukar.

17. Benda uji selanjutnya direndam dalam bak perendaman yang berisi air bersih selama 27 hari.
18. Setelah proses perendaman selesai, benda uji beton dikeringkan selama 1 hari sebelum dilakukan pengujian.
19. Benda uji beton sudah siap untuk diuji.

4.6.4 Proses Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji beton dilakukan untuk menjaga kelembapan permukaan beton agar proses hidrasi semen berlangsung optimal. Perawatan yang baik mencegah penurunan kekuatan, keretakan, serta meningkatkan ketahanan beton terhadap cuaca dan air. Dalam penelitian ini, perawatan dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak berisi air bersih.

Terdapat 3 cara perawatan beton yang umum dilakukan, diantaranya yaitu:

1. Meletakkan beton segar di ruangan yang lembab,
2. Meletakkan beton segar di dalam genangan yang berisi air, dan
3. Menyelimuti permukaan beton dengan karung yang dibasahi dahulu.

Benda uji beton dirawat dengan menjaga kondisi tetap basah atau lembap hingga 1 hari sebelum pengujian, misalnya pada umur 27 hari, untuk mendukung peningkatan kekuatan beton. Ketersediaan air yang cukup selama proses pencampuran dan pengerasan memungkinkan terjadinya hidrasi semen secara optimal. Perawatan yang baik tidak hanya meningkatkan kekuatan beton, tetapi juga memperbaiki keawetan beton terhadap serangan kimia.

4.6.5 Proses Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji menjalani proses perawatan dan mencapai umur rencana, benda uji siap untuk dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan kuat lentur, dengan prosedur pelaksanaan sebagaimana dijelaskan pada uraian berikut.

1. Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

   Tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

a. Benda uji yang akan dilakukan pengujian kuat tekan diambil dari bak perendaman 24 jam sebelum pengujian. Selanjutnya, benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel menggunakan kain lap.
b. Benda uji dilakukan pengukuran dan penimbangan.
c. Permukaan atas benda uji berbentuk silinder diberi lapisan perata (capping) menggunakan mortar belerang.
d. Benda uji diletakkan pada mesin Compression Testing Machine (CTM) secara sentris.
e. Mesin uji dioperasikan dengan pemberian beban secara konstan dengan laju pembebanan sekitar 2–4 kg/cm² per detik.
f. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, kemudian nilai beban maksimum yang tercapai dicatat sebagai hasil pengujian.

2. Pengujian Kuat Lentur Benda Uji

Tahapan pelaksanaan pengujian kuat tarik lentur pada benda uji dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

a. Dimensi penampang benda uji diukur dan dicatat menggunakan alat jangka sorong.
b. Benda uji ditimbang dan diukur dimensinya.
c. Garis-garis melintang dibuat sebagai penanda posisi titik perletakan dan titik pembebanan.
    - Untuk sistem pembebanan dua titik, dibuat garis penanda pada jarak 5% dari panjang bentang di luar titik perletakan beban.
    - Untuk sistem pembebanan satu titik, dibuat garis penanda pada jarak 10% dari panjang bentang di luar titik perletakan beban.
d. Blok tumpuan ditempatkan pada bagian bawah meja mesin Universal Testing Machine (UTM) dengan jarak antar tumpuan disesuaikan dengan panjang benda uji.
e. Benda uji ditempatkan di atas dua blok tumpuan dengan posisi sisi yang berada pada bagian samping saat pengecoran.

f. Blok beban ditempatkan pada titik pembebanan pada benda uji sesuai dengan jumlah beban yang diperlukan.
g. Mesin tekan dioperasikan dengan terlebih dahulu mengatur posisi titik pembebanan agar tepat berada di tengah blok beban. Proses pembebanan harus dilakukan secara bertahap dan terkendali untuk menghindari terjadinya beban kejut.
h. Pembebanan dilakukan secara kontinu, dengan laju pembebanan dikendalikan hingga mencapai sekitar ±50% dari perkiraan beban maksimum. Setelah itu, kecepatan pembebanan dapat ditingkatkan dengan laju lebih dari 6 kN per menit
i. Apabila benda uji sudah patah, pembebanan dihentikan dan dicatat hasil beban maksimumnya.
j. Setelah pengujian selesai, benda uji diambil kemudian dilakukan pengukuran dan pencatatan lebar patahan pada penampang melintang dengan ketelitian 0,25 mm pada minimal tiga titik, selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya.
k. Jarak rata-rata penampang melintang patahan terhadap tumpuan terdekat diukur dan dicatat pada empat titik pada sisi tarik sepanjang arah bentang, kemudian dihitung nilai rata-ratanya.
l. Bidang patahan diamati untuk mengetahui pola kerusakan yang terjadi, apakah berupa pecahnya agregat, terlepasnya agregat dari pasta semen, atau kombinasi dari keduanya.

3. Pengujian Kuat Belah Benda Uji

Tahapan pelaksanaan pengujian kuat tarik lentur pada benda uji dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

a. Benda uji silinder dikeluarkan dari bak perendaman, dibersihkan dari kotoran yang menempel, kemudian dibiarkan dalam kondisi permukaan kering jenuh (SSD).
b. Dimensi benda uji diukur dan dicatat untuk memastikan kesesuaian ukuran benda uji dengan perencanaan.

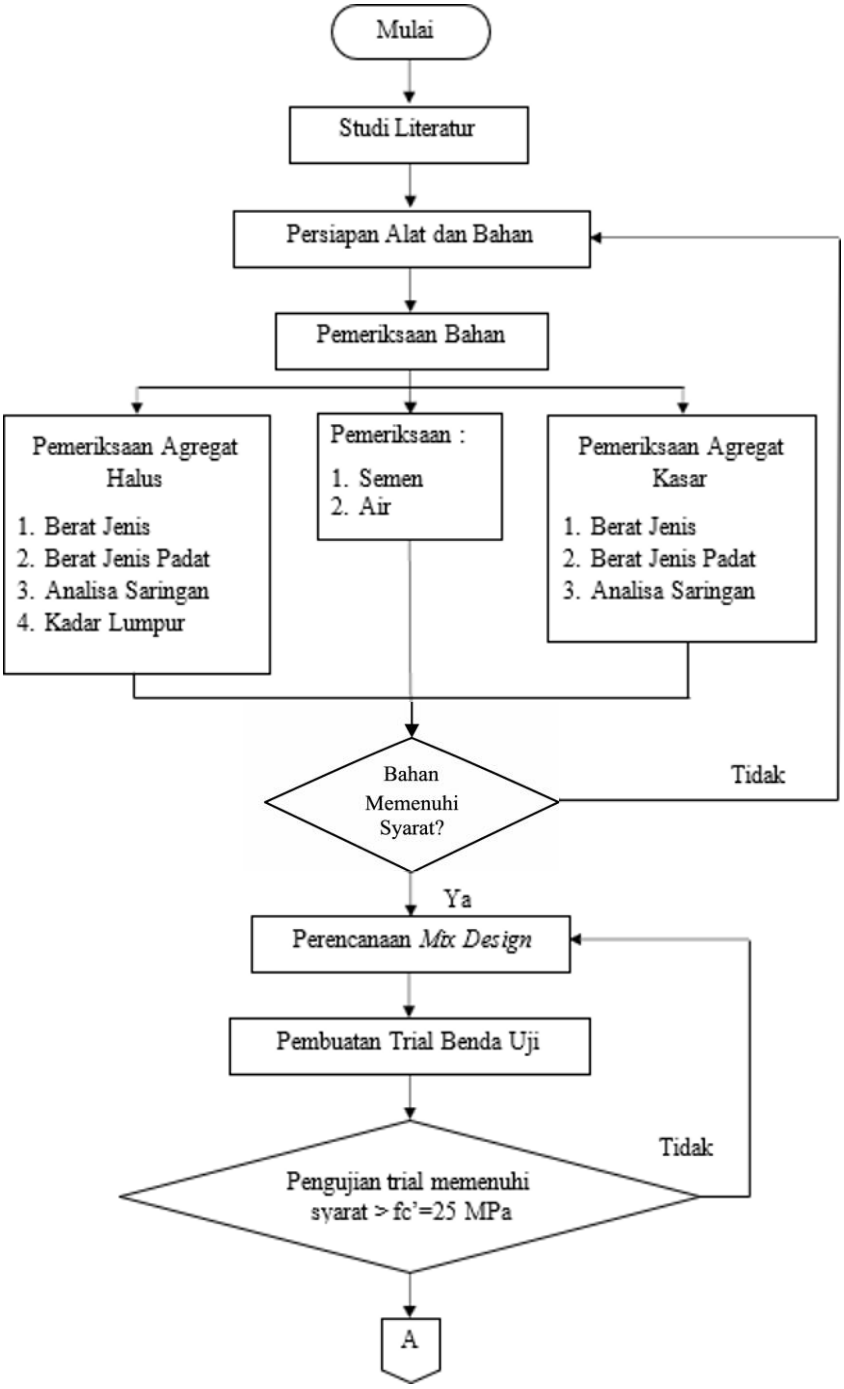
c. Pada kedua sisi sepanjang garis pembebanan dipasang bantalan pembebanan untuk memastikan distribusi beban merata.
d. Benda uji diletakkan secara horizontal pada mesin *Compression Testing Machine* (CTM) dengan posisi garis pembebanan berada tepat di tengah diameter silinder.
e. Mesin uji dijalankan dengan laju pembebanan yang konstan dan merata hingga benda uji mengalami keruntuhan berupa retak memanjang.
f. Beban maksimum yang terjadi pada saat benda uji mengalami keruntuhan dicatat sebagai beban tarik belah maksimum
g. Setelah pengujian selesai, benda uji diambil dan diamati pola retak yang terjadi.

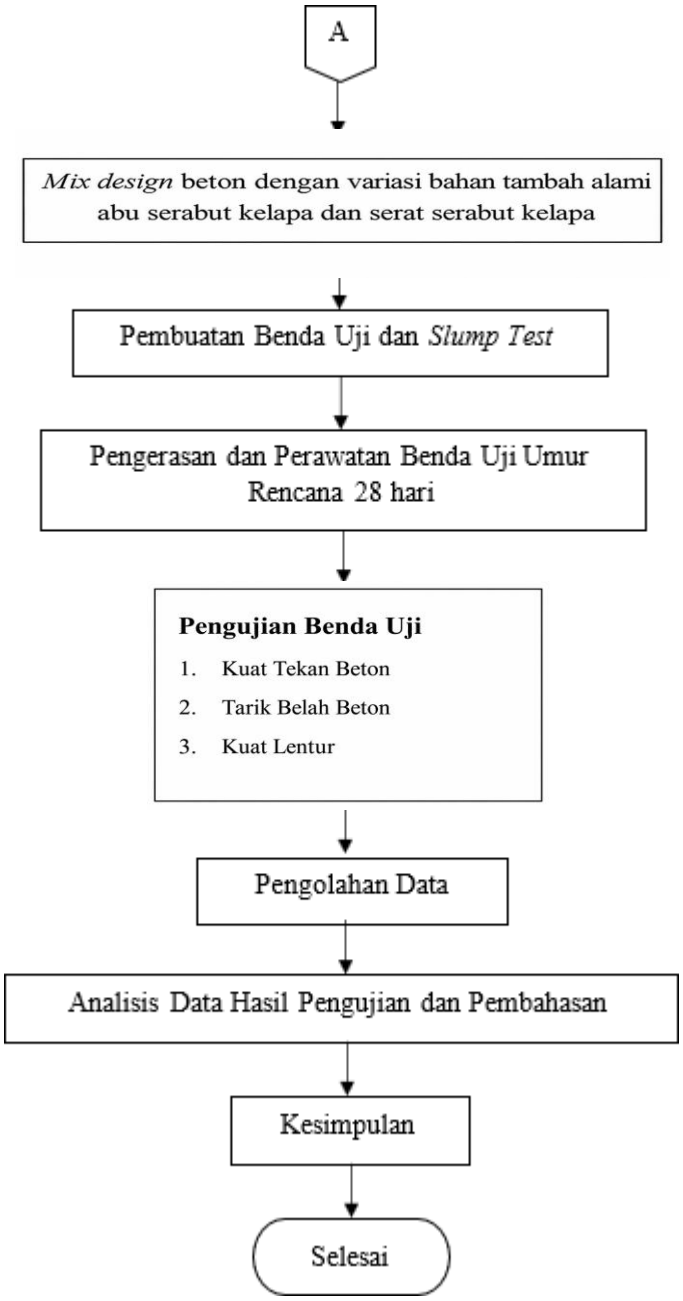
4.7. Pengolahan Data

Data hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis berdasarkan ketentuan standar serta disesuaikan dengan landasan teori yang digunakan, sehingga diperoleh parameter dan hubungan yang bermakna untuk menjelaskan perilaku beton yang diteliti.

4.8. Langkah-langkah Penelitian

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian ini disajikan dalam bentuk flowchart atau bagan alir penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.17.


Mulai
Studi Literatur
Persiapan Alat dan Bahan
Pemeriksaan Bahan
Pemeriksaan Agregat Halus
1. Berat Jenis
2. Berat Jenis Padat
3. Analisa Saringan
4. Kadar Lumpur
Pemeriksaan :
1. Semen
2. Air
Pemeriksaan Agregat Kasar
1. Berat Jenis
2. Berat Jenis Padat
3. Analisa Saringan
Bahan Memenuhi Syarat?
Tidak
Ya
Perencanaan Mix Design
Pembuatan Trial Benda Uji
Pengujian trial memenuhi syarat > fc'=25 MPa
Tidak
A



Gambar 4.17 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Umum

Hasil pengujian dan pembahasan pada penelitian ini disajikan pada bab ini. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian dilakukan untuk memperoleh data karakteristik material penyusun beton, meliputi berat jenis dan penyerapan agregat halus maupun agregat kasar, modulus halus butir agregat, berat isi gembur dan padat agregat, serta kadar lumpur agregat halus. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton dengan penambahan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa sesuai variasi yang telah direncanakan.

5.2. Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Sebelum digunakan dalam perencanaan campuran beton (mix design), agregat harus memenuhi persyaratan sesuai standar yang berlaku agar mutu beton yang dihasilkan sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian agregat pada penelitian ini meliputi pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar.

5.2.1. Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus terdiri dari dari beberapa pengujian yaitu diantaranya adalah pengujian berat jenis, analisis saringan pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus, pengujian lolos saringan no.200 :

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

   Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1970-1990. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis serta kemampuan agregat halus dalam menyerap air sebagai salah satu parameter dalam perencanaan campuran

beton. Adapun contoh perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus untuk sampel 1 disajikan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

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

$= \frac{466}{(715+500-1015)}$

$= 2{,}33$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

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

$= \frac{500}{(715+500-1015)}$

$= 2{,}50$

c. Berat Jenis Semu

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

$= \frac{466}{(715+466-1015)}$

$= 2{,}807$

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} x100\%$

$= \frac{(500-466)}{466} x100\%$

$= 7{,}926\ \%$

Perhitungann berat jenis dan penyerapan air pada sampel 2 dilakukan dengan metode yang serupa seperti sampel 1, kemudian dihitung rata-rata dari kedua sampel tersebut. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 dan sampel 2 disajikan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1. Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Urain	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	466	468	467
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1015	1020	1017,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	715	718	716,5
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,330	2,364	2,347
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,500	2,525	2,513
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,807	2,819	2,813
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100))	7,296	6,838	7,067

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan agregat halus pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1968-1990 dengan berat sampel sebesar 2000 gram. Pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat halus berdasarkan jumlah material yang tertahan pada setiap ukuran saringan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Adapun contoh perhitungan analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 disajikan sebagai berikut.

a. Presentase Berat Tertinggal

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

$$\text{Lubang saringan 4,8 mm} = \frac{5}{2000} \times 100\%$$

$$= 0{,}25\ \%$$

$$\text{Lubang saringan 2,4 mm} = \frac{64}{2000} \times 100\%$$

$$= 3{,}2\ \%$$

Lubang saringan 1,2 mm $= \frac{156}{2000} \times 100\%$

$= 7{,}8\ \%$

Lubang saringan 0,6 mm $= \frac{111}{2000} \times 100\%$

$= 5{,}55\ \%$

Lubang saringan 0,3 mm $= \frac{631}{2000} \times 100\%$

$= 31{,}55\ \%$

Lubang saringan 0,15 mm $= \frac{848}{2000} \times 100\%$

$= 42{,}40\ \%$

Sisa di pan $= \frac{185}{2000} \times 100\%$

$= 9{,}25\ \%$

b. Presentase Berat Tertinggal Komulatif

Lubang saringan 4,8 mm $= 0{,}25\ \%$

Lubang saringan 2,4 mm $= 0{,}25\ \% + 3{,}20\ \%$

$= 3{,}45\ \%$

Lubang saringan 1,2 mm $= 3{,}45\ \% + 7{,}80\ \%$

$= 11{,}25\ \%$

Lubang saringan 0,6 mm $= 11{,}25\ \% + 5{,}55\ \%$

$= 16{,}8\ \%$

Lubang saringan 0,3 mm $= 16{,}8\ \% + 31{,}55\ \%$

$= 48{,}35\ \%$

Lubang saringan 0,15 mm $= 48{,}35\ \% + 42{,}40\ \%$

$= 90{,}75\ \%$

Sisan di pan $= 90{,}75\ \% + 9{,}25\ \%$

$= 100\ \%$

c. Presentase Lolos Komulatif

Lubang saringan 4,8 mm $= 100\ \% - 0{,}25\ \%$

$= 99{,}75\ \%$

Lubang saringan 2,4 mm $= 100\ \% - 3{,}45\ \%$

$= 96{,}55\ \%$

Lubang saringan 1,2 mm $= 100\ \% - 11{,}25\ \%$

$= 88{,}75\ \%$

Lubang saringan 0,6 mm $= 100\ \% - 16{,}80\ \%$

$= 83{,}20\ \%$

Lubang saringan 0,3 mm $= 100\ \% - 48{,}35\ \%$

$= 51{,}65\ \%$

Lubang saringan 0,15 mm $= 100\ \% - 90{,}75\ \%$

$= 9{,}25\ \%$

Sisa di pan $= 100\ \% - 100\ \%$

$= 0\ \%$

Dengan tahapan perhitungan yang sama seperti sebelumnya, dilakukan pengolahan data untuk memperoleh hasil analisis saringan agregat halus pada sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif(%)	Persen Lolos Kumulatif(%)
4,8	5	0,25	0,25	99,75
2,4	64	3,20	3,45	96,55
1,2	156	7,80	11,25	88,75
0,6	111	5,55	16,80	83,20
0,3	631	31,55	48,35	51,65
0,15	848	42,40	90,75	9,25
Pan	185	9,25	100	0
Jumlah	2000	100	270,85	429,15

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif(%)	Persen Lolos Kumulatif(%)
4,8	14	0,70	0,70	99,30
2,4	116	5,80	6,50	93,50
1,2	165	8,25	14,75	85,25
0,6	77	3,85	18,60	81,40
0,3	692	34,60	53,20	46,80
0,15	780	39,00	92,20	7,80
Pan	156	7,80	100	0
Jumlah	2000	100	285,95	414,05

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

d. Modulus Halus Butir Agregat Halus (MHB)

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

$$\text{MHB Sampel 1} = \frac{270{,}85}{100}$$

$$= 2{,}709\ \%$$

$$\text{MHB Sampel 2} = \frac{285{,}95}{100}$$

$$= 2{,}86\ \%$$

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{270{,}85+285{,}95}{2}$$

$$= 2{,}784$$

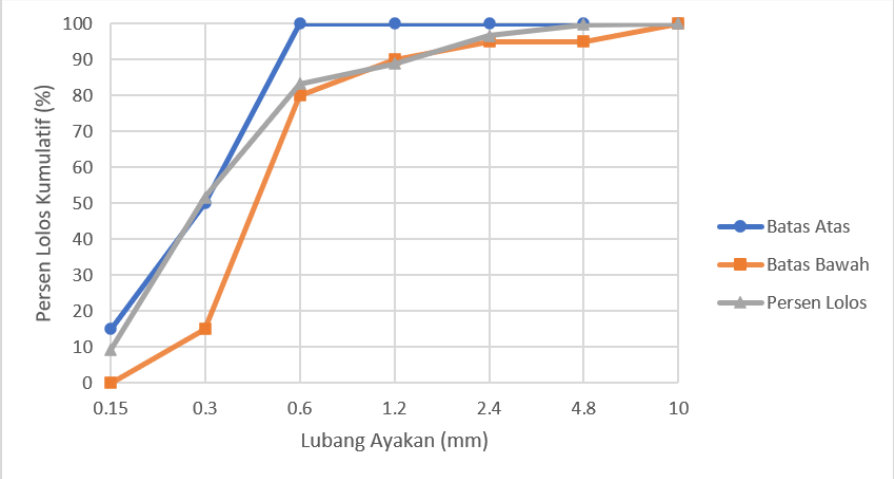
Dari pengujian yang telah dilakukan pada sampel 1 dan sampel 2 maka didapatkan nilai MHB rata-rata sebesar 2,784 % yang masih berada dalam rentang yang diizinkan menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu antara 1,5%-3,8%. Hasil analisis saringan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan gradasi agregat halus berdasarkan tabel gradasi agregat halus.

Berdasarkan hasil pengujian, pasir yang digunakan termasuk ke dalam Daerah IV yang tergolong sebagai pasir halus. Data gradasi agregat halus tersebut kemudian disajikan dalam bentuk kurva gradasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Terdapat titik yang keluar dari batas karena hasil tersebut hasil murni dari pengujian dan merupakan hasil terbaik dari semua gradasi.

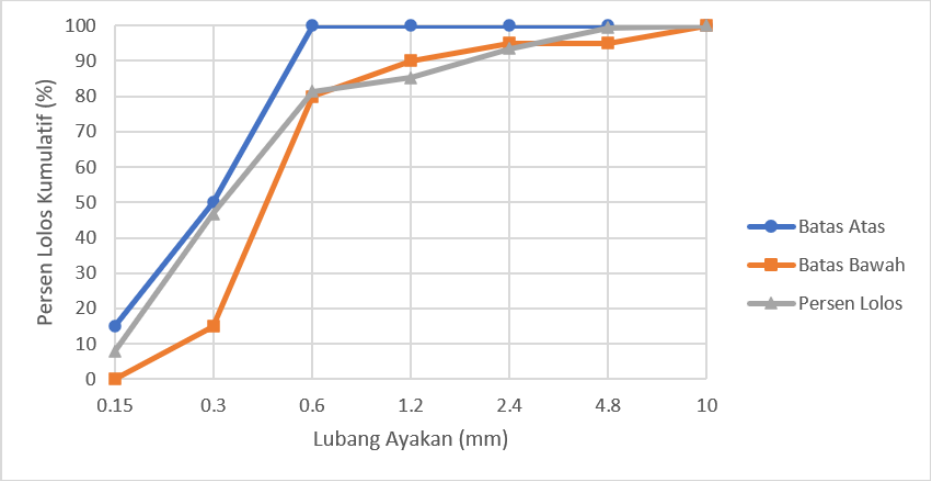
Tabel 5. 4. Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	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: SNI 2834-2000



Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus pada penelitian ini meliputi pemeriksaan berat volume gembur dan berat volume padat yang mengacu pada SNI 03-4804-1998. Pengujian dilakukan untuk mengetahui berat isi agregat halus dalam kondisi lepas maupun padat sebagai salah satu parameter dalam perencanaan campuran beton. Adapun contoh perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus pada sampel 1 disajikan sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

Berat Agregat (W3) $= W2 - W1$

$= 17402 - 10795$

$= 6607$

Volume Tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi x 15^2 x 30$

$= 5301{,}438\ cm^3$

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

$= \frac{6607}{5301{,}438}$

$= 1{,}246\ \text{gram}/cm^3$

b. Berat Volume Padat

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

$= 18826 - 18815$

$= 8031$ gram

Volume Tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi x 15^2 x 30$

$= 5301{,}438\ cm^3$

Berat Volume Padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8031}{5301{,}438}$

$= 1{,}515$ gram/cm^3

Dengan cara yang sama seperti pada sampel 1, perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat juga dilakukan pada sampel 2. Hasil perhitungan dari kedua sampel kemudian direkapitulasi untuk memperoleh nilai rata-rata berat volume agregat halus. Rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 5. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17402	17412	17407
Berat agregat (W3), gram	6607	6617	6612
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,246	1,248	1,2472

Tabel 5. 6. Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18826	18815	18820,5
Berat agregat (W3), gram	8031	8020	8025,5
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume padat (W3/V), gram/cm3	1,515	1,513	1,514

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus sebesar 1,2472 g/cm³ dan berat volume padat agregat halus sebesar 1,514 g/cm³. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan berat volume agregat normal. Menurut Tjokrodimuljo (1996), berat volume agregat umumnya berada pada rentang 1,20–1,60 g/cm³. Dengan demikian, hasil pengujian yang diperoleh masih berada dalam batas yang diizinkan sehingga agregat halus tersebut layak digunakan sebagai material penyusun campuran beton.

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

Pengujian material yang lolos saringan No. 200, atau yang dikenal sebagai pengujian kadar lumpur pada agregat halus, dilakukan mengacu pada SNI 03-4142-1996. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan material halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dalam agregat halus, karena keberadaannya dapat memengaruhi kualitas dan kekuatan beton. Adapun contoh perhitungan kadar lumpur pada agregat halus untuk sampel 1 disajikan sebagai berikut.

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

$= \frac{500-484}{500} \times 100\%$

$= 3{,}2\ \%$

Dengan prosedur perhitungan yang sama seperti pada sampel 1, kadar lumpur pada agregat halus untuk sampel 2 juga dihitung untuk memperoleh nilai persentase material yang lolos saringan No. 200. Selanjutnya, hasil pengujian dari kedua sampel direkapitulasi dan dihitung nilai rata-ratanya. Rekapitulasi hasil pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7. Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	484	472	478
Presentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2/W1]x100	3,2	5,6	4,4

Berdasarkan hasil pengujian material yang lolos saringan No. 200, diperoleh rata-rata kadar lumpur pada agregat halus sebesar 4,4 %. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu sebesar 5%. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan kualitas dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton karena kandungan lumpurnya tidak melebihi batas yang ditentukan.

5.2.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian analisa saringan agregat kasar, dan pengujian berat volume agregat kasar. Berikut adalah hasil dari pengujian agregat kasar.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

   Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1969-1990. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis agregat kasar serta kemampuan agregat dalam

menyerap air, yang merupakan parameter penting dalam perencanaan campuran beton. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar disajikan pada Tabel 5.8. Adapun contoh perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 1 dijelaskan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{(Bj-Ba} = \frac{4850}{(5000-3079} = 2{,}525$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{Bj}{(Bj-Ba)} = \frac{5000}{(5000-3079)} = 2{,}603$$

c. Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk-Ba)} = \frac{4850}{(4850-3079)} = 2{,}739$$

d. Penyerapan Air

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% = \frac{(5000-4850)}{4850} \times 100\% = 3{,}093\ \%$$

Dengan langkah perhitungan yang sama seperti pada sampel 1, nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 2 juga dihitung. Selanjutnya, hasil pengujian dari kedua sampel direkapitulasi dan dihitung nilai rata-ratanya untuk memperoleh karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam penelitian.

Rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4850	4836	4843
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3079	3079	3079
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,525	2,517	2,521
Berat jenis kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,603	2,603	2,603
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,739	2,752	2,745
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100))	3,093	3,391	3,242

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis kering muka jenuh (SSD) agregat kasar rata-rata sebesar 2,603. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan termasuk dalam kategori agregat normal dan telah memenuhi persyaratan yang direkomendasikan. Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat normal umumnya memiliki nilai berat jenis berkisar antara 2,5 hingga 2,7. Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dinilai layak sebagai material penyusun campuran beton karena masih berada dalam rentang yang disyaratkan.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

   Pengujian analisis saringan agregat kasar pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1968-1990 dengan berat sampel sebesar 5000 gram. Pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat kasar berdasarkan jumlah material yang tertahan pada setiap ukuran saringan. Data hasil pengujian berupa berat tertahan pada masing-masing saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel

5.10. Adapun contoh perhitungan analisis saringan agregat kasar untuk sampel 1 disajikan sebagai berikut.

a. Presentase Berat Tertinggal

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

Lubang saringan 40 mm $= \frac{0}{5000} \times 100\%$

$= 0\%$

Lubang saringan 20 mm $= \frac{463}{5000} \times 100\%$

$= 9{,}26\%$

Lubang saringan 10 mm $= \frac{2950}{5000} \times 100\%$

$= 59\%$

Lubang saringan 4,8 mm $= \frac{83}{5000} \times 100\%$

$= 1{,}66\%$

Lubang saringan 2,4 mm $= \frac{1411}{5000} \times 100\%$

$= 28{,}22\%$

Lubang saringan 1,2 mm $= \frac{19}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}38\%$

Pan $= \frac{74}{5000} \times 100\%$

$= 1{,}48\%$

b. Presentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang saringan 40 mm $= 0\%$

Lubang saringan 20 mm $= 0\% + 9{,}26\%$

$= 9{,}26\%$

Lubang saringan 10 mm $= 9{,}26\% + 59\%$

$= 68{,}26\%$

Lubang saringan 4,8 mm $= 68{,}26\% + 1{,}66\%$

$= 69{,}92\%$

Lubang saringan 2,4 mm $= 69{,}92\% + 28{,}22\%$
$= 98{,}14\%$
Lubang saringan 1,2 mm $= 98{,}14\% + 0{,}38\%$
$= 98{,}52\%$
Pan $= 98{,}52\% + 1{,}48\%$
$= 100\%$

c. Presentase Lolos Kumulatif

Lubang saringan 40 mm $= 100\% + 0\%$
$= 100\%$
Lubang saringan 20 mm $= 100\% + 9{,}26\%$
$= 90{,}74\%$
Lubang saringan 10 mm $= 100\% + 68{,}26\%$
$= 31{,}74\%$
Lubang saringan 4,8 mm $= 100\% + 69{,}92\%$
$= 30{,}08\%$
Lubang saringan 2,4 mm $= 100\% + 98{,}14\%$
$= 1{,}86\%$
Lubang saringan 1,2 mm $= 100\% + 98{,}52\%$
$= 1{,}48\%$
Pan $= 100\% + 100\%$
$= 0\%$

Dengan prosedur perhitungan yang sama seperti pada sampel 1, analisis saringan agregat kasar juga dilakukan pada sampel 2. Hasil pengujian dari kedua sampel kemudian direkapitulasi untuk memperoleh distribusi ukuran butiran agregat kasar yang digunakan dalam penelitian. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar untuk sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 9. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	463	9.26	9.26	90.74
10	2950	59	68.26	31.74
4,8	83	1.66	69.92	30.08
2,4	1411	28.22	98.14	1.86
1,2	19	0.38	98.52	1.48
0,6	0	0	98.52	1.48
0,3	0	0	98.52	1.48
0,15	0	0	98.52	1.48
Pan	74	1.48	100	0
Jumlah	5000	100	740	260

Tabel 5. 10. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3950	79	79	21
4,8	951	19.02	98.02	1.98
2,4	32	0.64	98.66	1.34
1,2	2	0.04	98.7	1.3
0,6	0	0	98.7	1.3
0,3	0	0	98.7	1.3
0,15	0	0	98.7	1.3
Pan	65	1.3	100	0
Jumlah	5000	100	670,48	229,52

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar di atas dapat ditentukan nilai modus halus butir agregat kasar sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir Agregat Kasar (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase Agregat\ Kasar}{100}$$

$$\text{MHB Sampel 1} = \frac{739{,}66}{100}$$

$$= 7{,}397$$

$$\text{MHB Sampel 2} = \frac{712{,}20}{100}$$

$$= 7{,}122$$

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{7{,}397+7{,}122}{2}$$

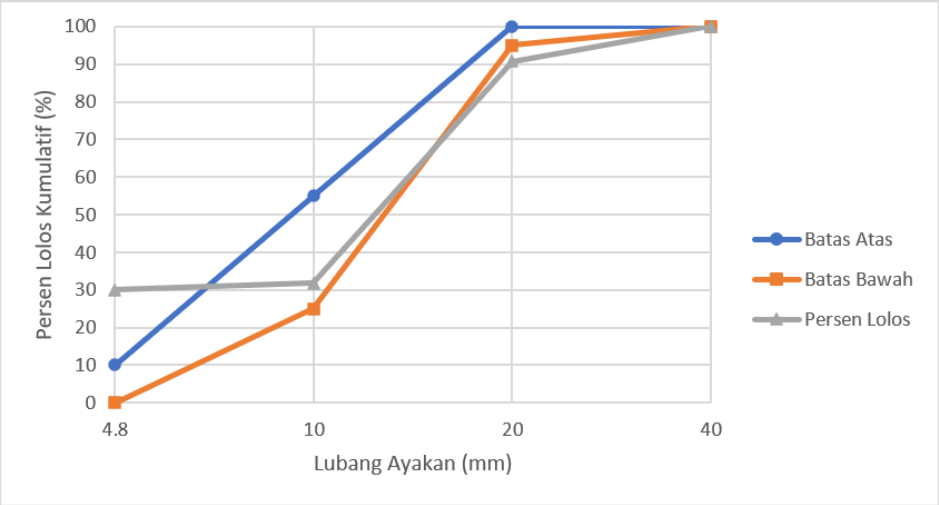
$$= 7{,}295$$

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat kasar yang diperoleh masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan, yaitu antara 5 - 8, sehingga agregat kasar yang digunakan dinyatakan memenuhi syarat. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi dan ukuran maksimum agregat kasar sebagaimana disajikan pada Tabel 5.11. Berdasarkan data gradasi tersebut, selanjutnya dibuat kurva gradasi agregat kasar untuk menggambarkan distribusi ukuran butiran agregat yang digunakan dalam penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4. Terdapat titik yang keluar dari batas karena hasil tersebut hasil murni dari pengujian dan merupakan hasil terbaik dari semua gradasi.

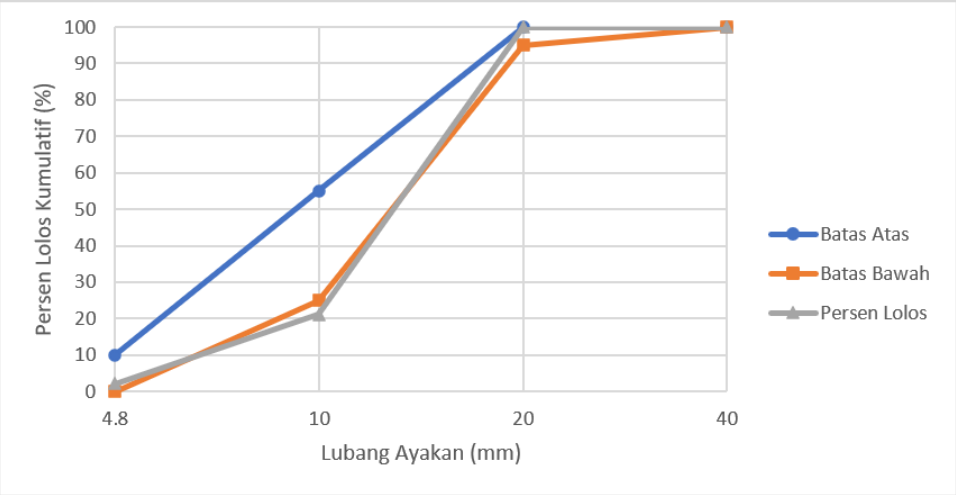
Tabel 5. 11. Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	**Persen Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum**	
	40 mm	**20 mm**
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 5. 3.Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

Berdasarkan kurva gradasi agregat kasar di atas, ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume agregat kasar meliputi pemeriksaan berat volume gembur dan berat volume padat yang dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat kasar

dalam kondisi lepas maupun padat sebagai salah satu parameter yang diperlukan dalam perencanaan campuran beton. Adapun contoh perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar untuk sampel 1 disajikan sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

Berat Agregat (W3) $= W2 - W1$

$= 18182 - 10795$

$= 7387$ gram

Volume Tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi$ x 15^2 x 30

$= 5301{,}438$ cm^3

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

$= \frac{7387}{5301{,}438}$

$= 1{,}393$ gram/cm^3

b. Berat Volume Padat

Berat Agregat (W3) $= W2 - W1$

$= 18826 - 10795$

$= 8031$ gram

Volume Tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi$ x 15^2 x 30

$= 5301{,}438$ cm^3

Berat Volume Padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8031}{5301{,}438}$

$= 1{,}515$ gram/cm^3

Pengujian berat volume agregat kasar pada sampel 2 dilakukan dengan tahapan yang sama seperti pengujian pada sampel 1. Nilai berat volume gembur dan berat volume padat yang diperoleh selanjutnya direkapitulasi

dan dihitung nilai rata-ratanya sebagai representasi karakteristik agregat kasar yang digunakan. Hasil rekapitulasi pengujian berat volume agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13.

Tabel 5. 12. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18182	18194	18188
Berat agregat (W3), gram	7387	7399	7393
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,393	1,396	1,394

Tabel 5. 13. Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18826	18815	18820,5
Berat agregat (W3), gram	8031	8020	8025,5
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,515	1,513	1,514

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,394 g/cm³ dan berat volume padat agregat kasar sebesar 1,514 g/cm³. Nilai tersebut masih berada dalam rentang berat volume agregat normal yang dikemukakan oleh Tjokrodimuljo (1996), yaitu antara 1,20–1,60 g/cm³. Dengan demikian, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian

ini memenuhi persyaratan dan layak digunakan sebagai material penyusun campuran beton.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Setelah seluruh pengujian material selesai dilakukan, data yang diperoleh digunakan untuk menyusun rancangan campuran beton (*mix design*). Perhitungan komposisi campuran mengacu pada SNI 03-2834-2000 dan didasarkan pada karakteristik material hasil pengujian. Rancangan campuran ini bertujuan untuk menentukan proporsi setiap bahan penyusun beton agar memenuhi mutu yang telah ditetapkan. Proses perhitungannya disajikan pada uraian berikut.

1. Menentukan nilai kuat tekan rencana (f’c) sebesar 25 Mpa.
2. Menghitung Nilai Tambah

   Jumlah benda uji yang digunakan pada setiap variasi campuran dalam penelitian ini masing-masing variasi berada di bawah 15 buah. Berdasarkan kondisi tersebut, nilai margin (M) yang digunakan dalam perancangan campuran beton ditetapkan sebesar 12 MPa. Penetapan nilai tersebut mengacu pada ketentuan perencanaan campuran beton yang menyatakan bahwa apabila tidak tersedia data hasil pengujian mutu beton sebelumnya, maka nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'cr) harus memenuhi syarat minimum sebesar f'c + 12 MPa. Oleh karena itu, nilai margin yang digunakan pada penelitian ini telah sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Kuat tekan rata-rata rencana (f’cr)

   $f'\text{cr} = f'c + \text{M}$

   $= (25 + 12)$

   $= 37$
4. Semen yang dipakai adalah semen portland (PCC) yang masuk kedalam kategori tipe I. merk Dynamix
5. Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar, didapatkan berat jenis agregat halus sebesar 2,813 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,745.

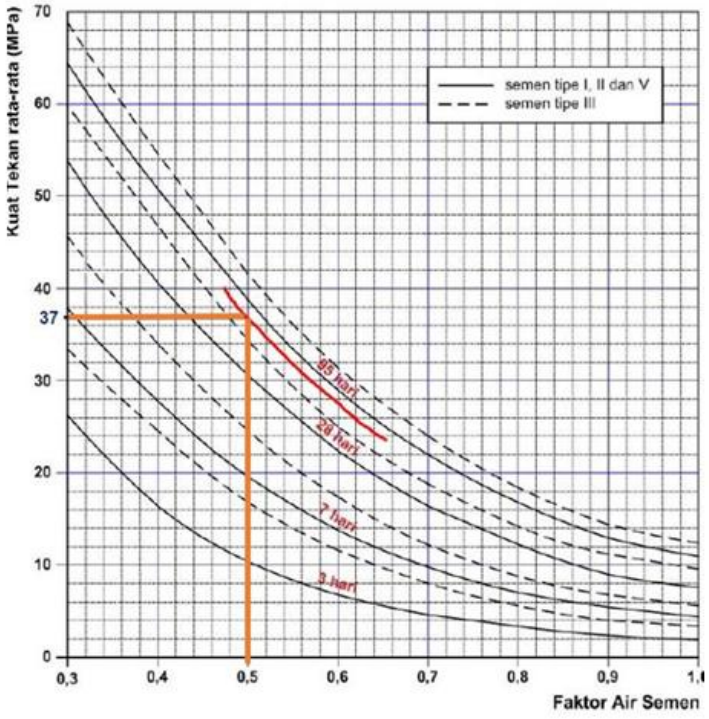
6. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agreagat halus, susunan butir agregat halus masuk kedalam gradasi daerah IV.
7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS)

   Nilai faktor air semen (FAS) ditentukan berdasarkan Tabel 5.14 dan Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5. 14. Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS = 0,5.

Jenis semen … …	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen Portland Tipe 1	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 2834-2000)



Gambar 5. 5 Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS)

a. Penelitian ini menggunakan semen tipe I dan jenis agregat yaitu batu pecah dengan umur benda uji 28 hari. Berdasarkan Tbael 5.14 perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 yaitu sebesar 37 Mpa
b. Selanjutnya dengan Gambar 5.5, buat garis vertikal ke atas dari nilai FAS 0,5 dan garis horizontal dari kuat tekan 37 MPa ke kanan hingga bersinggungan dengan garis vertikal sebelumnya.
c. Kemudian dibuat kurva baru seperti pada Gambar 5.5 yang memotong titik singgung pada butir b.
d. Tarik garis horizontal dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebesar 37 MPa ke kanan hingga menyentuh kurva baru.
e. Tarik garis vertikal dari titik singgung horizontal pada butir d ke arah bawah, sehingga didapat nilai FAS 0,5.

8. Menentukan kadar air yang diperlukan.
   a. Ukuran maksimum butir agregat kasar yaitu 20 mm yang diperoleh dari hasil uji analisis saringan agregat kasar.
   b. Jenis batuan atau agregat terdiri dari agregat halus (batu yang tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
   c. Nilai slump yang direncanakan adalah 10±2 cm, sehingga masuk pada rentang slump 60-180 mm.
   d. Kadar air yang diperlukan dalam campuran beton ini ditentukan berdasarkan Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 15. Perkiraan Kadar Air per-Perkiraan Kadar Air per-meter kubik Beton

Ukuran maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
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

e. Perhitungan kadar air yang diperlukan

$$W = \frac{2}{3}Wh + \frac{2}{3}Wk$$
$$= \frac{2}{3}195 + \frac{2}{3}225$$
$$= 205\ kg/m^3$$

9. Menentukan jumlah semen minimum dan FAS maksimum.

Jumlah semen minimum dan FAS maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5. 16. Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen minimum per-m³ beton (kg)	Nilai fas maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		tabel 6

(Sumber: SNI 2834-2000)

Beton yang direncanakan dalam penelitian ini digunakan untuk kondisi lingkungan dalam ruangan yang tidak terpapar zat-zat bersifat korosif. Berdasarkan ketentuan yang tercantum pada tabel acuan perancangan campuran beton, diperoleh kebutuhan jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m³ dan nilai faktor air semen (FAS) maksimum sebesar 0,60. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan komposisi campuran beton agar memenuhi persyaratan mutu dan ketahanan yang telah ditetapkan.

10. Menentukan kada semen yang digunakan

    a. Berdasarkan hasil pembacaan grafik perencanaan campuran beton, diperoleh nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,5. Sementara itu, berdasarkan persyaratan jenis dan kondisi penggunaan beton, nilai FAS maksimum yang diizinkan adalah 0,60. Dalam perancangan campuran beton, nilai yang digunakan harus memenuhi batas maksimum yang ditetapkan. Oleh karena itu, dipilih nilai FAS sebesar 0,5 karena merupakan nilai yang lebih kecil dan telah memenuhi ketentuan yang berlaku.

    b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut.

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

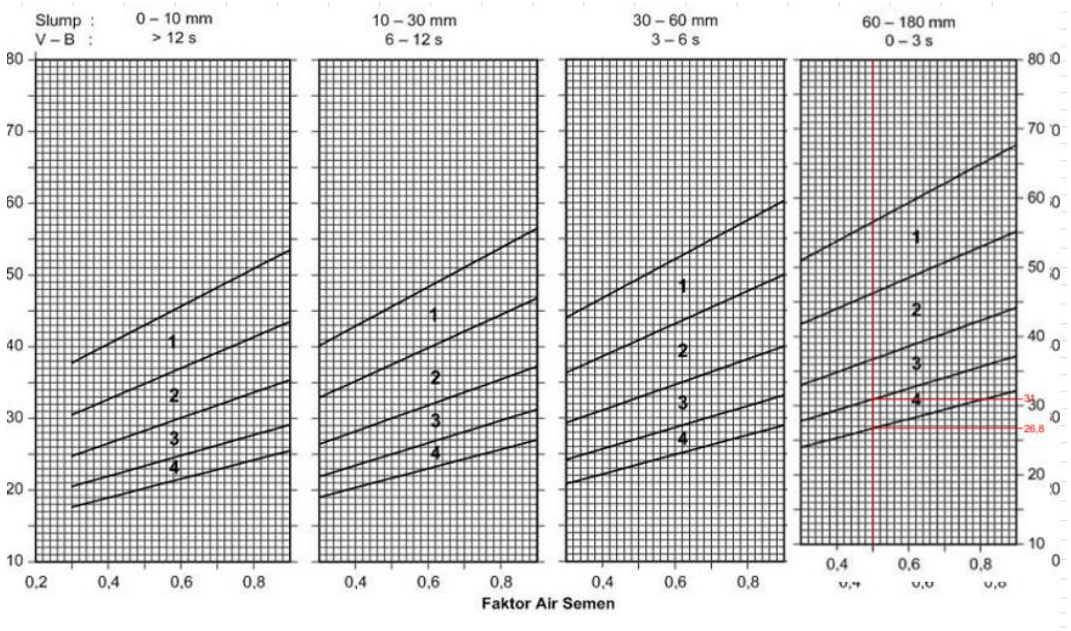
    $= \frac{205}{0{,}5}$

    $= 410\ kg/m^3$

    c. Didapatkan kadar semen dari hasil perhitungan sebesar 410 kg/m3 dan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/m3, sehingga kadar semen yang digunakan adalah hasil perhitungan yaitu sebesar 410 kg/m3.

11. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar.

    Presentase agregat halus dan agregat kasar ditentukan berdasarkan Gambar 5.6 di bawah ini.



Gambar 5. 6 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20mm

a. Dalam perancangan campuran beton, nilai slump yang digunakan berada pada rentang 60–180 mm dengan ukuran maksimum agregat 20 mm. Nilai FAS yang diterapkan sebesar 0,5, sedangkan agregat halus yang digunakan termasuk ke dalam gradasi Daerah IV. Ketiga parameter tersebut menjadi acuan dalam menentukan komposisi campuran beton yang direncanakan.
b. Tarik garis vertikal ke atas hingga berpotongan dengan garis batas gradasi daerah IV dari nilai FAS 0,5.
c. Penentuan persentase agregat halus dilakukan melalui pembacaan grafik dengan menarik garis vertikal pada titik yang sesuai hingga memotong batas atas dan batas bawah gradasi Daerah IV. Selanjutnya, dari titik perpotongan tersebut ditarik garis horizontal ke arah sumbu persentase agregat halus. Berdasarkan hasil pembacaan grafik, diperoleh persentase agregat halus pada batas atas sebesar 31% dan pada batas bawah sebesar 27,5%.
d. Perhitungan persentase agregat halus sebagai berikut.

Persentase agregat halus $= \frac{(31\%+27{,}5\%)}{2}$

$= 29{,}75\%$

e. Perhitungan nilai agregat kasar adalah sebagai berikut.

Persentase agregat kasar $= 100\% - Persentase\ agregat\ halus$

$= 100\% - 29{,}75\%$

$= 70{,}25\%$

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

Berat jenis relatif agregat gabungan dapat dihitung sebagai berikut.

BJAgregat Gabungan $= (\%AH \times BJAH) + (\%AK \times BJAK)$

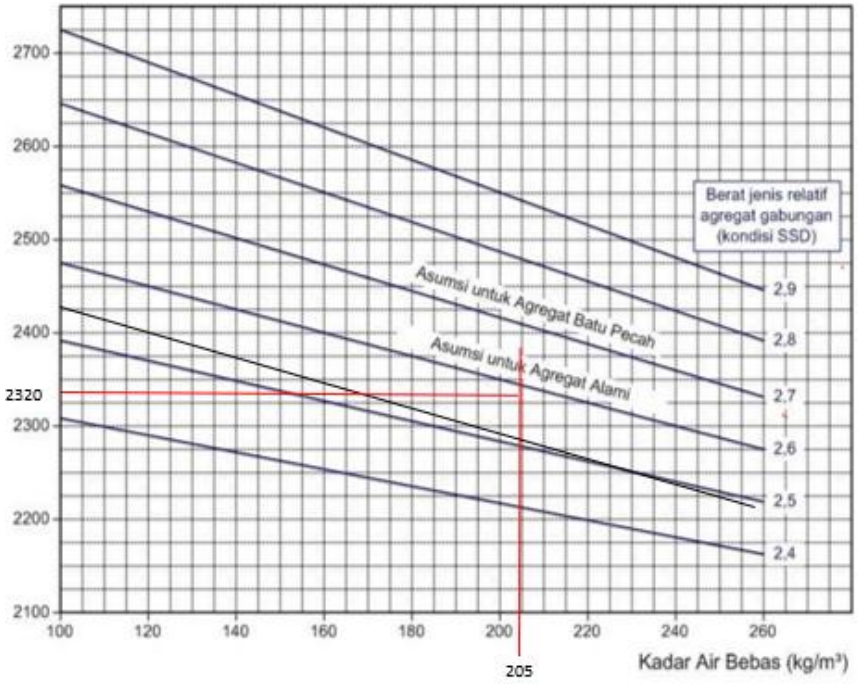
$= (29{,}75\% \times 2{,}5) + (70{,}25\% \times 2{,}6028)$

$= 2{,}57$

13. Menghitung berat isi beton

Berat isi beton dapat ditentukan dengan berdasarkan Gambar 5.7 sebagai berikut.

a. Berdasarkan hasil perhitungan pada poin 12, diperoleh nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,57. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk membentuk kurva baru pada grafik perancangan campuran beton sehingga dapat dilakukan pembacaan parameter yang sesuai dengan karakteristik agregat yang digunakan dalam penelitian ini.
b. Tarik garis vertikal ke atas sesuai dengan hasil kadar air sebesar 205 kg hingga memotong kurva baru pada poin a.
c. Setelah mendapat titik perpotongan pada poin b, tarik garis arah horizontal ke kiri, hingga diperoleh hasil perkiraan berat isi beton sebesar 2320 kg/m3.



Gambar 5. 7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 2834-2000)

14. Menghitung kadar agregat pada campuran beton.

    Kadar agregat pada campuran beton dapat dihitung sebagai berikut.

    Kadar agregat $= Berat\ is\ beton - Kadar\ semen - Kadar\ air$

    $= 2320 - 410 - 205$

    $= 1705\ kg/m^3$

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

    Kadar agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung sebagai berikut.

    Kadar agregat halus $= \%\ Agregat\ halus \times Kadar\ agregat$

    $= 29{,}75\% \times 17O5$

    $= 507{,}24\ kg/m^3$

    Kadar agregat kasar $= Kadar\ agregat - Kadar\ agregat\ halus$

    $= 1705 - 507{,}24$

    $= 1197{,}76\ kg/m3$

16. Proporsi campuran per m^3 beton.

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton, diperoleh proporsi untuk masing-masing material per m^3 beton sebagai berikut.

a. Semen $= 410\ kg$
b. Air $= 205\ kg$
c. Agregat halus $= 507{,}24\ kg/m^3$
d. Agregat kasar $= 1197{,}76\ kg/m^3$

17. Proporsi campuran per m^3 beton dengan angka penyusutan.

Perhitungan kebutuhan material pada penelitian ini memperhitungkan angka penyusutan sebesar 20%. Nilai tersebut digunakan sebagai faktor koreksi untuk mengakomodasi kemungkinan kehilangan material selama proses pembuatan benda uji. Dengan mempertimbangkan faktor penyusutan tersebut, diperoleh proporsi masing-masing bahan penyusun beton untuk setiap 1 m³ campuran beton seperti yang ditunjukkan pada uraian berikut.

a. Semen $= 492\ kg$
b. Air $= 246\ kg$
c. Agregat halus $= 608{,}69\ kg/m^3$
d. Agregat kasar $= 1437{,}32\ kg/m^3$

18. Hasil rekapitulasi campuran beton.

Berikut adalah hasil rekapitulasi perencanaan campuran beton (mix design) dapat dilihat dari Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 17. Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Mpa
2	Nilai Tambah / Margin (M)	12	Mpa
3	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
4	Jenis Semen	Tipe I	
5	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	

Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
6	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
7	FAS digunakan	0,5	
8	Slump	60-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	20	mm
10	Kadar air bebas	205	Kg/m3
11	Kadar semen minimum	275	Kg/m3
	Kadar semen maksmum	-	Kg/m3
12	Kadar semen digunakan	410	Kg/m3
13	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi IV	
14	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,6028	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,500	
15	Persen Agregat Halus	29,75	%
16	Persen Agregat Kasar	70,25	%
17	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,57	
18	Berat isi Beton	2320	Kg/m3
19	Kadar agregat gabungan	1705	Kg/m3
20	Kadar agregat halus	507,24	Kg/m3
21	Kadar agregat kasar	1197,76	Kg/m3
22	Kadar semen dengan angka penyusustan	492	Kg/m3
23	Kadar air dengan angka penyusutan	246	Kg/m3
24	Kadar agregat halus dengan angka penyususstan	608,69	Kg/m3
25	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1437,32	Kg/m3

19. Volume sampel benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 32 silinder berukuran 150 mm × 300 mm dan 12 balok berukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm. Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan variasi campuran yang direncanakan, di mana setiap variasi dibuat dalam satu kali proses *mixing*. Pada setiap *mixing* dihasilkan 8 benda uji silinder dan 3 benda uji balok. Dengan jumlah variasi sebanyak 4 jenis campuran, maka proses

mixing dilakukan sebanyak 4 kali. Perhitungan volume benda uji untuk setiap proses *mixing* dijelaskan pada bagian berikut.

Volume per *mixing* $= \left(8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t\right) + (3 \times p \times l \times t)$

$= \left(8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}15^2 \times 0{,}3\right) + (3 \times 0{,}6 \times 0{,}15 \times 0{,}15)$

$= 0{,}083$

20. Proporsi campuran per satu kali mixing

    a. Semen $= 0{,}083 \times 492 = 40{,}79\ kg$

    b. Air $= 0{,}083 \times 246 = 20{,}40\ kg$

    c. Agregat halus $= 0{,}083 \times 608{,}69 = 50{,}47\ kg$

    d. Agregat kasar $= 0{,}083 \times 1437{,}32 = 119{,}17 kg$

    Berat total normal per *mixing* = 230,83 kg

21. Kebutuhan abu serabut kelapa setiap kali mixing dari Berat total normal per *mixing*

    a. Abu serabut kelapa 0,5% $= 0{,}5\% \times 230{,}83\ kg = 1{,}154\ kg$

    b. Abu serabut kelapa 1,0% $= 1{,}0\% \times 230{,}83\ kg = 2{,}308\ kg$

    c. Abu serabut kelapa 1,5% $= 1{,}5\% \times 230{,}83\ kg = 3{,}462\ kg$

22. Kebutuhan abu serabut kelapa setiap kali mixing.

    Serabut kelapa 3,5% $= 3{,}5\% \times 40{,}79\ kg = 1{,}428\ kg$

Tabel 5. 18. Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serabut Kelapa dan Abu Serabut Kelapa Setiap Kali Mixing

Kode Benda Uji	Semen (kg)	Agregat Halus(kg)	Agregat Kasar(kg)	Air (kg)	Abu Serabut Kelapa(kg)	Serabut Kelapa(kg)
T-0-0	40,792	50,47	119,17	20,40	0	0
K-0-0						
B-0-0						
T-0,5-3,5	40,588	50,47	1119,17	20,40	1,154	1,428
K-0,5-3,5						
B-0,5-3,5						

Tabel 5.18 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serabut Kelapa dan Abu Serabut Kelapa Setiap Kali Mixing

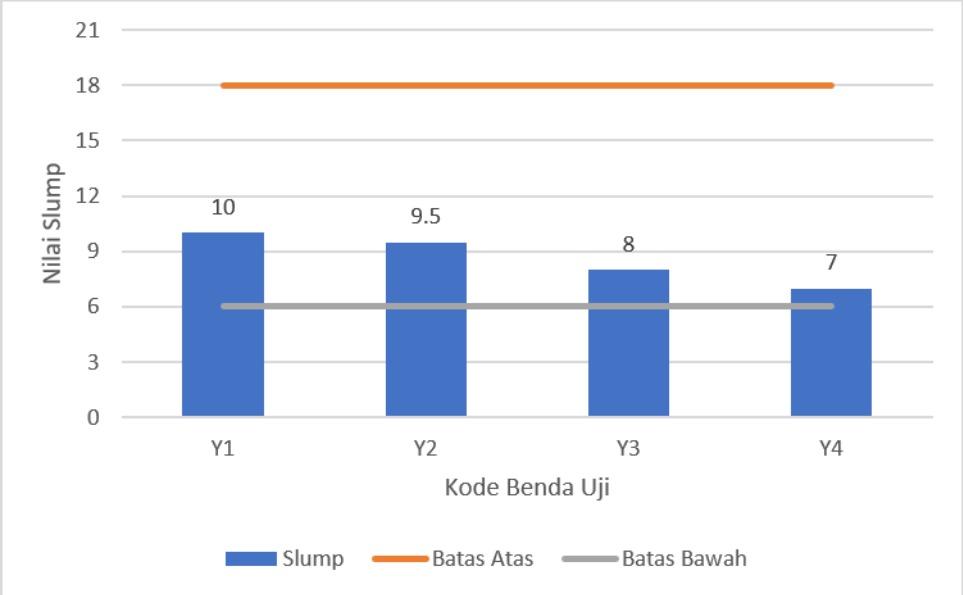
Kode Benda Uji	Semen (kg)	Agregat Halus(kg)	Agregat Kasar(kg)	Air (kg)	Abu Serabut Kelapa(kg)	Serabut Kelapa(kg)
T-1-3,5	40,384	50,47	119,17	20,40	2,308	1,428
K-1-3,5						
B-1-3,5						
T-1,5-3,5	40,180	50,47	119,17	20,40	3,462	1,428
K-1,5-3,5						
B-1,5-3,5						

5.3. Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kelecakan (workability) beton segar yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran. Nilai slump menggambarkan kemudahan campuran beton dalam proses pengerjaan di lapangan. Semakin tinggi nilai slump, semakin mudah beton dikerjakan, sedangkan nilai slump yang rendah menunjukkan campuran yang lebih kaku. Selain memenuhi aspek kemudahan pengerjaan, beton segar juga harus tetap stabil dan homogen, sehingga tidak terjadi segregasi maupun bleeding. Rekapitulasi hasil pengujian slump pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.19. Kode sampel Y menunjukan gabungan antara kode benda uji, sebagai contoh Y1 merupakan gabungan T-0-0, K-0-0, B-0-0.

Tabel 5.19. Nilai Slump Beton Pengujian

Kode Sampel	Nilai Slump (cm)	Keterangan
Y1	10	Medium
Y2	9,5	Medium
Y3	8	Medium
Y4	7	Medium



Gambar 5. 8 Nilai Slump

Berdasarkan Tabel 5.19 dan Gambar 5.8 di atas, dapat dilihat hasil nilai slump terttinngi yaitu 10 cm dan nilai slump terendah yaitu 7 cm. Nilai slump pada setiap adukan sudah memenuhi syarat dari nilai slump rencana yaitu 60-180 mm. Selain itu dapat diketahui bahwa semakin banyak campuran abu serabut kelapa yang digunakan pada variasi beton, maka nilai slump-nya akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan abu serabut kelapa dapat menyerap air yang cukup besar. Kondisi tersebut menyebabkan campuran beton menjadi lebih kental sehingga nilai slump cenderung mengalami penurunan. Penurunan nilai slump menunjukkan berkurangnya tingkat kelecakan (*workability*) beton segar, yang mengakibatkan proses pencampuran, penempatan, dan pemadatan beton menjadi lebih sulit dibandingkan dengan beton normal. Selain itu, campuran yang lebih kaku memerlukan upaya pemadatan yang lebih besar agar diperoleh beton yang padat dan homogen.

5.4. Hasil Pengujan Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan ketika beton mencapai umur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu menjalani proses perawatan (curing) dengan metode perendaman dalam air dan

dikeluarkan dari bak perawatan satu hari sebelum pengujian. Beton yang diuji direncanakan memiliki kuat tekan rata-rata (f'cr) sebesar 37 MPa. Pengujian dilakukan menggunakan Compression Testing Machine (CTM) terhadap 20 benda uji silinder. Sebelum pembebanan diberikan, permukaan atas benda uji diratakan melalui proses capping menggunakan belerang untuk memastikan distribusi beban berlangsung secara merata selama pengujian. Selanjutnya, beban diberikan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan dan tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja. Contoh perhitungan kuat tekan beton untuk setiap variasi campuran pada sampel 1 disajikan sebagai berikut.

1. Kuat Tekan Beton Normal (T-0-0)

$$f'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{343{,}89 \times 10^3}{17907{,}864}$$
$$= 19{,}20\ MPa$$

2. Kuat Tekan Beton Normal (T-0,5-3,5)

$$f'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{341{,}13 \times 10^3}{17718{,}614}$$
$$= 19{,}25 MPa$$

3. Kuat Tekan Beton Normal (T-1-3,5)

$$f'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{362{,}92 \times 10^3}{17671{,}459}$$
$$= 20{,}54\ MPa$$

4. Kuat Tekan Beton Normal (T-1,5-3,5)

$$f'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{278{,}81 \times 10^3}{17907{,}864}$$
$$= 15{,}57\ MPa$$

Dengan menggunakan prosedur perhitungan yang sama seperti pada contoh sebelumnya, nilai kuat tekan beton untuk seluruh sampel dan variasi campuran juga dihitung. Hasil pengujian kemudian direkapitulasi untuk memperoleh gambaran pengaruh variasi campuran terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton untuk seluruh benda uji disajikan pada Tabel 5.20. Dengan T-0-0 menunjukkan benda uji dengan abu serabut kelapa 0%, dan serat serabut kelapa 0%. Begitu pula untu kode beton lainnya.

Tabel 5. 20. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Luas Penampang (mm^2)	Tinggi Beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
T-0-0	1	151	17914,98	30.09	343,89	19,2	24,288
	2	152,9	18361,36	30.04	482,48	26,277	
	3	150,3	17742,215	30.1	445,78	25,125	
	4	150	17671,459	30.02	430,34	24,352	
	5	150,1	17695,028	30.05	468,72	26,489	
T-0,5-3,5	1	150,2	17718,614	30.05	341,13	19,253	19,782
	2	150,8	17860,457	30	366,73	20,533	
	3	150	17671,459	30.1	341,72	19,337	
	4	150,3	17741,215	30.02	364,37	20,537	
	5	150	17671,459	30.07	340,21	19,252	
T-1-3,5	1	150	17671,459	30.1	362,92	20,537	18,5032
	2	150,2	17718,614	30.06	253,59	14,312	
	3	150,5	17789,465	30	349,15	19,627	
	4	151	17907,864	30.03	334,72	18,691	
	5	150,1	17695,028	30.01	342,38	19,349	
T-1,5-3,5	1	151	17907,864	30	278,81	15,569	17,158
	2	151	17907,864	30.05	340,41	19,009	
	3	150,5	17789,465	30.1	294,88	16,576	
	4	150,2	17718,614	30.04	298,93	16,871	
	5	150,1	17695,028	30	314,37	17,766	

Sebelum dilakukan analisis terhadap hasil pengujian kuat tekan beton, terlebih dahulu dilakukan uji outlier untuk mengidentifikasi data yang memiliki penyimpangan signifikan dibandingkan dengan data lain dalam kelompok variasi yang sama. Uji ini diperlukan karena terdapat beberapa nilai kuat tekan yang menunjukkan perbedaan cukup besar, khususnya nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil pengujian lainnya pada variasi campuran yang sama.

Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan penggunaan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa sebagai bahan tambah beton. Penambahan serat serabut kelapa dapat menurunkan tingkat kelecakan (workability) campuran beton sehingga proses pencampuran dan pemadatan menjadi kurang optimal. Kondisi ini berpotensi menyebabkan terbentuknya rongga udara (void) di dalam beton yang dapat menurunkan kekuatan mekanisnya. Selain itu, distribusi serat dan abu serabut kelapa yang kurang merata selama proses pencampuran dapat mengakibatkan ketidakhomogenan struktur beton. Serat serabut kelapa juga memiliki kemampuan menyerap air yang relatif tinggi, sehingga pada kondisi tertentu dapat memengaruhi proses hidrasi semen dan mengurangi kualitas ikatan antara pasta semen dengan agregat.

Akibat dari kondisi tersebut, beberapa benda uji dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan benda uji lainnya meskipun berasal dari komposisi campuran yang sama. Oleh karena itu, uji outlier dilakukan untuk menentukan apakah data yang menyimpang tersebut masih merepresentasikan karakteristik campuran beton yang diteliti atau merupakan hasil yang dipengaruhi oleh faktor teknis selama proses pembuatan, perawatan, maupun pengujian benda uji. Hasil uji outlier selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan data yang layak digunakan pada tahap analisis berikutnya.

Berikut adalah perhitungan analisis outlier metode IQR (Interquartile Range) berdasarkan data T-0-0; T-0,5-3,5; T-1-3,5; T-1,5-3,5.

1. Kode Benda Uji T-0-0

   Urutkan data dari yang terkecil ke terbesar:

19,203 ; 24,352 ; 25,125 ; 26,277 ; 26,489

a. Menentukan Kuartil 1 (Q1)

Q1 $= (n-1) \times 0{,}25 + 1$

$= (5-1) \times 0{,}25 + 1$

$= 4 \times 0{,}25 + 1$

$= 2$

Karena hasilnya 2, maka nilai Q1 adalah data ke-2 yaitu 24,352

b. Menentukan Kuartil 3 (Q3)

Q3 $= (n-1) \times 0{,}75 + 1$

$= (5-1) \times 0{,}75 + 1$

$= 4 \times 0{,}75 + 1$

$= 4$

Karena hasilnya 4, maka nilai Q3 adalah data ke-4 yaitu 26,277

c. Menghitung Interquartile Range (IQR)

IQR $= Q3 - Q1$

$= 26{,}277 - 24{,}352$

$= 1{,}925$

d. Menghitung Batas Bawah (Lower Bound)

Lower Bound $= Q1 - (1{,}5 \times IQR)$

$= 24{,}352 - (1{,}5 \times 1{,}925)$

$= 21{,}465$

e. Menghitung Batas Atas (Upper Bound)

Upper Bound $= Q3 + (1{,}5 \times IQR)$

$= 26{,}277 + (1{,}5 \times 1{,}925)$

$= 29{,}164$

f. Identifikasi Outlier

Hasil identifikasi outlier untuk benda uji T-0-0 dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5. 21. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-0-0

Data	Outlier	Q1	Q3	IQR	Upper Bound	Lower Bound	Hasil
19,203	Outlier	24,352	26,277	1,925	29,164	21,465	25,561
26,277	Tidak						
25,125	Tidak						
24,352	Tidak						
26,489	Tidak						

Dari Tabel 5.21 didapatkan outlier yaitu data 19,203, yang dimana 19,203 melewati batas Lower Bound sehingga dapat dikatakan data tersebut adalah outlier, maka hasil kuat tekan benda uji T-0-0 setelah didapatkan outlier adalah 25,561 MPa

2. Kode Benda Uji T-0,5-3,5

Urutkan data dari yang terkecil ke terbesar:

19,252 ; 19,253 ; 19,337 ; 20,533 ; 20,537

a. Menentukan Kuartil 1 (Q1)

$$Q1 = (n-1) \times 0{,}25 + 1$$
$$= (5-1) \times 0{,}25 + 1$$
$$= 4 \times 0{,}25 + 1$$
$$= 2$$

Karena hasilnya 2, maka nilai Q1 adalah data ke-2 yaitu 19,253

b. Menentukan Kuartil 3 (Q3)

$$Q3 = (n-1) \times 0{,}75 + 1$$
$$= (5-1) \times 0{,}75 + 1$$
$$= 4 \times 0{,}75 + 1$$
$$= 4$$

Karena hasilnya 4, maka nilai Q3 adalah data ke-4 yaitu 20,533

c. Menghitung Interquartile Range (IQR)

$$IQR = Q3 - Q1$$
$$= 20{,}533 - 19{,}253$$
$$= 1{,}280$$

d. Menghitung Batas Bawah (Lower Bound)

$$\text{Lower Bound} = Q1 - (1{,}5 \times IQR)$$

$$= 19{,}253 - (1{,}5 \times 1{,}280)$$
$$= 17{,}332$$

e. Menghitung Batas Atas (Upper Bound)

Upper Bound $= Q3 + (1{,}5 \times IQR)$
$= 20{,}533 + (1{,}5 \times 1{,}280)$
$= 22{,}454$

f. Identifikasi Outlier

Hasil identifikasi outlier untuk benda uji T-0,5-3,5 dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5. 22. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-0,5-3,5

Data	Outlier	Q1	Q3	IQR	Upper Bound	Lower Bound	Hasil
19,253	Tidak	19,253	20,533	1,280	22,454	17,332	19,782
20,533	Tidak						
19,337	Tidak						
20,537	Tidak						
19,252	Tidak						

Dari Tabel 5.22 tidak didapatkan outlier, yang dimana tidak ada data yang melewati Lower Bound ataupun Upper Bound, sehingga hasil kuat tekan pada benda uji T-0,5-3,5 tidak berubah yaitu 19,782 MPa.

3. Kode Benda Uji T-1-3,5

Urutkan data dari yang terkecil ke terbesar:

14,312 ; 18,691 ; 19,349 ; 19,627 ; 20,537

a. Menentukan Kuartil 1 (Q1)

Q1 $= (n - 1) \times 0{,}25 + 1$
$= (5 - 1) \times 0{,}25 + 1$
$= 4 \times 0{,}25 + 1$
$= 2$

Karena hasilnya 2, maka nilai Q1 adalah data ke-2 yaitu 18,691

b. Menentukan Kuartil 3 (Q3)

Q3 $= (n-1) \times 0{,}75 + 1$

$= (5-1) \times 0{,}75 + 1$

$= 4 \times 0{,}75 + 1$

$= 4$

Karena hasilnya 4, maka nilai Q3 adalah data ke-4 yaitu 19,627

c. Menghitung Interquartile Range (IQR)

IQR $= Q3 - Q1$

$= 19{,}627 - 18{,}691$

$= 0{,}936$

d. Menghitung Batas Bawah (Lower Bound)

Lower Bound $= Q1 - (1{,}5 \times IQR)$

$= 18{,}691 - (1{,}5 \times 0{,}936)$

$= 17{,}288$

e. Menghitung Batas Atas (Upper Bound)

Upper Bound $= Q3 + (1{,}5 \times IQR)$

$= 19{,}627 + (1{,}5 \times 0{,}936)$

$= 21{,}030$

f. Identifikasi Outlier

Hasil identifikasi outlier untuk benda uji T-1-3,5 dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 23. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-1-3,5

Data	Outlier	Q1	Q3	IQR	Upper Bound	Lower Bound	Hasil
20,537	Tidak	18,691	19,627	0,936	21,030	17,288	19,551
14,312	Outlier						
19,627	Tidak						
18,691	Tidak						
19,349	Tidak						

Dari Tabel 5.23 didapatkan outlier yaitu data 14,312, yang dimana 14,312 melewati batas Lower Bound sehingga dapat dikatakan data tersebut adalah

outlier, maka hasil kuat tekan benda uji T-1-3,5 setelah didapatkan outlier adalah 19,551 MPa

4. Kode Benda Uji T-1-3,5

Urutkan data dari yang terkecil ke terbesar:

15,569 ; 16,576 ; 16,871 ; 17,766 ; 19,009

a. Menentukan Kuartil 1 (Q1)

$$\begin{aligned} Q1 &= (n-1) \times 0{,}25 + 1 \\ &= (5-1) \times 0{,}25 + 1 \\ &= 4 \times 0{,}25 + 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

Karena hasilnya 2, maka nilai Q1 adalah data ke-2 yaitu 16,576

b. Menentukan Kuartil 3 (Q3)

$$\begin{aligned} Q3 &= (n-1) \times 0{,}75 + 1 \\ &= (5-1) \times 0{,}75 + 1 \\ &= 4 \times 0{,}75 + 1 \\ &= 4 \end{aligned}$$

Karena hasilnya 4, maka nilai Q3 adalah data ke-4 yaitu 17,766

c. Menghitung Interquartile Range (IQR)

$$\begin{aligned} IQR &= Q3 - Q1 \\ &= 17{,}766 - 16{,}576 \\ &= 1{,}189 \end{aligned}$$

d. Menghitung Batas Bawah (Lower Bound)

$$\begin{aligned} \text{Lower Bound} &= Q1 - (1{,}5 \times IQR) \\ &= 16{,}576 - (1{,}5 \times 1{,}189) \\ &= 14{,}791 \end{aligned}$$

e. Menghitung Batas Atas (Upper Bound)

$$\begin{aligned} \text{Upper Bound} &= Q3 + (1{,}5 \times IQR) \\ &= 17{,}766 + (1{,}5 \times 1{,}189) \\ &= 19{,}551 \end{aligned}$$

f. Identifikasi Outlier

Hasil identifikasi outlier untuk benda uji T-1,5-3,5 dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24. Hasil Identifikasi Outlier Benda Uji T-1,5-3,5

Data	Outlier	Q1	Q3	IQR	Upper Bound	Lower Bound	Hasil
15,569	Tidak	16,576	17,766	1,189	19,551	14,791	17,158
19,009	Tidak						
16,576	Tidak						
16,871	Tidak						
17,766	Tidak						

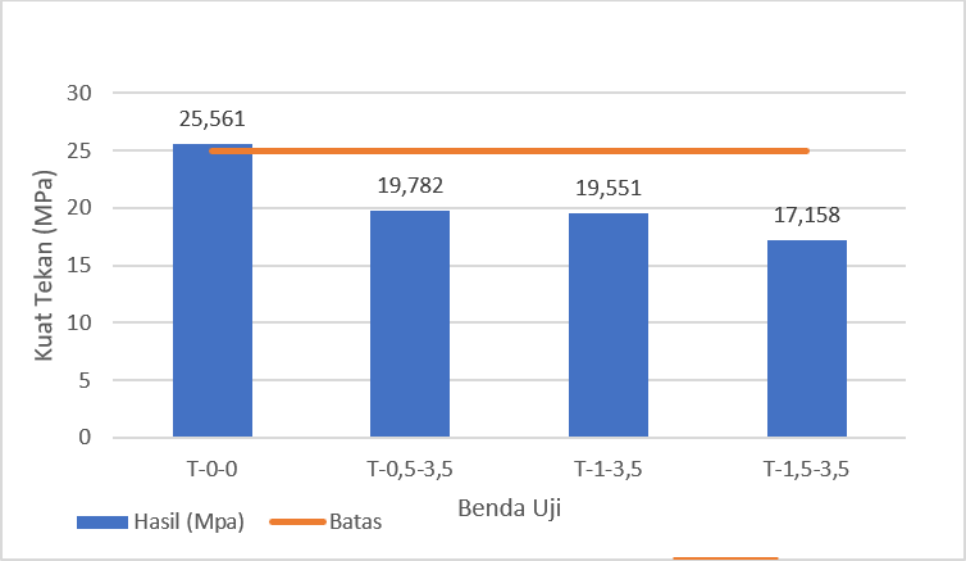
Dari Tabel 5.24 tidak didapatkan outlier, yang dimana tidak ada data yang melewati Lower Bound ataupun Upper Bound, sehingga hasil kuat tekan pada benda uji T-1,5-3,5 tidak berubah yaitu 17,158 MPa.

Setelah mendapatkan hasil pengujian outlier dari semua benda uji, selanjutnya hasil akhirnya dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5. 25. Hasil Kuat Tekan Beton Setelah Pengujian Outlier

Benda Uji	**Hasil (MPa)**
T-0-0	25,561
T-0,5-3,5	19,782
T-1-3,5	19,551
T-1,5-3,5	17,158

Berdasarkan Tabel 5.25 di atas dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan serabut kelapa terhadap kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5. 9 Hasil Kuat Tekan Beton Setelah Uji Outlier

Berikut ini adalah penejelasan mengenai hasil pengujian kuat tekan beton berdasarkan Gamabr 5.9 dengan umur sampel benda uji 28 hari.

a. Berdasarkan hasil pengujian, beton normal (T-0-0) memperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 25,561 MPa, yang berarti telah melampaui kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perancangan campuran beton yang digunakan telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan layak dijadikan sebagai beton pembanding (*beton kontrol*). Dengan demikian, campuran beton normal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa sebagai bahan tambah terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton.

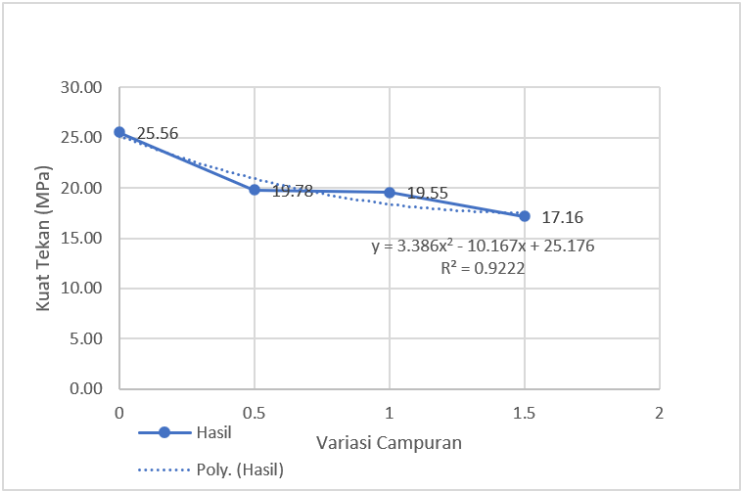
b. Beton T-0,5-3,5 dengan kadar abu serabut kelapa sebanyak 0,5% dan serabut kelapa sebanyak 3,5% memiliki nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 19,782 MPa. Nilai kuat tekan beton T-0,5-3,5 mengalami penurunan sebesar 20,872% dari kuat tekan beton yang disyaratkan yaitu 25 MPa.

c. Beton T-1-3,5 dengan kadar abu serabut kelapa sebanyak 1% dan serabut kelapa sebanyak 3,5% memiliki nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar

19,551 MPa. Nilai kuat tekan beton T-1-3,5 mengalami penurunan sebesar 21,796% dari kuat tekan beton yang disyaratkan yaitu 25 MPa.

d. Beton T-1,5-3,5 dengan kadar abu serabut kelapa sebanyak 1,5% dan serabut kelapa sebanyak 3,5% memiliki nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 17,158 MPa. Nilai kuat tekan beton T-1,5-3,5 mengalami penurunan sebesar 31,368% dari kuat tekan beton yang disyaratkan yaitu 25 MPa.

Kemudian dari data tersebut dibuat regresi polinomial orde 2 yang digunakan untuk melihat seberapa kuat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Persamaan regresi polinomial orde dua dan koefisien determinasi (R^2) diperoleh menggunakan *Microsoft Excel* melalui fitur Trendline Polynomial Orde 2 yang dihitung berdasarkan metode kuadrat terkecil (*Least Squares*). Berikut adalah hasilnya.



Gambar 5. 10 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tekan Beton

Maka dari hasil perhitungan menggunakan *Microsoft Excel* didapat persamaan liner $y = 3{,}386x^2 - 10{,}167x + 25{,}176$ dan didapatkan nilai R^2 sebesar 0,9222. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 92,22% variasi kuat tekan beton dapat dijelaskan oleh perubahan kadar abu serabut kelapa pada kondisi kadar serat serabut kelapa tetap sebesar 3,5%, sedangkan 7,78% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Hasil regresi menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu serabut kelapa cenderung menurunkan kuat tekan beton. Selain itu, keberadaan serat serabut kelapa sebagai bahan tambah tetap memberikan kontribusi terhadap

sifat beton, namun karena kadarnya dibuat konstan pada seluruh variasi campuran, pengaruhnya tidak dianalisis secara terpisah melalui regresi dan dibahas berdasarkan mekanisme kerjanya.

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan beton dengan penambahan abu serabut kelapa dan srabut kelapa ternyata membuat kuat tekan beton menjadi menurun. Penurunan paling besar terjadi pada benda uji T-1,5-3,5 yaitu sebesar 31,368% dari kuat tekan beton yang disyaratkan yaitu 25 MPa, dan penurunan paling kecil terjadi pada benda uji T-0,5-3,5 yaitu sebesar 20,872%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan abu serabut kelapa dari 0,5% menjadi 1,5% pada kondisi kadar serat serabut kelapa tetap 3,5% belum mampu meningkatkan kuat tekan beton.

Penurunan nilai kuat tekan beton tersebut diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Penambahan serat serabut kelapa dalam jumlah yang relatif tinggi menyebabkan campuran beton menjadi lebih kaku dan menurunkan nilai *workability*. Kondisi ini mengakibatkan proses pemadatan beton menjadi kurang optimal sehingga terbentuk rongga-rongga udara (*void*) di dalam beton. Selain itu, serat serabut kelapa memiliki kemampuan menyerap air yang cukup tinggi sehingga sebagian air campuran terserap oleh serat dan mengurangi efektivitas proses hidrasi semen.

Di sisi lain, penggunaan abu serabut kelapa sebagai pengganti sebagian **semen** menyebabkan jumlah semen aktif yang berperan dalam pembentukan pasta semen berkurang. Apabila kadar abu yang digunakan melebihi batas optimum, reaksi pozzolanik yang terjadi belum mampu mengimbangi berkurangnya jumlah semen, sehingga kuat tekan beton cenderung menurun. Semakin tinggi kadar abu serabut kelapa yang digunakan pada penelitian ini, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan.

5.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilaksanakan pada umur 28 hari setelah benda uji menjalani proses perawatan (curing) sesuai ketentuan. Sebelum pengujian dilakukan, dimensi benda uji terlebih dahulu diukur untuk menentukan luas bidang

yang akan digunakan dalam perhitungan kuat tarik belah. Pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan (compression testing machine) dengan posisi benda uji silinder diletakkan secara horizontal sehingga beban bekerja sepanjang diameter benda uji. Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah pada variasi beton K-0-0 untuk sampel pertama disajikan sebagai berikut.

$$f'ct = \frac{2P}{\pi \times L \times D}$$

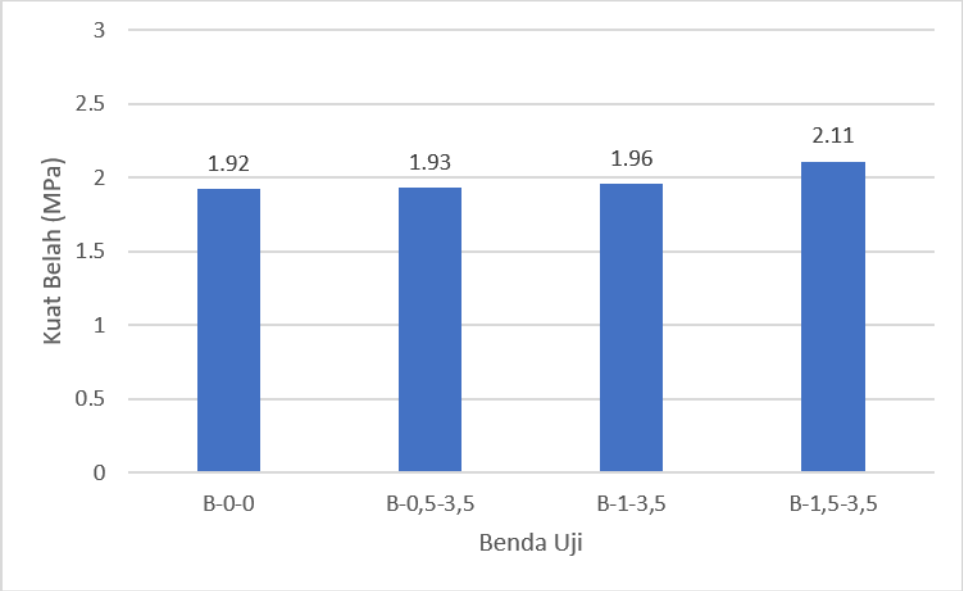
$$= \frac{2 \times 137000}{\pi \times 300{,}9 \times 151}$$

$$= 1{,}92\ MPa$$

Tahapan perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh sampel pengujian kuat tarik belah sehingga diperoleh nilai kuat tarik belah untuk masing-masing variasi beton. Data hasil perhitungan tersebut kemudian direkapitulasi dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi campuran terhadap kuat tarik belah beton. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.26, sedangkan visualisasi perbandingan nilai kuat tarik belah antar variasi ditampilkan pada Gambar 5.11.

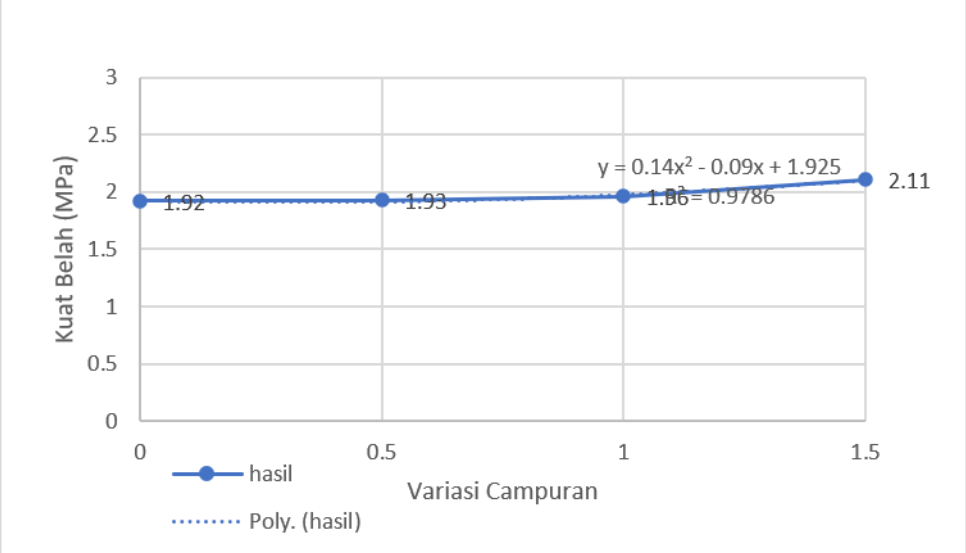
Tabel 5. 26. Hasil Kuat Tarik Belah Beton

Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Tarik Alat (kN)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata Kuat Tarik (MPa)
B-0-0	1	151	300,9	137	1,92	1,92
	2	153	300,4	138	1,91	
	3	150,3	301	136	1,91	
B-0,5-3,5	1	152	301	112	1,56	1,93
	2	150,4	300,8	152	2,14	
	3	150	300	148	2,09	
B-1-3,5	1	150,6	300,3	149	2,10	1,96
	2	151	300,7	122	1,71	
	3	150,3	300,6	147	2,07	
B-1,5-3,5	1	150	300	140	1,98	2,11
	2	150,8	300,1	156	2,20	
	3	150,2	300,3	152	2,15	



Gambar 5. 11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kemudian dari data tersebut dibuat regresi polinomial orde 2 yang digunakan untuk melihat seberapa kuat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Persamaan regresi polinomial orde dua dan koefisien determinasi (R^2) diperoleh menggunakan *Microsoft Excel* melalui fitur Trendline Polynomial Orde 2 yang dihitung berdasarkan metode kuadrat terkecil (*Least Squares*). Berikut adalah hasilnya.



Gambar 5. 12 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 didapatkan nilai $y = 0{,}14x^2 - 0{,}09x + 1{,}925$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9786. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 97,86% variasi kuat tarik belah beton dapat dijelaskan oleh perubahan kadar abu serabut kelapa pada kondisi kadar serat serabut kelapa tetap sebesar 3,5%, sedangkan 2,14% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Hasil regresi menunjukkan bahwa kuat tarik belah cenderung meningkat pada variasi kadar abu yang diteliti. Peningkatan tersebut diduga dipengaruhi oleh kombinasi abu serabut kelapa sebagai bahan pengisi (*filler*) dan serat serabut kelapa yang berfungsi sebagai pengikat serta penghambat perkembangan retak (*crack bridging*), sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tarik menjadi lebih baik.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah beton yang ditunjukkan pada Tabel 5.26 dan Gambar 5.11, diperoleh nilai kuat tarik belah rata-rata beton normal (B-0-0) sebesar 1,92 MPa. Pada variasi beton dengan penambahan serat serabut kelapa 3,5% tanpa abu serabut kelapa (B-0,5-3,5), nilai kuat tarik belah rata-rata meningkat menjadi 1,93 MPa atau sekitar 0,52% lebih tinggi dibandingkan beton normal. Variasi B-1-3,5 yang mengandung abu serabut kelapa sebesar 1% dan serat serabut kelapa sebesar 3,5% menghasilkan kuat tarik belah rata-rata sebesar 1,96 MPa. Nilai tersebut mengalami peningkatan sekitar 2,08% dibandingkan beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan abu serabut kelapa dalam jumlah tertentu dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga kemampuan beton dalam menahan gaya tarik menjadi lebih baik. Nilai kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada variasi B-1,5-3,5, yaitu sebesar 2,11 MPa. Nilai ini meningkat sekitar 9,90% dibandingkan beton normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi abu serabut kelapa sebesar 1,5% dan serat serabut kelapa sebesar 3,5% memberikan pengaruh paling efektif terhadap peningkatan kuat tarik belah beton pada penelitian ini.

Peningkatan kuat tarik belah yang terjadi disebabkan oleh peran serat serabut kelapa yang mampu menahan retak-retak (crack bridging) pada beton sehingga propagasi retak dapat diperlambat. Selain itu, kandungan silika pada abu serabut kelapa berpotensi bereaksi secara pozzolanik dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan membentuk senyawa tambahan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang dapat memperbaiki struktur mikro beton. Kombinasi kedua bahan tersebut menyebabkan ikatan internal beton menjadi lebih baik sehingga kuat tarik belah mengalami peningkatan.

Beton pada umumnya memeliki kuat tarik belah sebesar 8%-15% dari nilai kuat tekannya (DPUPKP Kulon Progo, 2022). Perhitungan persentase kuat tarik belah dari kuat tekan beton pada beton K-0-0 adalah sebagai berikut.

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{f'ct\ rata{-}rata}{f'c\ rata{-}rata} \times 100$$

$$= \frac{1{,}92}{25{,}561} \times 100$$

$$= 8\%$$

Dengan langkah-langkah yang sama diperoleh hasil persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton seperti pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5. 27. Persentase Kuat Tarik Belah dari Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Persentase (%)
T-0-0;B-0-0	25,561	1,92	8
T-0,5-3,5;B-0,5-3,5	19,782	1,93	9,76
T-1-3,5;B-1-3,5	19,551	1,96	10,025
T-1,5-3,5;B-1,5-3,5	17,158	2,11	12,297

Berdasarkan Tabel 5.27 persentase nilai kuat tarik terhadap kuat tekan beton pada masing- masing benda uji sudah memenuhi standar pada umumnya yaitu 8%-

15%. Maka pada pengujian kuat tarik belah beton ini didapat kenaikan nilai kuat tarik terkecil pada benda uji B-0,5-3,5 yaitu sebesar 0,52% dan kenaikan paling besar terdapat pada benda uji B-1,5-3,5 yaitu sebesar 9,90% dari beton normal.

5.6. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari setelah benda uji menjalani proses perawatan (*curing*) dengan metode perendaman. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine (UTM) terhadap 12 benda uji berbentuk balok berukuran 600 × 150 × 150 mm dengan metode pembebanan satu titik yang diberikan pada tengah bentang hingga benda uji mengalami keruntuhan. Retak umumnya terjadi pada bagian tengah bentang yang menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan akibat gaya lentur. Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat lentur beton pada benda uji K-0-0 sampel 1.

1. Kuat lentur beton normal (K-0-0)

$$R = \frac{3PL}{2BD^2}$$

$$= \frac{3 \times 17363{,}7 \times 500}{2 \times 150 \times 150^2}$$

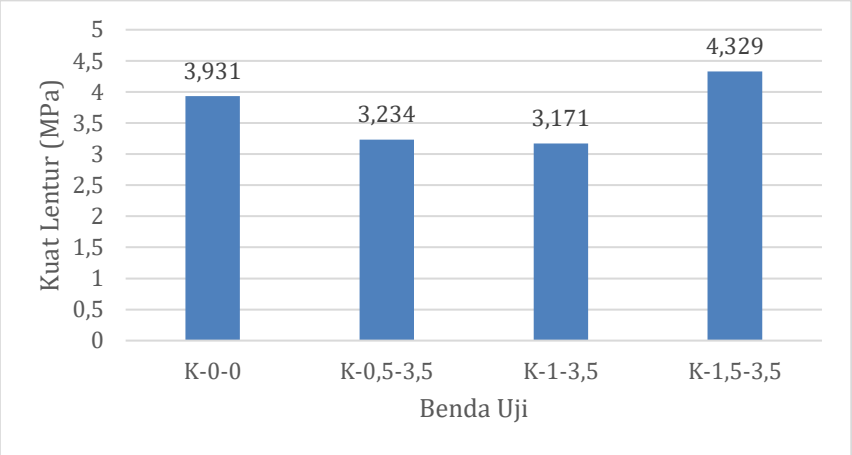
$$= 3{,}859\ MPa$$

Dengan cara yang sama di atas, perlu dilakukan juga untuk menghitung nilai kuat lentur beton pada sampel dan varian yang lainnya. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5. 28. Hasil Uji Kuat Lentur

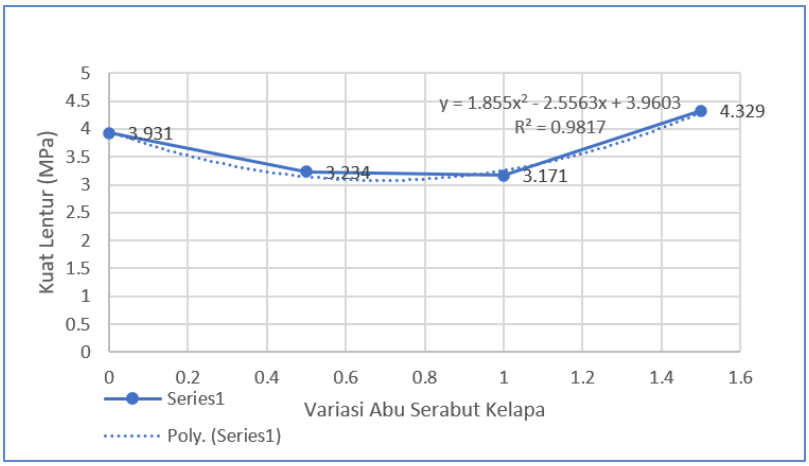
Kode Benda Uji	Nilai Kuat Lentur				Peningkatan	Persentase Peningkatan
	1	2	3	Rata-rata		
L-0-0	3,859	3,915	4,019	3,931	0	0,00%
L-0,5-3,5	3,189	3,353	3,159	3,234	-0,697	-17,731%
L-1-3,5	3,183	3,039	3,292	3,171	-0,759	-19,308%
L-1,5-3,5	4,224	4,462	4,299	4,329	0,398	10,125%

Berdasarkan Tabel 5.28 di atas dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan serabut kelapa terhadap kuat lentur beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 13 Grafik Pengujian Kuat Lentur

Kemudian dari data tersebut dibuat regresi polinomial orde 2 yang digunakan untuk melihat seberapa kuat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Persamaan regresi polinomial orde dua dan koefisien determinasi (R^2) diperoleh menggunakan *Microsoft Excel* melalui fitur Trendline Polynomial Orde 2 yang dihitung berdasarkan metode kuadrat terkecil (*Least Squares*). Berikut adalah hasilnya



Gambar 5. 14 Grafik Regresi Polinomial Kuat Lentur Beton

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 didapatkan nilai $y = 1{,}855x^2 - 2{,}556x + 3{,}9603$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9817. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 98,17% variasi kuat lentur beton dapat dijelaskan oleh perubahan kadar abu serabut kelapa pada kondisi kadar serat serabut kelapa tetap sebesar 3,5%, sedangkan 1,83% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Hubungan yang terbentuk bersifat nonlinier, di mana kuat lentur mengalami penurunan pada kadar abu 0,5% hingga 1% dan meningkat kembali pada kadar abu 1,5%. Peningkatan kuat lentur pada variasi terakhir menunjukkan bahwa kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa mampu memberikan kontribusi terhadap peningkatan ketahanan beton terhadap beban lentur.

Berdasarkan Gambar 5.13, hasil pengujian kuat lentur beton pada umur 28 hari menunjukkan adanya variasi nilai yang mengalami peningkatan maupun penurunan pada setiap campuran yang diuji. Perbedaan nilai kuat lentur tersebut menunjukkan adanya pengaruh penambahan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap kemampuan beton dalam menahan beban lentur. Adapun pembahasan mengenai hasil pengujian kuat lentur beton pada masing-masing variasi dijelaskan sebagai berikut.

a. Benda uji beton normal (L-0-0) memliki nilai kuat tekan lentur rata-rata sebesar 3,931 MPa.
b. Benda uji beton dengan variasi L-0,5-3,5, yaitu penggunaan abu serabut kelapa dengan kadar 0,5% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%, menghasilkan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 3,234 MPa. Nilai tersebut menunjukkan penurunan sebesar 17,731% dibandingkan dengan kuat lentur beton normal.
c. Benda uji beton dengan variasi L-1-3,5, yaitu penggunaan abu serabut kelapa dengan kadar 1% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%, menghasilkan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 3,171 MPa. Nilai tersebut menunjukkan penurunan sebesar 19,308% dibandingkan dengan kuat lentur beton normal.
d. Benda uji beton dengan variasi L-1,5-3,5, yaitu penggunaan abu serabut kelapa dengan kadar 1,5% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%,

menghasilkan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 4,329 MPa. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan sebesar 10,125% dibandingkan dengan kuat lentur beton normal.

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton dengan penambahan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa pada berbagai variasi kadar, diketahui bahwa penggunaan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa memberikan pengaruh terhadap nilai kuat lentur beton yang dihasilkan. Nilai kuat lentur optimum diperoleh pada variasi L-1,5-3,5, yaitu penambahan abu serabut kelapa sebanyak 1,5% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%, yang menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 4,329 MPa. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebesar 10,125% dibandingkan kuat lentur beton normal. Sebaliknya, nilai kuat lentur terendah diperoleh pada variasi L-1-3,5, yaitu penambahan abu serabut kelapa sebanyak 1% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%, dengan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 3,171 MPa atau mengalami penurunan sebesar 19,308% terhadap beton normal.

Peningkatan kuat lentur yang terjadi menunjukkan bahwa abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa mampu berkontribusi dalam memperbaiki perilaku beton terhadap beban lentur melalui peningkatan ikatan internal dan kemampuan serat dalam menahan serta memperlambat perkembangan retak. Namun, pada kadar tertentu, penambahan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa dapat menyebabkan penurunan kuat lentur akibat terbentuknya rongga-rongga udara (*void*), serta distribusi serat yang kurang merata di dalam campuran beton.

Dari hasil nilai kuat lentur dan nilai kuat tekan dapat diketahui korelasi antara keduanya, yaitu dengan menggunakan perhitungan korelasi. Berikut adalah contoh perhitungan nilai korelasi antara kuat lentur dengan kuat tekan pada salah satu sampel yaitu beton normal.

Kuat tekan (f'c) $= 25{,}561\ MPa$

Kuat Lentur (fr) $= 3{,}931\ MPa$

$\sqrt{f'c} = \sqrt{25{,}561}$

$= 5{,}056$

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

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

$= \frac{3{,}931}{5{,}056}$

$= 0{,}778$

Tabel 5. 29. Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	$\sqrt{f'c}$	$K\sqrt{f'c}$	Korelasi
T-0-0;L-0-0	3,931	25,561	5,056	0,778	$0{,}778\sqrt{f'c}$
T-0,5-3,5;L-0,5-3,5	3,234	19,782	4,448	0,727	$0{,}727\sqrt{f'c}$
T-1-3,5;L-1-3,5	3,171	19,551	4,422	0,717	$0{,}717\sqrt{f'c}$
T-1,5-3,5;L-1,5-3,5	4,329	17,158	4,142	1,045	$1{,}045\sqrt{f'c}$

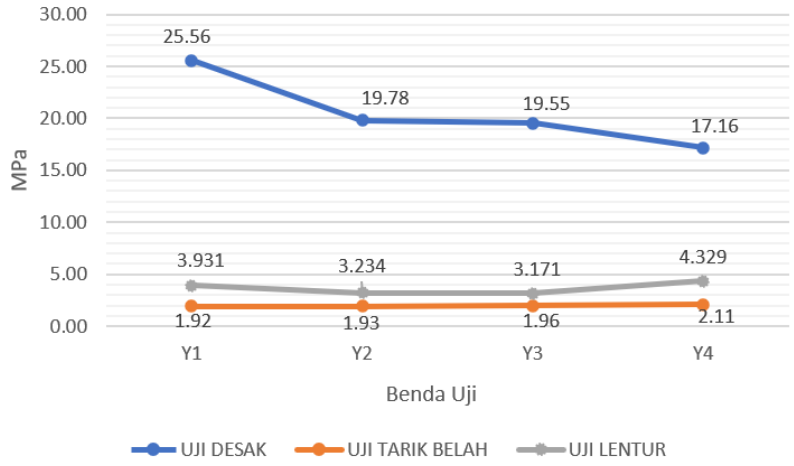
Berdasarakan Tabel 5.29, dapat diketahui korelasi kuat lentur beton terhadapa kuatbtekan beton yaitu sebagai berikut.

$$0{,}717\sqrt{f'c} < f'r < 1{,}045\sqrt{f'c}$$

Menurut (SNI 2847:2019), nilai minimal $K\sqrt{f'c}$ adalah 0,62 $\sqrt{f'c}$ sebesar untuk beton normal. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan nilai korelasi dari semua benda uji sudah memenuhi syarat minimum.

5.7. Analisis Hubungan Hasil Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton pada umur 28 hari, diperoleh kecenderungan bahwa penambahan abu serabut kelapa dengan kadar serat serabut kelapa tetap sebesar 3,5% memberikan pengaruh yang berbeda terhadap masing-masing sifat mekanik beton. Perbandingan hasil ketiga pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Grafik Gabungan Ketiga Pengujian Sifat Mekanik Beton

Berdasarkan Gambar 5.15, nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar abu serabut kelapa. Beton normal (T-0-0) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 25,56 MPa, kemudian menurun menjadi 19,78 MPa, 19,55 MPa, dan 17,16 MPa pada variasi T-0,5-3,5; K-1-3,5; dan T-1,5-3,5. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penambahan abu serabut kelapa pada kadar yang digunakan dalam penelitian ini belum mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan.

Berbeda dengan kuat tekan, hasil pengujian kuat tarik belah menunjukkan kecenderungan meningkat. Nilai kuat tarik belah beton meningkat dari 1,92 MPa pada beton normal menjadi 2,11 MPa pada variasi B-1,5-3,5. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap gaya tarik tidak langsung. Hasil pengujian

kuat lentur menunjukkan pola yang berbeda. Nilai kuat lentur mengalami penurunan pada variasi L-0,5-3,5 dan L-1-3,5, yaitu masing-masing sebesar 3,234 MPa dan 3,171 MPa, kemudian meningkat menjadi 4,329 MPa pada variasi L-1,5-3,5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa pada variasi terakhir memberikan kontribusi yang lebih baik terhadap kemampuan beton dalam menahan beban lentur.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa memberikan respons yang berbeda terhadap setiap sifat mekanik beton. Penambahan bahan tersebut cenderung menurunkan kuat tekan, tetapi mampu meningkatkan kuat tarik belah dan kuat lentur pada variasi tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua bahan lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan beton terhadap gaya tarik dan lentur dibandingkan terhadap beban tekan. Oleh karena itu, pemanfaatan abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan tambah pada beton yang memerlukan peningkatan sifat tarik dan lentur, dengan tetap mempertimbangkan penurunan kuat tekan yang terjadi.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap kuat tekan beton normal menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kuat tekan seiring meningkatnya kadar abu serabut kelapa. Nilai kuat tekan rata-rata beton normal (T-0-0) sebesar 25,561 MPa, sedangkan pada variasi T-0,5-3,5, T-1-3,5, dan T-1,5-3,5 berturut-turut diperoleh nilai 19,782 MPa, 19,551 MPa, dan 17,158 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan abu serabut kelapa dengan kadar serat tetap sebesar 3,5% belum mampu meningkatkan kuat tekan beton.
2. Pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap kuat lentur beton normal menunjukkan adanya penurunan dan kenaikan nilai kuat lentur pada setiap variasi campuran. Beton normal (L-0-0) memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 3,931 MPa, sedangkan variasi L-0,5-3,5, L-1-3,5, dan L-1,5-3,5 berturut-turut sebesar 3,234 MPa, 3,171 MPa, dan 4,329 MPa.
3. Pengaruh kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa terhadap kuat tarik belah beton normal menunjukkan bahwa penambahan kedua bahan tersebut dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal (B-0-0) memiliki kuat tarik belah rata-rata sebesar 1,92 MPa, sedangkan variasi B-0,5-3,5, B-1-3,5, dan B-1,5-3,5 berturut-turut sebesar 1,93 MPa, 1,96 MPa, dan 2,11 MPa.
4. Berdasarkan hasil seluruh pengujian, kombinasi abu serabut kelapa dan serat serabut kelapa memberikan pengaruh yang berbeda terhadap setiap sifat mekanik beton. Pada pengujian kuat tekan, penambahan abu serabut

kelapa dan serabut kelapa belum dapat memberikan hasil yang optimal karena penambahan kedua bahan tersebut disetiap variasinya justru menurunkan hasil kuat tekan dari beton normalnya. Pada pengujian kuat lentur, nilai optimum diperoleh pada variasi K-1,5-3,5 sebesar 4,329 MPa yaitu dengan persentase penambahan abu serabut kelapa sebanyak 1,5% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%. Kuat tarik belah tertinggi juga diperoleh pada variasi K-1,5-3,5 sebesar 2,11 MPa yaitu dengan persentase penambahan abu serabut kelapa sebanyak 1,5% dan serat serabut kelapa sebanyak 3,5%.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian pada beton dengan bahan tambah abu serabut kelapa dan serabut kelapa terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Dalam pembuatan beton, setiap tahapan pekerjaan perlu dilakukan secara cermat, khususnya pada proses pencampuran dan pemadatan beton segar. Campuran yang tidak homogen atau pemadatan yang kurang baik dapat menyebabkan terbentuknya pori atau rongga pada beton, sehingga kepadatan beton berkurang dan hasil pengujian sifat mekaniknya tidak mencapai kondisi yang diharapkan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian karakteristik kimia abu serabut kelapa, seperti analisis kandungan oksida menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) atau pengujian kimia lainnya. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui komposisi senyawa penyusun abu serabut kelapa sehingga dapat memberikan penjelasan yang lebih mendalam mengenai pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton..
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan pengujian modulus elastisitas beton bersamaan dengan pengujian kuat tekan agar sifat mekanis beton dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Selain itu, penelitian berikutnya juga perlu menggunakan variasi umur benda uji,

seperti 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, sehingga perkembangan kekuatan serta karakteristik beton pada setiap tahap umur dapat diketahui secara lebih rinci dan akurat.

4. Pada penelitian selanjutnya perlu diperhatikan dan di kontrol kembali untuk proses pembuatan abu serabut kelapanya, dan perlu ditambahkan variasi abu serabut kelapanya pada campuran beton.

DAFTAR PUSTAKA

Affandy, M., & Bukhori, M. (2019). *Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Islam Lamongan

Badan Standarisasi Nasional. (1990). (03-1968-1990) Metode Pengujian tentang Analisis Saringan Agregat Halus. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (1990). (03-1969-1990) Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (1990). (03-1972-1990) Metode Pengujian Slump Beton. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (1990). (SNI 03-1974-1990) Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (1996). (SNI 03-4142-1996) Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm). Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. (1997). (SNI 03-4431-1997) Metode Pengujian Kuat Lentur Beton. Jakarta

Badan Standardisasi Nasional. (2000). (SNI 03-2834-2000) Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Jakarta.

Elhusna, dkk. (2011). *Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Lentur Beton dengan Faktor Air Semen 0,5*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan.

Fahrizal, & Sari, R. (2024). *Pengaruh Abu Sabut Kelapa Sebagai Alternatif Mengganti Sebagian Semen Dengan Memakai Bahan Tambah Sika Viscocrate 8670 Mn Terhadap Kuat Tarik Belah Beton*. Jurnal Teknik Sipil.

Prayogia, dkk. (2024). *Pengaruh tambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton*. Jurnal Proyek Teknik Sipil.

Puspitasari, D., & Widodo, S. (2021). *Pengaruh Penggunaan Abu Serabut Kelapa sebagai Substitusi Sebagian Semen dengan Penambahan Superplasticizer terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton*. Jurnal Teknik Sipil.

Purwanto, dkk. (2021). *Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.

Rohana. (2022). *Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. Universitas Islam Riau.

Santosa. (2009). *Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (Ask) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Bahan Tambah Sikament-Ln Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton*. Universitas Janabadra

Tasik, dkk. (2022). *Pengaruh Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua.

Tobing, G. R. L., & Risdianto, Y. (2019). *Pengaruh penambahan serat sabut kelapa (coconut fiber) terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton*. *Rekayasa Teknik Sipil, 1*(2), 1–8.

LAMPIRAN

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

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Urain	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	466	468	467
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1015	1020	1017,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	715	718	716,5
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,330	2,364	2,347
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,500	2,525	2,513
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,807	2,819	2,813
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100))	7,296	6,838	7,067

Keterangan:

- 500: Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering muka, dalam gram

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1969-1990)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4850	4836	4843
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3079	3079	3079
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,525	2,517	2,521
Berat jenis kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,603	2,603	2,603
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,739	2,752	2,745
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100))	3,093	3,391	3,242

Keterangan:

- 5000: Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering muka, dalam gram

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir
Sampel	1

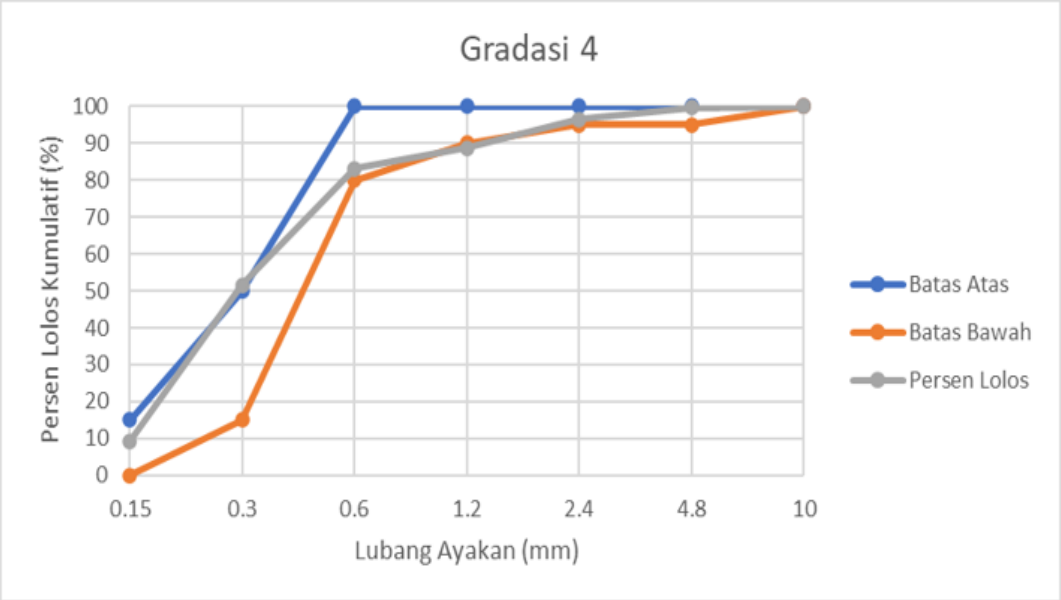
Lubang Ayakan (mm)	**Berat Tertinggal (gram)**	**Berat Tertinggal (%)**	**Berat Tertinggal Kumulatif(%)**	**Persen Lolos Kumulatif(%)**
4,8	5	0,25	0,25	99,75
2,4	64	3,20	3,45	96,55
1,2	156	7,80	11,25	88,75
0,6	111	5,55	16,80	83,20
0,3	631	31,55	48,35	51,65
0,15	848	42,40	90,75	9,25
Pan	185	9,25	100	0
Jumlah	2000	100	270,85	429,15

Modulus Halus Butir $= \frac{270{,}85}{100} = 2{,}709$

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisis Saringan:

- Pasir masuk daerah : Daerah IV
- Jenis Pasir : Pasir Halus



MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir
Sampel	2

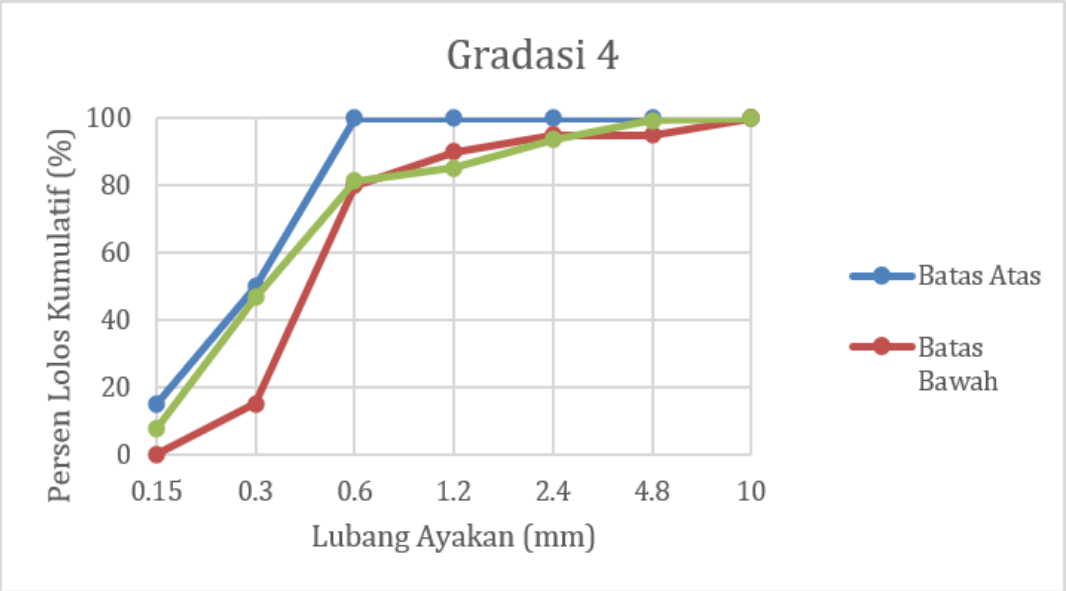
Lubang Ayakan (mm)	**Berat Tertinggal (gram)**	**Berat Tertinggal (%)**	**Berat Tertinggal Kumulatif(%)**	**Persen Lolos Kumulatif(%)**
4,8	14	0,70	0,70	99,30
2,4	116	5,80	6,50	93,50
1,2	165	8,25	14,75	85,25
0,6	77	3,85	18,60	81,40
0,3	692	34,60	53,20	46,80
0,15	780	39,00	92,20	7,80
Pan	156	7,80	100	0
Jumlah	2000	100	285,95	414,05

Modulus Halus Butir $= \frac{285,95}{100} = 2,859$

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisis Saringan:

- Pasir masuk daerah : Daerah IV
- Jenis Pasir : Pasir Halus



MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Kerikil	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir
Sampel	1

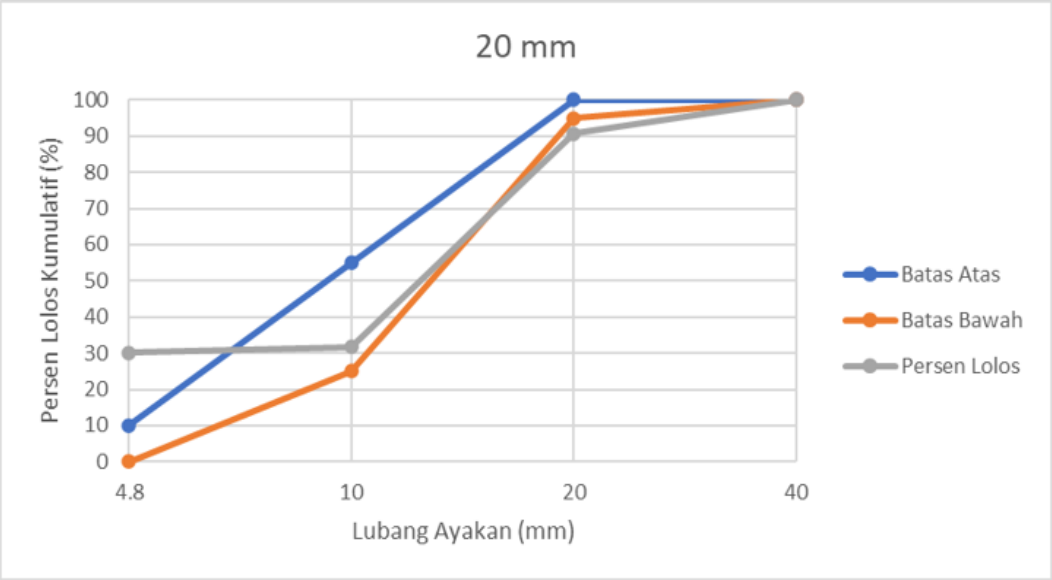
Lubang Ayakan (mm)	**Berat Tertinggal (gram)**	**Berat Tertinggal (%)**	**Berat Tertinggal Kumulatif (%)**	**Persen Lolos Kumulatif (%)**
40	0	0	0	100
20	463	9.26	9.26	90.74
10	2950	59	68.26	31.74
4,8	83	1.66	69.92	30.08
2,4	1411	28.22	98.14	1.86
1,2	19	0.38	98.52	1.48
0,6	0	0	98.52	1.48
0,3	0	0	98.52	1.48
0,15	0	0	98.52	1.48
Pan	74	1.48	100	0
Jumlah	5000	100	740	260

Modulus Halus Butir $= \frac{740}{100} = 7,4$

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisis Saringan:

- Pasir masuk daerah : Gradasi 20 mm
- Ukuran butir maksimum : 20 mm



MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Kerikil	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir
Sampel	2

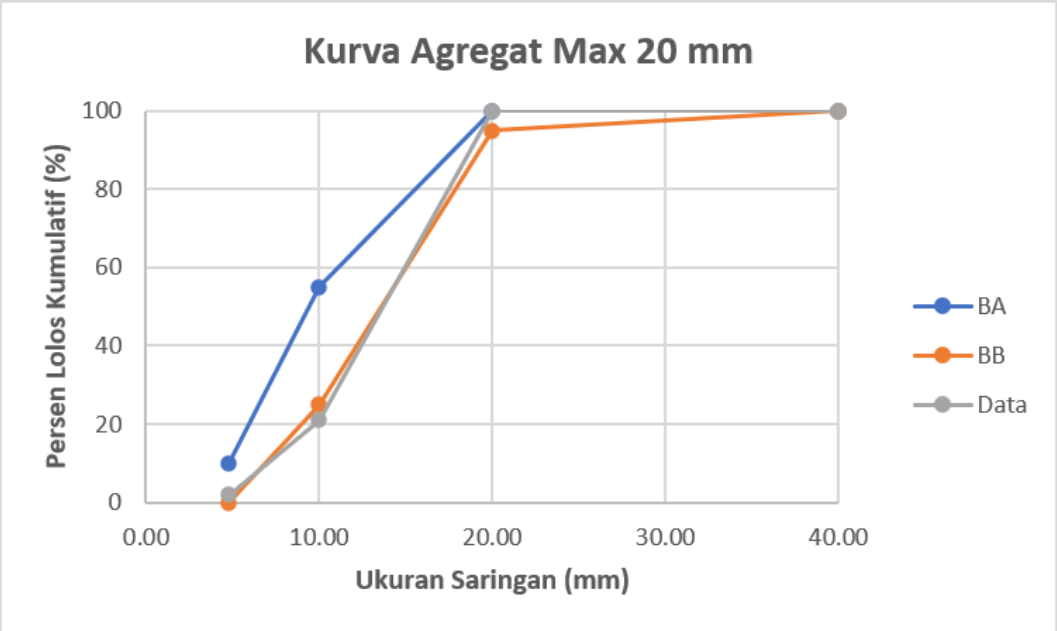
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3950	79	79	21
4,8	951	19.02	98.02	1.98
2,4	32	0.64	98.66	1.34
1,2	2	0.04	98.7	1.3
0,6	0	0	98.7	1.3
0,3	0	0	98.7	1.3
0,15	0	0	98.7	1.3
Pan	65	1.3	100	0
Jumlah	5000	100	670,48	229,52

Modulus Halus Butir $= \frac{670{,}48}{100} = 6{,}705$

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisis Saringan:

- Pasir masuk daerah : Gradasi 20 mm
- Ukuran butir maksimum : 20 mm



PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17402	17412	17407
Berat agregat (W3), gram	6607	6617	6612
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,246	1,248	1,2472

PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Pasir	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18826	18815	18820,5
Berat agregat (W3), gram	8031	8020	8025,5
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume padat (W3/V), gram/cm3	1,515	1,513	1,514

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

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Kerikil	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18182	18194	18188
Berat agregat (W3), gram	7387	7399	7393
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,393	1,396	1,394

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

Nama Peneliti	Yogi Hafizh Tsaqibfudin
NIM	22511131
Asal Kerikil	Progo
Tanggal Pengujian	24 Februari 2026
Keperluan	Penelitian Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**		
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Diameter silinder (d), cm	15	15	15
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	10795	10795	10795
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18826	18815	18820,5
Berat agregat (W3), gram	8031	8020	8025,5
Volume tabung (V), gram	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm3	1,515	1,513	1,514

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200/UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
(SNI 03-4142-1996)

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	484	472	478
Presentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2/W1]x100	3,2	5,6	4,4

FORMULIR PERENCANAAN CAMPURAN BETON METODE SNI
(SNI 2834-2000)

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Mpa
2	Nilai Tambah / Margin (M)	5,6	Mpa
3	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	30,6	Mpa
4	Jenis Semen	Tipe I	
5	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
6	Faktor air semen bebas (fas)	0,56	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
7	FAS digunakan	0,56	
8	Slump	60-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	20	mm
10	Kadar air bebas	205	Kg/m3
11	Kadar semen minimum	275	Kg/m3
	Kadar semen maksmum	-	Kg/m3
12	Kadar semen digunakan	366,07	Kg/m3
13	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi IV	
14	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,6028	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,500	
15	Persen Agregat Halus	29,75	%
16	Persen Agregat Kasar	70,25	%
17	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,57	
18	Berat isi Beton	2320	Kg/m3
19	Kadar agregat gabungan	1748,93	Kg/m3
20	Kadar agregat halus	520,31	Kg/m3
21	Kadar agregat kasar	1228,62	Kg/m3
22	Kadar semen dengan angka penyususstan	439,29	Kg/m3
23	Kadar air dengan angka penyusutan	246	Kg/m3
24	Kadar agregat halus dengan angka penyususstan	624,37	Kg/m3
25	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1474,35	Kg/m3

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Benda Uji	Hasil (MPa)
T-0-0	25,561
T-0,5-3,5	19,782
T-1-3,5	19,551
T-1,5-3,5	17,158

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Benda Uji	Hasil (MPa)
B-0-0	1,92
B-0,5-3,5	1,93
B-1-3,5	1,96
B-1,5-3,5	2,11

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Benda Uji	Hasil (MPa)
K-0-0	3,931
K-0,5-3,5	3,234
K-1-3,5	3,171
K-1,5-3,5	4,329

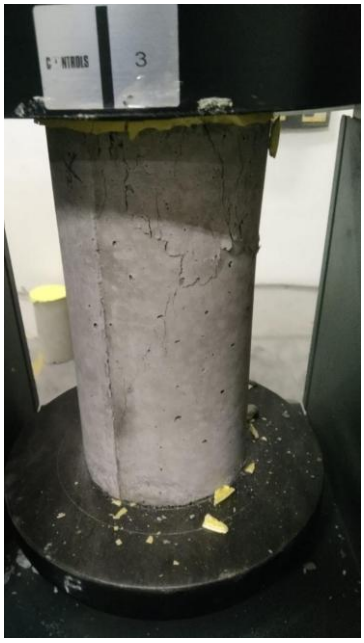
POLA RETAKAN PADA SAMPEL BENDA UJI PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON



Kode Benda Uji T-0-0



Kode Benda Uji T-0,5-3,5



Kode Benda Uji T-1-3,5



Kode Benda Uji T-1,5-3,5

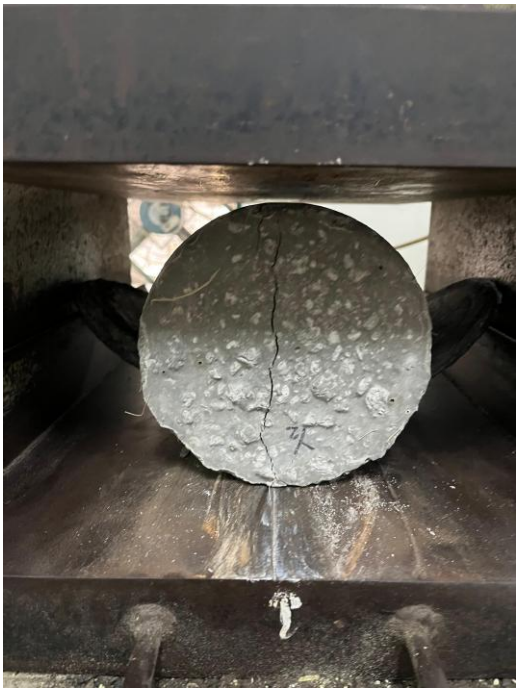
POLA RETAKAN PADA SAMPEL BENDA UJI PENGUJIAN TARIK BELAH BETON



Kode Benda Uji B-0-0



Kode Benda Uji B-0,5-3,5



Kode Benda Uji B-1-3,5



Kode Benda Uji B-1,5-3,5

POLA RETAKAN PADA SAMPEL BENDA UJI PENGUJIAN TARIK LENTUR BETON



Kode Benda Uji K-0-0



Kode Benda Uji B-0,5-3,5



Kode Benda Uji B-1-3,5



Kode Benda Uji B-1,5-3,5