

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH KARET BAN BEKAS
PADA AGREGAT KASAR CAMPURAN BETON NORMAL
TERHADAP NILAI KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS
DAN KUAT LENTUR BETON
(*EFFECT OF SUBSTITUTION OF WASTE RUBBER TIRES
IN COARSE AGGREGATE OF NORMAL CONCRETE MIX
ON COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE*)**

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



M. ZAM ZAM MUTTAQIN S.

20511423

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

2024

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH KARET BAN BEKAS
PADA AGREGAT KASAR CAMPURAN BETON NORMAL
TERHADAP NILAI KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS
DAN KUAT LENTUR BETON
(EFFECT OF SUBSTITUTION OF WASTE RUBBER TIRES
IN COARSE AGGREGATE OF NORMAL CONCRETE MIX
ON COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)**

Disusun oleh

**MOHAMMAD ZAM ZAM MUTTAQIN SYAH
20511423**

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

Diuji pada tanggal 22 November 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

13/12 2024

Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111305

Penguji 1

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

Penguji 2

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

18/12 2024

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Proposal Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian tertentu dalam penulisan Proposal Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Proposal Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 November 2024

Yang membuat

M. Zam Zam

(2051423)



LEMBAR DEDIKASI



Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya yang selama ini sudah membimbing, merawat, dan memberikan segala hal yang dimiliki.

Terima kasih telah memberikan doa dan dukungan serta selalu memperjuangkan cita-cita penulis hingga sampai pada titik ini. Tak lupa saudara kandung penulis yang selalu memberikan semangat dan doa.

Teruntuk diri sendiri, Mohammad Zam zam Muttaqin Syah terima kasih sudah memperjuangkan dan bertahan dalam menggapai cita-cita yang diinginkan. Tetaplah semangat untuk kedepannya, karena sekarang bukan akhir perjalanan namun awal perjalanan hidup yang harus dilalui untuk hidup yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk kelangsungan hidup umat manusia dan bisa diperbaiki serta dapat dikembangkan oleh peneliti lain.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb.

Segala Puji bagi Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH KARET BAN BEKAS PADA AGREGAT KASAR CAMPURAN BETON NORMAL TERHADAP NILAI KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON”. Proposal Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi syarat dalam penyelesaian Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir, penulis telah mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis akan menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Eng. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Jafar, S.T., MURP., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi yang tiada henti selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Penguji 1 dan Penguji 2, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan berharga dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmunya hingga penulis dapat menyelesaikan masa studi ini.
5. Bapak Ir. Sjaifuddin Z. Hamadin dan Ibu Dra. Yuda Prapti D., selaku orang tua saya, serta M. Amar R., M. Dzikri A. G, dan M. Fathul A. S., selaku kakak – kakak saya yang telah memberikan dukungan secara finansial maupun spritual sehingga penulis dapat menyelesaikan pembelajaran hingga di tahap penyelesaian tugas akhir ini.

6. Mutia Avalokita Salsabila., selaku pendamping penulis yang selalu memberikan semangat serta mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bayu Setya R., Astried Harera., Geraldin Firyan S., Frisca Diantha Y. A.H., selaku teman terdekat penulis yang menemani dan membantu dalam kelancaran penelitian ini.
8. Laboran Lab. Bahan Konstruksi Teknik dan Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama proses penelitian
9. Semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.

Segala kelebihan dari Tugas Akhir ini datang dari Allah SWT dan kekurangan yang terdapat pada proposal ini tak lain atas kekeliruan dari penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan permohonan maaf kepada semua pihak dengan setulus-tulusnya. Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Rekapitulasi Perbedaan Penelitian Terdahulu	8
2.4 Perbedaan Penelitian yang akan dilakukan	10
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Beton	11
3.2 Bahan Penyusun	11
3.2.1 Semen Portland	11
3.2.2 Agregat	12
3.2.3 Air	21
3.2.4 Bahan Substitusi (Limbah Ban Karet)	21
3.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	23

3.4	Kuat Tekan	28
3.5	Modulus Elastisitas	29
3.6	Kuat Lentur	30
BAB IV METODE PENELITIAN		33
4.1	Tinjauan Umum	33
4.2	Lokasi	33
4.3	Bahan dan Peralatan Pengujian	33
4.3.1	Bahan yang digunakan	33
4.3.2	Peralatan yang digunakan	34
4.4	Tahapan Penelitian	35
4.4.1	Persiapan Bahan	35
4.4.2	Pembuatan Benda Uji	36
4.4.3	Perawatan Benda Uji	38
4.4.4	Pengujian Benda Uji	38
4.5	Prosedur Pengujian	39
4.5.1	Uji Slump	39
4.5.2	Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas Beton	39
4.5.3	Kuat Lentur Beton	40
4.6	Bagan Alir Metode Penelitian	40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		42
5.1	Pengujian Material	42
5.1.1	Pengujian Agregat Halus	42
5.1.2	Pengujian Agregat Kasar	45
5.2	Perhitungan Campuran Beton	49
5.2.1	Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton	49
5.2.2	Hasil Perencanaan Campuran dengan Substitusi Ban Karet	54
5.3	Hasil Penelitian dan Pembahasan	55
5.3.1	Nilai Slump Test dan Metode Perawatan	55
5.3.2	Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan	57
5.3.3	Analisa Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	65
5.3.4	Analisa Hasil Pengujian Kuat Lentur	76
5.3.5	Analisa Hasil Optimum	82

BAB VI Kesimpulan dan Saran	83
6.1 Kesimpulan	83
6.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekapitulasi Perbedaan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3.1 Gradasi Pasir	14
Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Kasar	15
Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar	24
Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar	24
Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3)	26
Tabel 3.6 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum	26
Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton	37
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	42
Tabel 5.2 Uji Modulus Agregat Halus	43
Tabel 5.3 Berat Volume Gembur Agregat Halus	44
Tabel 5.4 Berat Volume Padat Agregat Halus	45
Tabel 5.5 Pengujian Kandungan Lumpur	45
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	46
Tabel 5.7 Uji Modulus Agregat Kasar	47
Tabel 5.8 Berat Volume Gembur Agregat Kasar	48
Tabel 5.9 Berat Volume Padat Agregat Kasar	48
Tabel 5.10 Hasil Uji Tekan Trial Mix Design	54
Tabel 5.11 Hasil Substitusi Ban Karet dengan Pencampuran Beton	55
Tabel 5.12 Hasil Slump Test	56
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan	61
Tabel 5.14 Presentase Perubahan Kuat Tekan	64
Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Tegangan - Regangan Beton KT1-1	67
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus	71
Tabel 5.17 Rasio Perbandingan Modulus Percobaan dan Teoritis	74
Tabel 5.18 Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Lentur	79
Tabel 5.19 Presentase Perubahan Kuat Lentur	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Agregat Halus	14
Gambar 3.2 Agregat Kasar	15
Gambar 3.3 Potongan Ban Bekas	23
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	25
Gambar 3.5 Grafik Presentase Agregat Halus	27
Gambar 3.6 Grafik Isi Beton	28
Gambar 3.7 Ilustrasi Kuat Tekan pada Silinder	29
Gambar 3.8 Patah di daerah pusat	31
Gambar 3.9 Patah di luar pusat <5%	31
Gambar 3.10 Patah di luar pusat >5%	32
Gambar 4.1 Flowchart Metode Penelitian	41
Gambar 5.1 Kurva Gradasi II Agregat Halus	44
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm	47
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	50
Gambar 5.4 Grafik Presentase Agregat halus	51
Gambar 5.5 Perkiraan Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan	52
Gambar 5.6 Perbandingan Volume Karet dengan Agregat Kasar	55
Gambar 5.7 Hasil Slump Test	56
Gambar 5.8 <i>Curing</i> Benda Uji	57
Gambar 5.9 Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	63
Gambar 5.10 Grafik Modulus Beton KT1-1	69
Gambar 5.11 Grafik Histogram Modulus Elastisitas Beton	73
Gambar 5.12 Grafik Histogram Rasio Modulus Percobaan dan Teoritis	74
Gambar 5.13 Pengujian Modulus Elastisitas dengan Ekstensiometer dan Mesin Kuat Tekan	75
Gambar 5.14 Beban Pengujian Balok	76
Gambar 5.15 Keruntuhan Balok Setelah Pengujian	77
Gambar 5.16 Grafik Histogram Perbandingan Kuat Lentur	80
Gambar 5.17 Benda Uji Setelah Mengalami Pengujian	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Administrasi Tugas Akhir	88
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan	89
Lampiran 3 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	93
Lampiran 4 Hasil Uji Kuat Lentur	150
Lampiran 5 Gambar Pengujian	151

ABSTRAK

Infrastruktur beton masih mendominasi konstruksi di Indonesia, namun ketergantungan pada bahan agregat kasar dari sumber alam memunculkan tantangan lingkungan. Untuk mengurangi dampak ini, pemanfaatan limbah karet ban bekas sebagai substitusi agregat kasar dalam beton diusulkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah ban bekas terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton normal.

Pada Penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, serta kuat lentur pada beton. Dalam penelitian ini di gunakan variasi substitusi ban karet sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat agregat kasar. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu silinder dengan dimensi tinggi 300 mm, dan berdiameter 150 mm, serta balok berukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm.

Hasil pengujian kuat tekan beton dalam penelitian menunjukkan penurunan hingga 43,39% pada variasi 8%, namun pada hasil pengujian kuat lentur dapat menaikkan kuat lenturnya hingga 16,96% pada variasi 4%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah ban bekas pada beton dapat menurunkan nilai kuat tekan seiring peningkatan kadar substitusi, namun dapat meningkatkan nilai fleksibilitas dan daya tahan terhadap retak serta deformasi pada kadar substitusi tertentu. Substitusi limbah ban ini juga berpotensi mengurangi konsumsi agregat alami dan mendukung solusi berkelanjutan dalam konstruksi beton. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk inovasi beton ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah karet ban serta memberikan manfaat bagi penelitian lanjutan di bidang konstruksi

Kata Kunci: Nilai Kuat Tekan, Nilai Kuat Lentur, Ban Karet.

ABSTRACT

Concrete infrastructure still dominates construction in Indonesia, but the reliance on coarse aggregate materials from natural sources poses environmental challenges. To mitigate this impact, the utilization of waste tire rubber as a substitute for coarse aggregate in concrete is proposed. This study aims to analyze the effect of waste tire substitution on compressive strength, modulus of elasticity, and bending strength of normal concrete. In this study, compressive strength, modulus of elasticity, and bending strength were tested on concrete.

In this study, rubber tire substitution variations of 2%, 4%, 6%, and 8% of the coarse aggregate weight were used. The test objects used in this study are cylinders with dimensions of 300 mm high, and 150 mm in diameter, as well as blocks measuring 150 mm x 150 mm x 600 mm.

The results of the concrete compressive strength test in the study showed a decrease of up to 43.39% at the 8% variation, but the bending strength test results could increase the bending strength up to 16.96% at the 4% variation. This shows that the use of waste tires in concrete can decrease the compressive strength value along with the increase in substitution levels, but can increase the flexibility and durability value against cracking and deformation at certain substitution levels. This waste tire substitution also has the potential to reduce the consumption of natural aggregates and support sustainable solutions in concrete construction. This research is expected to be a reference for environmentally friendly concrete innovations that utilize tire rubber waste and provide benefits for further research in the construction field

Keywords: Compressive Strength Value, Flexural Strength Value, Rubber Tires

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Infrastruktur di Indonesia masih sebagian besar masih menggunakan beton dalam konstruksinya. Secara umum beton tersusun dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air, serta dapat di campurkan bahan tambah yang mampu meningkatkan kinerja dari mutu beton tersebut. Dalam pembuatan beton sering kali digunakan bahan yang berasal dari alam salah satunya adalah agregat kasar. Karena agregat kasar digunakan secara terus menerus maka sebaiknya dalam penggunaannya di batasi agar tidak mempengaruhi aspek lingkungan hidup. Oleh sebab itu, upaya untuk mengurangi penggunaan agregat kasar adalah dengan menggunakan dan memanfaatkan bahan jenis lainnya seperti limbah padat.

Penggunaan limbah padat untuk substitusi material pada konstruksi beton bukanlah hal yang baru. Penggunaan limbah padat sebagai pengganti agregat pada beton dianggap sebagai solusi yang cukup menjanjikan untuk mengurangi limbah padat yang bersifat anorganik (Orde, 2015). Karena dengan penggunaan limbah untuk pengganti atau bahan tambah untuk beton dapat mengurangi polusi yang terjadi serta akan adanya terobosan baru dalam pembuatan beton. Limbah padat adalah limbah yang sulit di uraikan dengan alam, karena sifatnya yang sulit hancur dengan sendirinya. Salah satu contoh limbah padat yang sulit di hancurkan adalah limbah ban karet. Limbah ban karet memiliki sifat yang tahan terhadap air, memiliki sifat fleksibilitas dan lentur yang baik serta dapat meredam getaran (Griya, 2015).

Penggunaan ban luar bekas sebagai substitusi agregat kasar dalam penelitian terdahulu dapat mengurangi kuat tekan pada beton (Mohseni & Koushkbagi 2023, Winansa & Setiawan 2019) namun di sisi lain ban luar motor menawarkan sejumlah keunggulan yang signifikan. Ban luar motor terbuat dari bahan karet atau polimer

yang sangat kuat, selain itu ban juga diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat sehingga dapat menghasilkan suatu bahan yang memiliki karakteristik seperti memiliki kuat tarik yang kuat, fleksibel, ketahanan geser yang tinggi, serta kedap air (Wraith, 2006). Selain itu, ban luar dapat mengurangi penggunaan material alam yang terbatas, seperti kerikil atau batu pecah, serta penggunaan ban bekas membantu dalam konservasi sumber daya alam sekaligus mengurangi limbah padat yang sulit terurai di lingkungan. Oleh karena itu substitusi ban luar dari berat agregat kasar pada campuran beton mampu memberikan sifat yang lebih tahan terhadap retak dan guncangan, serta dapat mereduksi deformasi yang terjadi sehingga dapat meningkatkan daya tahan beton.

Dalam penelitian ini, penulis akan menambahkan ban bagian ban luar bekas motor yang akan di potong- potong sesuai ukuran dari agregat kasar pada umumnya untuk mengganti dari berat agregat kasar dalam pembuatan beton. Inovasi ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan, tetapi juga dapat mengurangi biaya material dalam pembuatan beton, menjadikannya solusi yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Winansa & Setiawan (2019). Penambahan potongan ban bekas pada adukan beton dengan kadar 15% dari berat agregat kasar akan menurunkan kuat tekan beton hingga 59,83%. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan Aرسالani (2023). Hasil yang di dapatkan pada umur 28 hari, kuat lentur beton menunjukkan bahwa campuran dengan persentase limbah karet sol 4% dari agregat kasar menghasilkan nilai kuat lentur 5,44 Mpa lebih tinggi 6,88% dibandingkan dengan beton normal yang menghasilkan nilai kuat lentur 5,09 Mpa. Sedangkan persentase 8% dan 12% mengalami penurunan kuat lentur dibandingkan dengan beton normal, yang menghasilkan nilai kuat lentur 4,71 Mpa dan 4,18 Mpa. Substitusi limbah karet sol pada campuran beton sebesar 4% dari berat agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat lentur beton dan merupakan campuran yang menghasilkan kekuatan optimal pada beton.. Dalam hal ini penulis akan memfokuskan untuk mengurangi penurunan dalam kuat tekan serta menguji ban bekas motor dalam menaikkan kuat lentur dengan penambahan variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat agregat kasar.

Dengan mengetahui uraian diatas mengenai limbah ban karet, maka peneliti mengangkat judul pengaruh substitusi limbah karet ban bekas pada agregat kasar campuran beton normal terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan nilai kuat lentur beton. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas permasalahan yang akan di bahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh persentase substitusi limbah karet ban bekas terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh substitusi limbah ban karet memengaruhi modulus elastisitas beton?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah karet ban terhadap nilai kuat lentur beton?
4. Berapa persentase substitusi limbah ban karet yang memiliki kinerja terbaik beton diperoleh?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur beton dengan menggunakan limbah ban karet sebagai bahan substitusi agregat kasar
2. Mengetahui hasil perbandingan nilai kuat tekan, nilai modulus elastisitas dan nilai kuat lentur antara beton normal dengan beton yang menggunakan bahan limbah ban karet pada substitusi agregat kasar

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi limbah ban karet sehingga diharapkan dapat menjadi salah satu solusi terhadap permasalahan lingkungan.

2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan inovasi berupa penggunaan limbah ban karet sebagai substitusi agregat kasar pada campuran beton normal.
3. Sebagai referensi untuk pengetahuan mengenai limbah ban karet berguna dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan Pada Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) mengacu pada Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa (SNI 7656:2012).
2. Semen yang digunakan merupakan semen *portland* tipe I dengan merek Tiga Roda.
3. Rancangan campuran beton (*Mix Design*) dibuat dengan mutu beton $f'c$ 25 MPa
4. Ukuran cetakan benda uji adalah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, balok berukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan panjang 60 cm yang berada di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Substitusi pada agregat kasar menggunakan limbah ban karet dengan rincian variasi sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat agregat kasar.
6. Limbah ban karet yang digunakan adalah ban luar motor yang sudah bekas dan dipotong potong
7. Ukuran limbah ban karet yang akan digunakan berukuran sekitar 20 mm. pengambilan ukuran 20 mm ini dengan cara memotong motong ban bekas tersebut dan didasarkan pada penentuan ukuran besar butir agregat maksimum
8. Pengambilan limbah ban karet dilakukan di tempat penampungan ban bekas di sekitar Yogyakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam sebuah penelitian, penelitian terdahulu dibutuhkan untuk membuktikan validitas ilmiahnya. Sejumlah penelitian sebelumnya dengan tema yang sama telah dilakukan, hal ini akan membantu menjadi landasan penelitian yang akan dilakukan. Melalui tinjauan ini, maka akan teridentifikasi antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan, sehingga akan memperluas pemahaman akan inovasi yang ingin di capai.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat sebagai berikut

1. Mendaur ulang ban bekas TPA menjadi bahan konstruksi: Daya tahan beton yang dibuat dengan karet yang terkelupas
Mohseni dan Kouskhbagi (2023)., melakukan sebuah penelitian “Mendaur ulang ban bekas TPA menjadi bahan konstruksi: Daya tahan beton yang dibuat dengan karet yang terkelupas”. Hasil yang didapatkan, pada saat substitusi 60-80% akan mengurangi kuat tekan beton sangat signifikan, hal ini disebabkan sifat karet mengendalikan campuran Kelebihan dari substitusi limbah ban karet yaitu meningkatkan keuletan beton dan mengurangi densitas sehingga sesuai untuk beton ringan. Selain itu, beton karet dalam penelitian ini menunjukkan keunggulan fungsional yang lebih unggul daripada beton biasa dalam hal kinerja akustik, Meskipun memiliki kekuatan yang lebih rendah dengan menggunakan karet pada beton, beton karet yang dibuat dengan kandungan tinggi partikel karet kasar yang hemat biaya yang sangat sesuai untuk penggunaan non-struktural terutama di lingkungan yang agresif atau peredaman kebisingan sangat penting.

2. Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur

Arsalani (2023)., melakukan sebuah penelitian "Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur". Hasil yang di dapatkan pada umur 28 hari, kuat lentur beton menunjukkan bahwa campuran dengan persentase limbah karet sol 4% dari agregat kasar menghasilkan nilai kuat lentur 5,44 Mpa lebih tinggi 6,88% dibandingkan dengan beton normal yang menghasilkan nilai kuat lentur 5,09 Mpa. Sedangkan persentase 8% dan 12% mengalami penurunan kuat lentur dibandingkan dengan beton normal, yang menghasilkan nilai kuat lentur 4,71 Mpa dan 4,18 Mpa. Substitusi limbah karet sol pada campuran beton sebesar 4% dari berat agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat lentur beton dan merupakan campuran yang menghasilkan kekuatan optimal pada beton.

3. Analisis Pengaruh Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dengan Penambahan Admixture Damdex Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton

Senanta (2022)., melakukan sebuah penelitian "Analisis Pengaruh Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dengan Penambahan Admixture Damdex Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton". Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terdapat pada campuran beton dengan penambahan ban bekas sebanyak 5% dan Damdex sebanyak 7,5% yaitu sebesar 27,87 MPa, kuat tarik belah optimum terdapat pada campuran beton dengan penambahan 15% ban bekas dan 7,5% Damdex yaitu sebesar 2,157 MPa. Pengaruh penambahan ban bekas pada campuran beton dapat menurunkan kuat tekan beton hingga 30,01% pada kadar 5% dari berat agregat kasar, sedangkan Damdex mampu meningkatkan kuat tekan beton.

4. Pemanfaatan Serbuk Karet Terhadap Kuat Tekan dan Daya Redam Beton non Struktural

Faizah et al (2022) melakukan sebuah penelitian “Pemanfaatan Serbuk Karet Terhadap Kuat Tekan dan Daya Redam Beton non Struktural.” Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan penggunaan serbuk karet ban bekas pada campuran beton dapat meningkatkan nilai slump beton, penggunaan serbuk karet ban bekas pada campuran beton dapat menurunkan nilai kuat tekan beton dan penggunaan serbuk karet ban bekas pada campuran beton dapat meningkatkan nilai rasio redaman beton

5. Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton

Winansa, dan Setiawan (2019)., melakukan sebuah penelitian “Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton”. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa tidak terjadi peningkatan kuat tekan pada beton bahkan hasil yang didapat menunjukkan penurunan pada kuat tekan beton. Kuat tekan yang didapat pada variasi 0% adalah sebesar $210,06 \text{ kgf/cm}^2$, pada variasi 5% didapat kuat tekan sebesar $138,71 \text{ kgf/cm}^2$, pada variasi 10% didapat kuat tekan sebesar $108,25 \text{ kgf/cm}^2$, pada variasi 15% didapat kuat tekan sebesar $84,37 \text{ kgf/cm}^2$. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah beton yang dibuat dengan campuran potongan ban bekas sebagai pengganti agregat kasarnya tidak layak digunakan sebagai beton untuk pekerjaan struktur dikarenakan kuat tekan yang dihasilkan terlalu rendah.

2.3 Rekapitulasi Perbedaan Penelitian Terdahulu

Adapun perbedaan penelitian terdahulu dirangkum pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Rekapitulasi Perbedaan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Winansa & Setiawan (2019)	Fauziah et al., (2022)	Senanta (2022)	Arsalani (2023)	Mohseni & Kouskhubagi (2023)	Penulis (2024)
Judul Penelitian	Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Serbuk Karet Terhadap Kuat Tekan dan Daya Redam Beton non Struktural	Analisis Pengaruh Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dengan Penambahan Admixture Damdex Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton	Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur	Recycling of landfill waste tyre in construction materials: Durability of concrete made with chipped rubber	Pengaruh Substitusi Limbah Karet Ban Bekas Pada Agregat Kasar Campuran Beton Normal Terhadap Nilai Kuat Tekan, Modulus Elastisitas Dan Kuat Lentur Beton
Tujuan Penelitian	mencari besarnya kuat tekan beton dengan penambahan potongan ban bekas sebagai pengganti sebagian dari agregat kasar pada beton	mengetahui daya redam yang dimiliki suatu beton serta menguji kuat tekan beton dengan campuran serbuk karet	Mengetahui bagaimana pengaruh ban bekas sebagai pengganti agregat kasar dan penambahan admixture Damdex terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.	Menganalisis pengaruh penambahan karet sol terhadap kuat lentur, dan menganalisis persentase substitusi agregat limbah sol karet terhadap agregat kasar yang menghasilkan kuat lentur optimum	Dapat menentukan daya tahan beton dengan material substitusi limbah ban bekas	Mengetahui pengaruh substitusi ban limbah karet terhadap kuat tekan, modulus serta kuat lentur

Lanjutan Tabel 2.1 Rekapitulasi Perbedaan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Winansa & Setiawan (2019)	Fauziah et al., (2022)	Senanta (2022)	Arsalani (2023)	Mohseni & Kouskhabagi (2023)	Penulis (2024)
Hasil Penelitian	<p>Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan penurunan pada kuat tekan beton. Kuat tekan yang didapat pada variasi 0% adalah sebesar 210,06 kgf/ cm² , pada variasi 5% didapat kuat tekan sebesar 138,71 kgf/cm² , pada variasi 10% didapat kuat tekan sebesar 108,25 kgf/cm² , pada variasi 15% didapat kuat tekan sebesar 84,37 kgf/ cm²</p>	<p>Hasil dari penggunaan serbuk karet ban bekas pada campuran beton dapat menurunkan nilai kuat tekan beton dan penggunaan serbuk karet ban bekas pada campuran beton dapat meningkatkan nilai rasio redaman beton</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terdapat pada campuran ban bekas sebanyak 5% dan Damdex sebanyak 7,5% yaitu sebesar 27,87 MPa, kuat tarik pada campuran beton dengan penambahan 15% ban bekas dan 7,5% Damdex yaitu sebesar 2,157 MPa. Pengaruh penambahan ban bekas dapat menurunkan kuat tekan beton hingga 30,01% pada kadar 5% dari berat agregat kasar,</p>	<p>Hasil yang di dapatkan pada umur 28 hari, kuat lentur beton menunjukkan bahwa campuran dengan persentase limbah karet sol 4% dari agregat kasar menghasilkan nilai kuat lentur 5,44 Mpa lebih tinggi 6,88% dibandingkan dengan beton normal yang menghasilkan nilai kuat lentur 5,09 Mpa. Sedangkan persentase 8% dan 12% mengalami penurunan kuat lentur dibandingkan dengan beton normal.</p>	<p>Hasil yang didapatkan, pada saat substitusi 60-80% akan mengurangi kuat tekan beton sangat signifikan, hal ini disebabkan sifat karet mengendalikan campuran, namun dapat meningkatkan keuletan beton dan mengurangi densitas sehingga sesuai untuk beton ringan</p>	<p>Hasil yang di dapatkan adalah dengan penambahan substistusi limbah ban karet dapat menurunkan kuat tekan, namun meningkatkan kuat lentur pada variasi substitusi tertentu</p>

2.4 Perbedaan Penelitian yang akan dilakukan

Penelitian ini memiliki perbedaan dari penelitian terdahulu. Beberapa perbedaan dengan penelitian terdahulu sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan dengan memaksimalkan persenan yang paling optimal dari uji kuat tekan dan uji kuat lentur dari substitusi limbah ban karet dengan menggunakan 0%, 2%, 4% 6%, dan 8% dari berat agregat kasar.
2. Membandingkan perbedaan antara uji tekan, uji modulus, dan uji lentur dari substitusi limbah ban karet untuk mencari hasil terbaik dari kedua aspek uji. Untuk kuat tekan akan menggunakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm, dan balok 60 cm x 15 cm x 15 cm

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus, yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara keduanya, serta kadang-kadang ditambahkan additive (Tjokrodinuljo, 2004). Terdapat tiga jenis beton jika diklasifikasikan menurut berat isi beton (Mulyono, 2004) sebagai berikut.

1. **Beton Ringan**

Beton ringan menurut Badan Standarisasi Nasional (2019) merupakan beton yang mengandung agregat ringan dan densitas setimbang (equilibrium density), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m³.

2. **Beton Normal**

Beton normal menurut Badan Standarisasi Nasional (2019) merupakan beton yang memiliki kepadatan (berat jenis) antara 2155 dan 2560 kg/m³, dan normalnya diambil nilai sebesar 2320 hingga 2400 kg/m³.

3. **Beton Berat**

Beton berat menurut Badan Standarisasi Nasional (2012) merupakan beton yang mempunyai berat isi lebih besari 2.500 kg/m³. Mulyono (2004) menambahkan bahwa beton berat digunakan untuk menahan radiasi dan aplikasi lainnya.

3.2 Bahan Penyusun

3.2.1 Semen Portland

Semen Portland menurut Badan Standarisasi Nasional (2004) merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling

bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya.

Jika semen ditambahkan dengan air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambahkan dengan agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang apabila digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversible, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2004), terdapat lima jenis dari semen portland sebagai berikut.

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat

Agregat merupakan kumpulan butir kerikil, batu pecah, pasir ataupun mineral lainnya. Pemilihan agregat dalam pembuatan beton penting dikarenakan agregat mengisi kurang lebih 70% volume dari beton itu sendiri, dan juga agregat mempengaruhi sifat-sifat dari beton itu sendiri.

Menurut SNI-2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil dari desintegrasi yang terlaksana secara alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh suatu industri pemecah batu, agregat halus memiliki ukuran butir terbesar sebesar 5,0 mm. Agregat kasar merupakan batuan yang terdesintegrasi alami

ataupun berupa batu pecah yang diperoleh dari suatu industri pemecah batu yang memiliki ukuran butir antara 5mm sampai dengan 40mm.

1. Agregat Halus

Agregat halus menurut Badan Standarisasi Nasional (2000) merupakan pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm. Syarat-syarat agregat halus menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya (1971) adalah sebagai berikut.

- 1) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
- 2) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- 4) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat (1) dalam (PBI 1971) harus memenuhi syarat sebagai berikut.
 - a. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - b. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - c. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80-90% berat.
 - d. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahanbahan yang diakui
- 5) Memenuhi tabel gradasi pasir yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan			
	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	35-39	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Sumber: Tjokrodimulyo, 1992)

Keterangan:

Daerah I : pasir kasar

Daerah II : pasir agak kasar

Daerah III : pasir agak halus

Daerah IV : pasir halus



Gambar 3.1 Agregat Halus

2. Agregat Kasar

Agregat kasar menurut Badan Standarisasi Nasional (2000) merupakan kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm-40 mm. Syarat-syarat agregat kasar menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya (1971) adalah sebagai berikut.

- 1) Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.

- 2) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak memiliki pori-pori yang lebih dari 20% dari berat total agregat. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Jika lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

Menurut Badan Standarisasi Nasional (200), ukuran maksimal agregat kasar dikelompokkan menjadi 3 golongan yang dapat diketahui melalui uji gradasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95-100	100	-
19	35-70	95-100	100
9,6	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

(Sumber: Tjokrodimulyo, 1992)



Gambar 3.2 Agregat Kasar

3. Pengujian Material

Adanya perlu dilakukan pengujian material untuk mengetahui karakteristik dan klasifikasi agregat. Pengujian material yang akan dilakukan adalah sebagai berikut

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Langkah-langkah dari pengujian diatas adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan atau biasa disebut *saturated surface dry* (SSD)
- 2) Benda uji dimasukkan pada oven dan dikeringkan pada suhu (110 ± 5) Celcius sehingga berat uji tetap, dimana setelah proses penimbangan dan pengeringan selama 3 kali proses dengan selang waktu 2 jam tidak terjadi perubahan kadar air yang melebihi 0,1%. Setelah itu lakukan perendaman selama 24 ± 4 jam dalam air.
- 3) Setelah perendaman, buang air rendaman dan pastikan tidak terdapat butiran yang terbang, letakkan agregat pada pan kemudian dikeringkan di udara panas sampai mencapai jenuh kering permukaan.
- 4) Masukkan 500 gr benda uji ke dalam piknometer dan masukkan air sampai terisi sekitar 90% isi piknometer.
- 5) Pada kondisi miring, putarkan piknometer yang berisi agregat halus dan air ke arah kiri dan ke arah kanan sampai gelembung udara yang terdapat pada agregat hilang
- 6) Timbang berat piknometer, agregat halus beserta air dan catat hasilnya.
- 7) Dengan menggunakan pan, letakkan agregat halus dari piknometer kemudian keringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5) o C selama 24 jam
- 8) Timbang piknometer dalam keadaan kosong kemudian catat beratnya.
- 9) Setelah 24 jam dalam oven, keluarkan agregat lalu timbang dan catat beratnya

10) Berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu dan penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

a) Berat jenis curah, gram/cm³ (*bulk specific gravity*)

$$\frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.1)$$

b) Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)

$$\frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

c) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$\frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.3)$$

d) Penyerapan air

$$\frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Untuk langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Pastikan benda uji bersih dari kotoran pada permukaan dengan dicuci terlebih dahulu.
- 2) Keringkan benda uji pada oven dengan suhu (110 ± 5) Celcius, setelah itu dinginkan selama 3 jam.
- 3) Setelah mencapai kondisi SSD, timbang agregat sebanyak 5000gr kemudian ditempatkan dalam keranjang dan dicelupkan kedalam air lalu catat beratnya.
- 4) Letakkan agregat pada pan lalu keringkan selama ±24 jam di dalam oven.
- 5) Setelah 24 jam, keluarkan agregat lalu timbang dan catat beratnya
- 6) Berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu dan penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

a) Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

$$\frac{Bk}{Bj-Ba} \quad (3.5)$$

b) Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.6)$$

c) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.7)$$

d) Penyerapan Air

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.8)$$

c. Pengujian analisa saringan agregat halus

Pengujian analisa saringan agregat halus merupakan hasil benda uji yang lolos dalam saringan 4,75 mm (No.4). Langkah-langkah pengujian analisa saringan agregat halus adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5) Celcius hingga berat benda uji tetap.
- 2) Keluarkan benda uji dari oven kemudian di dinginkan.
- 3) Susun saringan dimulai dari ukuran terbesar ke terkecil dengan ukuran saringannya meliputi 9,5 mm; 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,600 mm (No. 30); 0,300 mm (No.50); 0,150 mm (No. 100), dan pan.
- 4) Masukkan benda uji kedalam saringan dari ukuran terbesar menuju terkecil kemudian lakukan proses penyaringan dengan bantuan mesin ayak, lakukan proses penyaringan selama 10-15 menit.
- 5) Ambil benda uji yang tersaring pada setiap ukuran saringan lalu letakan diatas pan untuk ditimbang dan dicatat beratnya.

d. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Pengujian ini merupakan pengujian dimana benda uji tidak lolos pada saringan 4,75 mm (No.4). Langkah-langkah pengujian analisa saringan agregat kasar adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5) Celcius hingga berat benda uji tetap.
- 2) Keluarkan benda uji dari oven kemudian di dinginkan.
- 3) Susun saringan dimulai dari ukuran terbesar ke terkecil dengan ukuran saringannya meliputi 9,5 mm; 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18

mm (No. 16); 0,600 mm (No. 30); 0,300 mm (No.50); 0,150 mm (No. 100), dan pan.

- 4) Masukkan benda uji kedalam saringan dari ukuran terbesar menuju terkecil kemudian lakukan proses penyaringan dengan bantuan mesin ayak, lakukan proses penyaringan selama 10-15 menit.
- 5) Ambil benda uji yang tersaring pada setiap ukuran saringan lalu letakan diatas pan untuk ditimbang dan dicatat beratnya.
- 6) Setelah mendapat hasil pengukuran dari berat masing-masing benda uji yang tersaring, hitung Modulus Halus Butir (MHB) untuk agregat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MHB = \frac{\Sigma \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.9)$$

e. Pengujian berat volume padat/gembur agregat halus

Untuk langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5) Celcius hingga berat benda uji tetap.
- 2) Keluarkan benda uji dari oven kemudian di dinginkan.
- 3) Lakukan pengukuran pada silinder, kemudian catat dimensi dan beratnya.
- 4) Pada pengujian berat volume padat, agregat halus dimasukkan ke dalam silinder ukur sebanyak 1/3 bagian dari tinggi silinder dan setiap bagian ditumbuk 25 kali secara merata, kemudian lakukan hingga volume penuh.
- 5) Pada pengujian berat volume gembur, agregat halus dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai terisi penuh tanpa pemadatan secara ditumbuk kemudian ratakan.
- 6) Lakukan penimbangan berat terhadap silinder ukur yang sudah terisi benda uji dan catat beratnya.
- 7) Berat volume dihitung menggunakan dari hasil penimbangan.

f. Pengujian berat volume padat/gembur agregat kasar

Langkah-langkah pengujian berat volume padat agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga berat benda uji tetap.
- 2) Keluarkan benda uji dari oven kemudian di dinginkan.
- 3) Lakukan pengukuran pada silinder, kemudian catat dimensi dan beratnya.
- 4) Pada pengujian berat volume padat, agregat halus dimasukkan ke dalam silinder ukur sebanyak $1/3$ bagian dari tinggi silinder dan setiap bagian ditumbuk 25 kali secara merata, kemudian lakukan hingga volume penuh.
- 5) Pada pengujian berat volume gembur, agregat halus dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai terisi penuh tanpa pemadatan secara ditumbuk kemudian ratakan.
- 6) Lakukan penimbangan berat terhadap silinder ukur yang sudah terisi benda uji dan catat beratnya.
- 7) Berat volume dihitung menggunakan dari hasil penimbangan.

g. Pengujian lolos saringan No. 200

Untuk langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga berat benda uji tetap.
- 2) Masukkan benda uji ke saringan kemudian siram air di atasnya
- 3) Mulai proses pengayakan sampai agregat melewati saringan No. 200 dengan tetap mengalirkan air sampai hanya tersisa bagian yang kasar di atasnya.
- 4) Terus lakukan proses tersebut hingga air pencucian tetap jernih.
- 5) Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga berat benda uji tetap.
- 6) Perhitungan berat yang lolos saringan No. 200 dengan persamaan:

$$\text{Berat yang lolos saringan No. 200} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (3.10)$$

3.2.3 Air

Faktor air sangat mempengaruhi dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organik lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya. Air adalah alat untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penuangan beton

Tujuan utama dari pemakaian air pada campuran beton adalah agar terjadi hidrasi, yaitu terjadinya reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran beton ini menjadi keras setelah beberapa waktu tertentu. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira-kira 20% dari berat semen.

Berikut ini adalah persyaratan air yang dapat digunakan untuk campuran beton menurut Badan Standarisasi Nasional (2002).

- a). Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- b). Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
- c). Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asamasam, zat organik dsb) lebih dari 15 gram/liter.
- d). Kandungan klorida (Cl) < 0,50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.
- e). Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.

3.2.4 Bahan Substitusi (Limbah Ban Karet)

Almanaf (2015), ban merupakan bagian penting dari sebuah kendaraan yang merupakan suatu peranti yang menutupi velg roda dan digunakan untuk melindungi roda dari aus dan kerusakan, selain itu ban juga berfungsi untuk memikul beban dari kendaraan tersebut.

Berdasarkan Keputusan Menteri Perindustrian Dan Perdagangan Republik Indonesia Tentang Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) Ban Secara Wajib. Disebutkan pada Pasal 1 terdapat jenis-jenis ban yaitu sebagai berikut:

- a). Ban Mobil Penumpang (SNI 06 -0098-2002)
- b). Ban Truk dan Bus (SNI 06-0099-2002)
- c). Ban Truk Ringan (SNI 06-0100-2002)
- d). Ban Sepeda Motor (SNI 06-0101-2002)
- e). Ban Dalam Kendaraan Bermotor (SNI 06-6700-2002)

Menurut Warith (2006), ban terbuat dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat, selain itu ban juga diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat sehingga dapat menghasilkan suatu bahan yang memiliki karakteristik seperti berikut:

- a). Memiliki kuat tarik yang sangat kuat
- b). Fleksibel
- c). Memiliki ketahanan geser yang tinggi
- d). Kedap air

Pada penelitian ini, limbah ban karet dapat digunakan sebagai pengganti sebagian (substitusi) agregat kasar pada campuran beton, hal ini dilakukan karena karakteristik dari limbah ban karet yang digunakan dapat memenuhi persyaratan agregat kasar sesuai dengan ketentuan SNI-03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton. Ketentuan ban bekas yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a). Persyaratan Bentuk

Pada SNI-03-1750-1990 dijelaskan bahwa bentuk agregat kasar yang tidak beraturan dan bersudut-sudut akan memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap campuran beton, limbah ban karet yang digunakan akan dipotong terlebih dahulu sehingga memiliki bentuk yang tidak beraturan dan bersudut sehingga memenuhi persyaratan.

- b). Persyaratan Kebersihan

Pada SNI-03-1750-1990 dijelaskan bahwa agregat yang digunakan harus bersih dari kotoran, kandungan lumpur pada pasir <5% dan pada kerikil

<1%, limbah ban karet memiliki sifat kedap air dan yang digunakan pada penelitian ini diberikan pre-treatment terlebih dahulu seperti dicuci terlebih dahulu sehingga limbah ban karet akan bersih dari kotoran dan kandungan lumpur didalamnya.

c). Persyaratan Tekstur

Pada SNI-03-1750-1990 dijelaskan bahwa tekstur permukaan agregat kasar tidak dipersyaratkan dengan jelas tetapi lebih disarankan menggunakan agregat yang memiliki permukaan kasar dan kasar agar memperkuat lekatan pada permukaan agregat, limbah ban karet yang digunakan dalam penelitian ini memiliki permukaan yang relatif kasar dan kasar.

d). Persyaratan ukuran

Pada SNI-03-1750-1990 dijelaskan bahwa agregat kasar memiliki ukuran butir 5mm sampai dengan 40mm, ban bekas yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketebalan 20mm, panjang dan lebar 30mm sehingga memenuhi persyaratan.



Gambar 3.3 Potongan Ban Bekas

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Acuan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton pada penelitian ini adalah SNI 03-2843-2000. Berikut merupakan tahapan perencanaan beton

1. Kuat Tekan rencana

Rumus perhitungan kuat tekan rata-rata yang direncanakan adalah sebagai berikut.

$$f_{cr} = f_{c'} + M \quad (3.11)$$

dimana:

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.12)$$

dengan:

f_{cr} = kuat tekan rata-rata rencana (MPa)

$f_{c'}$ = kuat tekan rencana (Mpa)

M = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik

S_r = deviasi standar rencana

Nilai deviasi standar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini

Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

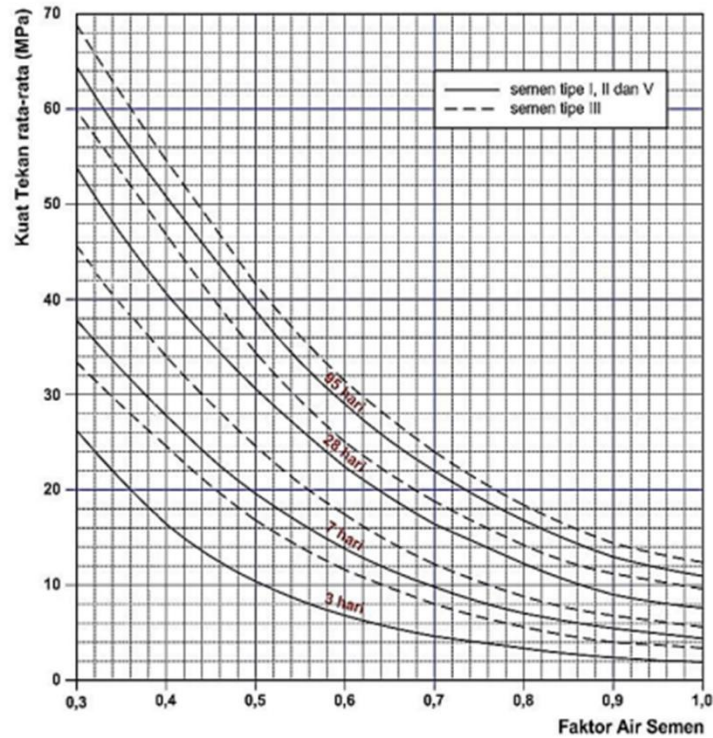
2. Faktor Air Semen (FAS)

Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan dapat ditinjau dari Tabel 3.4 dan Gambar Grafik 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar

Jenis semen ...	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
Batu pecah	30	40	53	60		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3. Kadar Air Bebas

Penentuan nilai slump harus disesuaikan dengan pelaksanaan pekerjaan agar beton yang dihasilkan dapat dituang dengan mudah, diratakan, dan dipadatkan. Nilai slump beton sangat dipengaruhi oleh kadar air bebas dalam campuran beton segar. Penentuan kadar air bebas dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \quad (3.13)$$

dengan:

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Untuk mengetahui nilai W_h dan W_k dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³)

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

4. Kadar Semen

Penentuan kadar semen dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air semen}} \quad (3.14)$$

Kemudian, perlu dilakukan penentuan terhadap persyaratan terkait faktor air semen maksimum dan jumlah semen minimum. Jika terjadi perubahan dalam jumlah semen yang melebihi jumlah minimum dan jumlah maksimum yang ditetapkan, maka perhitungan ulang terhadap faktor air semen harus dilakukan. Syarat mengenai jumlah semen minimum dan nilai FAS maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini.

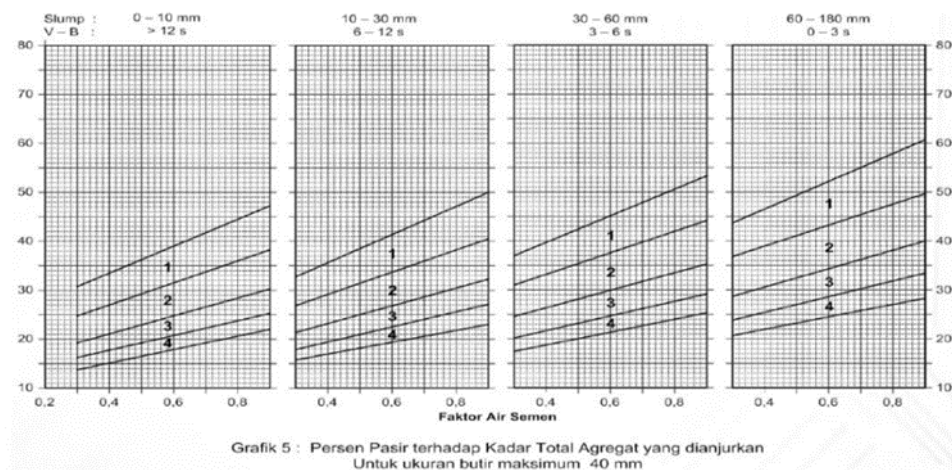
Tabel 3.6 Syarat Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum

Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

5. Kadar Agregat Halus

Data FAS dan slump dapat digunakan untuk menentukan nilai presentase kadar agregat halus, serta mengamati bagian-bagian gradasi dari butir agregat halus. Sebuah grafik dapat digunakan untuk membantu dalam penentuan persentase dari agregat halus, dimana grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.

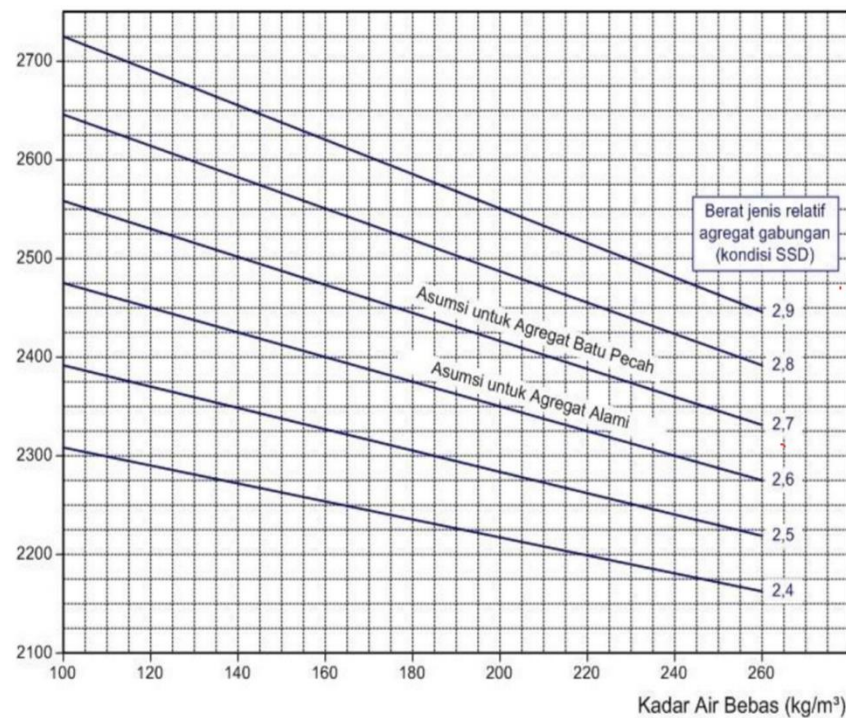


Gambar 3.5 Grafik Presentase Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2384-2000)

6. Berat Isi Beton

Berat isi beton yang sesuai dengan berat jenis relatif dan kadar air bebas dari agregat gabungan dapat ditentukan dengan melihat grafik yang terdapat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



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

Gambar 3.6 Grafik Isi Beton

(Sumber: SNI 03-2384-2000)

7. Komposisi Material

Komposisi bahan melibatkan menentukan berat semen dan air yang akan digunakan untuk mencapai berat gabungan yang diinginkan dari dua agregat. Massa setiap bahan perakitan beton individu dalam 1 m³ campuran beton dapat ditentukan dengan menghitung proporsi dari berat total.

8. Menghitung Kadar

Menghitung kadar potongan limbah ban karet melalui berat total agregat kasar yang digunakan setiap benda uji

3.4 Kuat Tekan

Pengertian kuat tekan beton secara umum adalah besarnya beban per satuan luas, yang dapat menyebabkan benda uji beton hancur apabila diberi beban gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh suatu mesin tekan. Kuat tekan beton juga dapat diartikan sebagai kapasitas suatu beton dalam menahan suatu gaya tekan sebelum mencapai kegagalan. Nilai kuat tekan beton menunjukkan mutu suatu struktur

dimana semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang didapat maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2006). Berdasarkan SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.15 berikut.

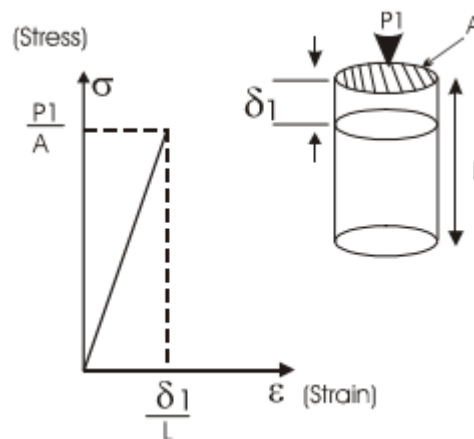
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.15)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima gaya tekan (mm^2)



Gambar 3.7 Ilustrasi Kuat Tekan pada Silinder

(Sumber: Rundawateknik.co.id)

3.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan hasil pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu objek ketika diterapkan gaya. Jadi, modulus elastisitas ini dipergunakan untuk mencari tahu seberapa besar rasio objek tersebut dapat berubah (deformasi elastis) ketika mengalami tekanan atau regangan.

Beton pun juga dapat mengalami deformasi elastis dan oleh sebab itu, setiap rumah atau bangunan yang akan dibangun perlu melalui proses perhitungan modulus elastisitas beton. Hal ini guna untuk mencari tahu seberapa besar gaya yang dapat ditumpukan pada beton yang akan digunakan agar rumah yang didirikan dapat berdiri dengan kokoh.

Adapun langkah langkah dalam pengujian Modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

- a). Ukur diameter benda uji dengan jangka sorong pada 3 posisi ukur, ditengah dan di kedua ujung benda uji sampai ketelitian 0,05 mm dari hasil pembacaan rata-rata
- b). Panjang benda uji termasuk kaping harus diukur sampai pembacaan 1 mm
- c). Timbang benda uji dengan ketelitian timbangan 0,3%
- d). Pasang alat kompresometer-ekstensometer pada benda uji dengan benar dan kokoh, kemudian pasang alat pengukur deformasi (dial gauge) pada posisi yang tepat
- e). Letakkan benda uji yang telah diberi alat ukur deformasi (dial gauge) pada mesin uji tekan dengan kedudukan simetris
- f). Jalankan mesin uji tekan dan berikan pembebanan secara teratur, dengan kecepatan pembebanan antara 207 s.d 275 kPa/detik sampai benda uji hancur atau sampai mesin uji tidak memberikan beban lagi.
- g). Catatlah regangan/deformasi setiap peningkatan beban 10 kN, dan catat beban tekan pada saat regangan tercapai 50×10^{-6} serta catat regangan yang dicapai pada saat pembebanan mencapai 40% beban maksimum.

Setelah itu, Modulus Elastisitas beton (E_c) dapat diperoleh dari kurva tegangan-regangan beton, yaitu kemiringan kurva bagian awal yang linier. Menurut Nawy (1990) sampai nilai tegangan 0,40 f'_c maksimum kurva tegangan-regangan masih linier, dan nilai modulus elastisitas beton dihitung dengan rumus

$$E = \frac{0,4 \cdot f'_c}{\varepsilon_{0,4}} \quad (3.16)$$

Keterangan:

f'_c = tegangan tekan maksimum (MPa)

$\varepsilon_{0,4}$ = regangan pada saat tegangan tekan mencapai 0,4 tegangan tekan maksimum

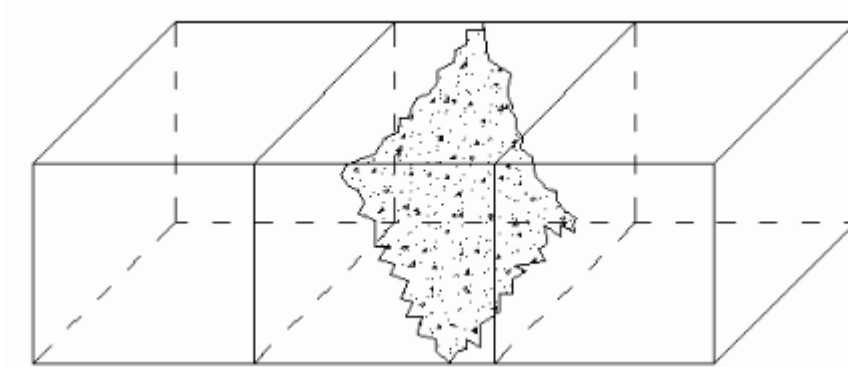
3.6 Kuat Lentur

Kuat lentur beton dengan sistem pembebanan dua titik adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus smubu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah,

dinyatakan dengan Mega Pascal (Mpa) gaya per satuan luas. Nilai kuat lentur beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.17 dan 3.18 berikut.

Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat (1/3 jarak perlatakan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus

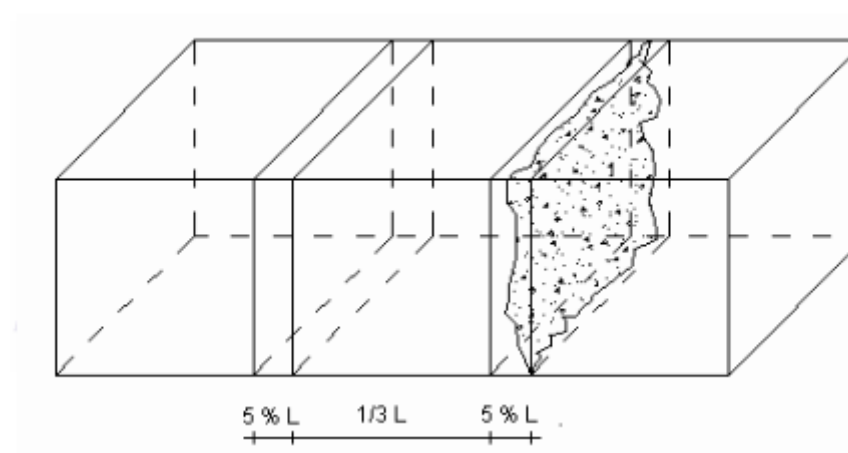
$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (3.17)$$



Gambar 3.8 Patah di daerah pusat

Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perlatakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan, maka kuat lentur dihitung dengan rumus

$$\sigma = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (3.18)$$



Gambar 3.9 Patah di luar pusat <5%

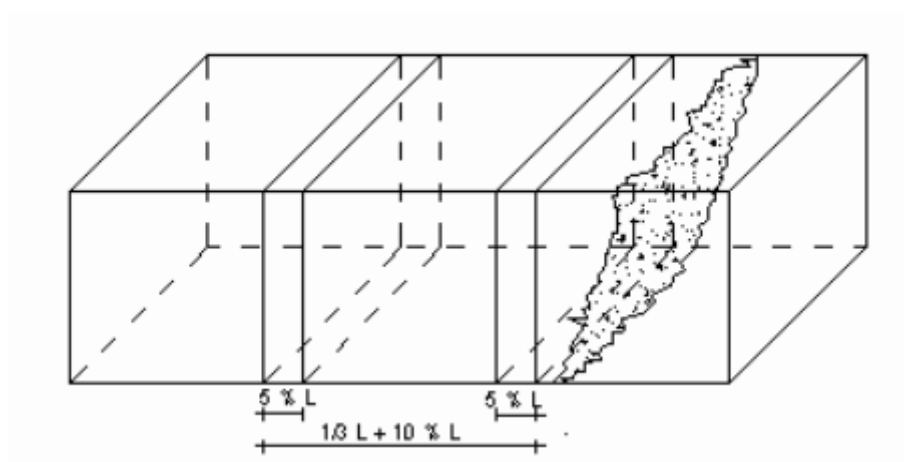
Keterangan:

σ = kuat lentur benda uji (Mpa)

P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton) l 2

- L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
 b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
 h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
 a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar $1/3$ jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 3.10 Patah di luar pusat >5%

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah prosedur pelaksanaan dalam suatu penelitian yang memiliki tujuan untuk mendapatkan ilmu atau pengetahuan ilmiah dari permasalahan penelitian yang akan dilaksanakan. Penelitian yang akan dilakukan termasuk kedalam jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah suatu penelitian yang dilakukan dengan cara membuat variasi pada variabel bebas sehingga berpengaruh terhadap variabel terikat.

4.2 Lokasi

Penelitian ini terbagi menjadi pembuatan sampel benda uji dan pengujian benda uji. Pembuatan sampel dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian sampel juga dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan dan Peralatan Pengujian

Adapun bahan dan peralatan yang akan digunakan oleh peneliti sebagai berikut:

4.3.1 Bahan yang digunakan

1. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

2. Agregat

Agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Pada penelitian ini menggunakan agregat halus dan agregat kasar

3. Semen Portland

Semen jenis Portland Composite Cement (PCC) tipe I dengan merek Tiga Roda yang digunakan dalam pembuatan beton. Semen harus disimpan dalam penyimpanan yang sesuai agar kualitasnya tidak menurun.

4. Limbah Ban Karet (Bahan Substitusi)

Ban Bekas yang digunakan merupakan ban motor bekas jenis ban luar, untuk mendapatkan ukuran yang sesuai dengan agregat kasar maka ban di potong potong terlebih dahulu dengan alat gerinda. Lalu, variasi yang digunakan sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat total agregat kasar. Potongan ban karet ini akan digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar.

4.3.2 Peralatan yang digunakan

Untuk mendapatkan hasil yang sesungguhnya dan guna menunjang penelitian ini, diperlukan beberapa peralatan dengan kondisi yang baik. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Timbangan merupakan sebuah alat untuk menimbang bahan-bahan penyusun beton dan benda uji sebelum melakukan pengujian. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan ohaus dan timbangan jarum.

2. Saringan Agregat

Saringan merupakan suatu alat yang berfungsi dalam pengujian analisa lolos saringan terhadap agregat halus dan agregat kasar.

3. Cetakan Silinder dan Balok

Cetakan silinder dan Balok merupakan suatu cetakan yang berfungsi untuk membentuk adukan beton yang telah berbentuk sebagai benda uji. Cetakan silinder yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran diameter 150mm dan tinggi 300mm, sedangkan cetakan balok memiliki ukuran lebar 150mm, tinggi 150mm dan panjang 600mm

4. Alat Ukur

Terdapat beberapa alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya yaitu mistar dan kaliper. Kedua alat ukur tersebut berfungsi untuk mengukur

dimensi dari suatu benda uji yang akan diuji. Mistar juga dapat digunakan untuk mengukur tinggi nilai slump.

5. Oven

Pada penelitian ini akan menggunakan oven yang berfungsi untuk mengeringkan bahan--bahan penyusun beton yaitu agregat.

6. Ember

Ember merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menampung berbagai material seperti air, agregat, semen, dan material lainnya. Selain itu ember juga berfungsi untuk membantu memasukkan material kedalam mixer.

7. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengukur nilai slump pada saat beton dalam kondisi segar setelah mixer.

8. Tongkat penumbuk

Tongkat penumbuk merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memadatkan campuran beton pada Kerucut Abrams.

9. Mixer beton

Mixer beton adalah mesin pengaduk yang digunakan dalam pembuatan campuran beton yang terbuat dari berbagai bahan penyusun beton untuk menghasilkan beton segar. Mixer beton yang digunakan dalam penelitian ini berkapasitas m^3 dan dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.

10. Alat Pengujian

Beton Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari 2 jenis pengujian yaitu pengujian kuat tekan beton dan kuat lentur beton.

4.4 Tahapan Penelitian

Diperlukan adanya suatu prosedur atau tahapan-tahapan yang tersusun dengan baik dan sistematis agar penelitian yang dilakukan akurat dan memenuhi tujuan penelitian.

4.4.1 Persiapan Bahan

Persiapan bahan merupakan tahapan yang sangat penting untuk dilakukan sebelum melakukan penelitian. Tahapan ini dilakukan agar bahan memiliki mutu yang baik dan sesuai dengan yang disyaratkan. Terdapat beberapa persiapan yang dilakukan diantaranya adalah pembersihan material. Adapun beberapa persiapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Material Khusus

Pada tahap persiapan material khusus, terdapat beberapa material penyusun beton yang harus disiapkan diantaranya adalah agregat halus, agregat kasar, air, semen, dan material lainnya. Pada penelitian ini terdapat material tambahan lainnya yaitu ban bekas

2. Pembersihan Material

Pembersihan material dilakukan pada agregat kasar ataupun agregat halus. Pembersihan dilakukan bertujuan untuk menghasilkan material yang memenuhi persyaratan dalam campuran beton.

3. Pengujian Material

Sebelum membuat campuran beton, perlu dilakukan pengujian material untuk mengetahui karakteristik dan klasifikasi agregat. Pengujian material yang akan dilakukan meliputi sebagai berikut:

- a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- c. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
- d. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
- e. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Halus
- f. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar
- g. Pengujian Lolos Saringan No. 200

4.4.2 Pembuatan Benda Uji

Sampel uji memiliki bentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm, dan balok berukuran lebar 15cm tinggi 15cm dan panjang 60cm. Sampel uji dalam penelitian ini digunakan untuk pengujian kuat tekan beton, dan kuat lentur beton. Standar yang digunakan dalam pembuatan benda uji berdasarkan SNI-2493-2011

tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Umur pengujian dan kondisi pengujian minimum berdasarkan SNI-2493-2011 adalah berjumlah tiga dengan umur pengujian selama 28 hari. Berdasarkan penjelasan tersebut, didapatkan jumlah benda uji dari variasi penambahan bahan tambah yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Kode Sampel	Persentase Penggunaan Limbah Ban Karet	Jumlah Sampel	Total Sampel
Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas	KT1	0%	5	25
	KT2	2%	5	
	KT3	4%	5	
	KT4	6%	5	
	KT5	8%	5	
Kuat Lentur Beton	KL1	0%	3	15
	KL2	2%	3	
	KL3	4%	3	
	KL4	6%	3	
	KL5	8%	3	
Total Sampe				40

Tahapan dalam pembuatan benda uji beton adalah sebagai berikut.

1. Siapkan bahan penyusun campuran beton, seperti agregat kasar, agregat halus dan air yang sebelumnya dipersiapkan dan telah diuji, kemudian bahan tambah limbah ban karet yang sudah dipotong sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan.
2. Takar bahan yang akan digunakan dalam campuran beton sesuai dengan standar perencanaan berdasarkan SNI 2493-2011.
3. Lakukan penimbangan bahan seperti semen portland, agregat kasar, agregat halus, air, dan limbah ban karet, sesuai dengan berat yang telah direncanakan.
4. Masukkan bahan bahan yang telah ditakar kedalam ember sebagai wadah untuk memudahkan pada saat pencampuran dimesin mixer beton.
5. Siapkan cetakan silinder dan olesi bagian dalam silinder dengan oli, kemudian timbang beratnya dan catat.
6. Siapkan mixer beton dan tempatnya untuk menuangkan beton segar.

7. Masukkan agregat kasar, agregat halus ke dalam mesin mixer dalam keadaan mesin hidup, aduk hingga agregat kasar dan agregat halus tercampur sampai merata.
8. Setelah bahan agregat kasar dan agregat halus telah tercampur merata dalam mixer, masukan variasi dari penambahan ban bekas dengan menebar secara perlahan.
9. Masukkan semen ke dalam mesin mixer dan tunggu sampai tercampur rata.
10. Tuangkan air kedalam mesin mixer secara perlahan untuk mengontrol kadar keenceran campuran beton segar.
11. Lakukan uji slump
12. Apabila uji slump telah memenuhi syarat, langkah selanjutnya adalah memasukkan campuran beton segar kedalam cetakan silinder sebanyak cetakan, kemudian tumbuk menggunakan tongkat penumpuk dan dipukul menggunakan palu karet sampai beton merata tanpa ada rongga udara. Ulangi proses tersebut hingga cetakan silinder penuh.
13. Ratakan bagian permukaan beton dengan alat.
14. Timbang beton segar yang sudah berada didalam cetakan lalu catat.
15. Setelah 1x24 jam beton dapat dibuka dari cetakan dan dapat dilakukan proses curing.

4.4.3 Perawatan Benda Uji

Berdasarkan SNI-2493-2011 tentang tatacara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium, menjelaskan bahwa benda uji dibuka dari cetakannya minimal 24 jam setelah beton segar dituang kedalam cetakan. Pada penelitian ini dilakukan perawatan benda uji dengan metode perendaman dalam air setelah keluar dari cetakan. Lama perawatan beton dilakukan selama 28 hari.

4.4.4 Pengujian Benda Uji

Penelitian ini melakukan pengujian kuat tekan beton dan kuat lentur beton pada setiap variasi campuran beton dengan benda uji berumur 28 hari. Benda uji ditimbang dan diukur terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian untuk memenuhi kebutuhan data penelitian.

4.5 Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara yang berbeda. Masing-masing pengujian ini akan memiliki langkah-langkah pengujian yang dilakukan secara metodis dan prosedural

4.5.1 Uji Slump

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara yang berbeda. Masing- masing pengujian ini akan memiliki langkah-langkah pengujian yang dilakukan secara metodis dan prosedural.

1. Isi kerucut Abrams dengan campuran beton segar setiap 1/3 bagian. Setiap bagian lakukan penumbukan dengan besi berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali secara merata.
2. Lakukan penumbukan pada setiap bagian secara merata hingga kerucut Abrams terenuhi beton segar.
3. Diamkan campuran beton segar selama 30 detik, kemudian kerucut Abrams diangkat secara vertikal untuk mencegah beton segar runtuh. Setelah itu kerucut Abrams ditempatkan di dekat campuran beton yang telah dicetak dan ukur tinggi slump dengan penggaris.

4.5.2 Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas Beton

Untuk langkah-langkah pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji.
2. Melakukan pengukuran dimensi dan berat pada benda uji.
3. Apabila silinder pada permukaan atas tidak rata, maka perlu ditambahkan belerang yang sudah dipanaskan terlebih dahulu hingga mencair lalu dituangkan pada cetakan, langkah selanjutnya adalah meletakkan permukaan beton yang tidak rata pada cetakan yang sudah diberi belerang cair dan tunggu sampai mengeras.
4. Letakkan benda uji pada mesin uji tekan beton dengan posisi sentris. Kemudian jalankan mesin dengan beban ditambahkan secara konstan sebesar 5 kN/detik.

5. Lakukan pembebanan pada benda uji sampai hancur dan catat angka beban maksimum yang didapat selama pengujian.

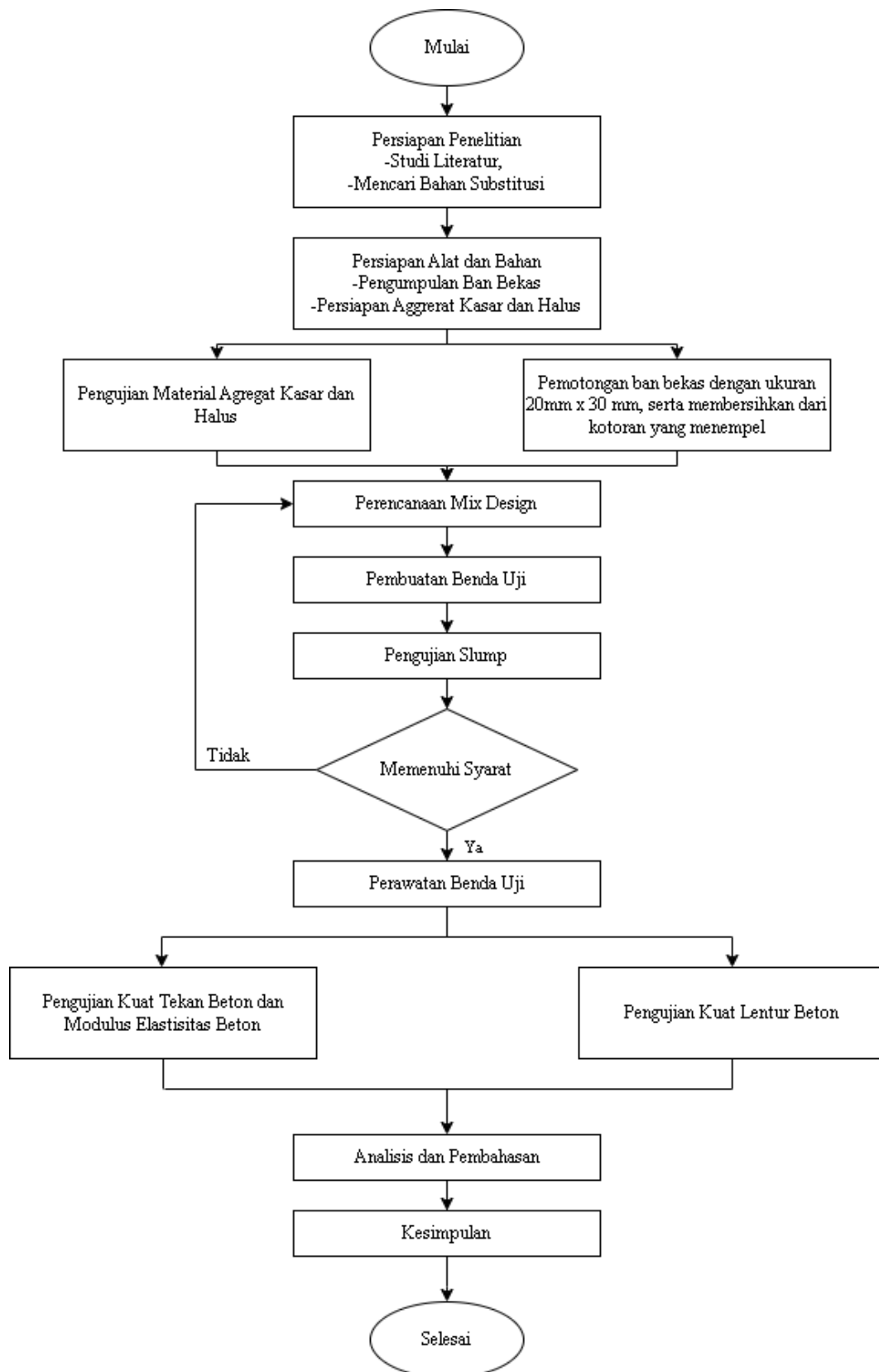
4.5.3 Kuat Lentur Beton

Untuk langkah-langkah pengujian kuat lentur beton dengan benda uji balok adalah sebagai berikut

1. Menyiapkan alat dan benda uji
2. Melakukan pengukuran dimensi dan berat pada benda uji
3. Letakkan benda uji pada tumpuan dan tur benda uji sehingga siap untuk pengujian lalu atur pembebanannya untuk menghindari terjadinya benturan
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepataannya 8 kg/cm^2 - 10 kg/cm^2 - 10 kg/cm^2 tiap menit.
5. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji

4.6 Bagan Alir Metode Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Flowchart Metode Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Uji material adalah langkah awal untuk memahami sifat atau karakteristik bahan yang digunakan dalam penelitian ini. Bahan yang digunakan harus memenuhi standar kualitas yang tinggi. Hasil pengujian ini akan dijadikan dasar untuk perhitungan komposisi bahan penyusun beton (*Mix Design*).

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dalam penelitian ini mencakup uji berat jenis, uji modulus kehalusan butiran, uji berat volume dalam kondisi gembur dan padat, serta uji kandungan lumpur (lolos saringan No.200).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485,00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1012,00	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708,00	gram
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,47	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,55	gram
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,68	gram
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	3,09	%

Dari hasil pengujian di dapatkan Berat jenis jenuh kering muka adalah 2,55 dimana hasil ini masih sesuai dengan yang di syaratkan yaitu 2,5 – 2,7 (Tjokrodinuljo, 2015) dan penyerapan air di dapat 3,09%. Berdasarkan SNI

03-1970-1990 rasio penyerapan air sudah baik karena kurang dari 5% Hasil ini akan di gunakan untuk perencanaan *Mix Design*.

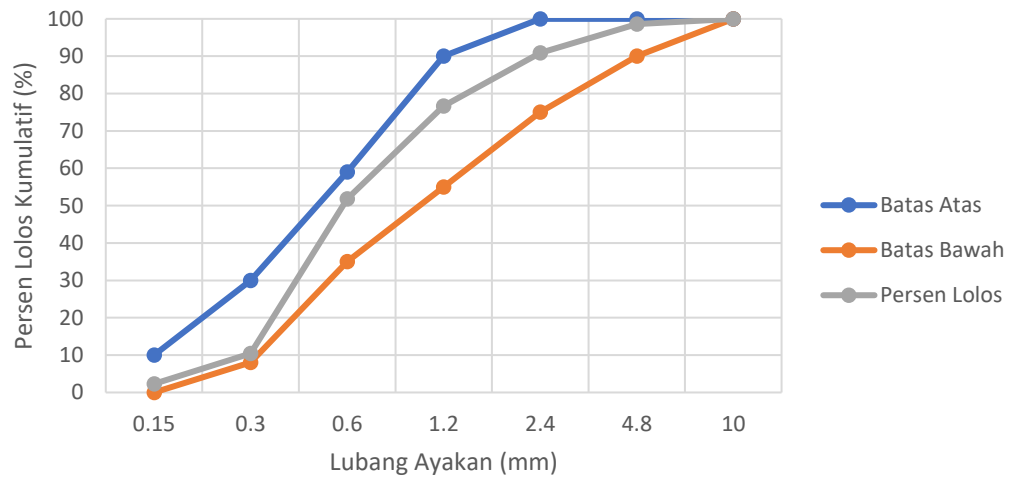
2. Pengujian Modulus Halus Butiran

Hasil dari pengujian modulus halus butiran dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5.2 Uji Modulus Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	28	1,40	1,40	98,60
2,40	155	7,75	9,15	90,85
1,20	284	14,20	23,35	76,65
0,60	496	24,80	48,15	51,85
0,30	829	41,45	89,60	10,40
0,15	162	8,10	97,70	2,30
Sisa	46	2,300	100,000	0
Jumlah	2000	100	269,350	330,650
			MHB =	2,694

Hasil uji modulus kehalusan butiran bertujuan untuk menentukan daerah gradasi agregat halus yang digunakan. Berdasarkan SNI 03-1968-1990, agregat halus dalam penelitian ini termasuk dalam gradasi daerah II, yang menunjukkan bahwa agregat halus tersebut agak kasar. Kurva gradasi agregat halus berdasarkan data tersebut dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi II Agregat Halus

3. Pengujian Volume Agregat Halus

a. Berat Volume Gembur

Hasil pengujian Berat Volume Gembur dapat dilihat pada Tabel 5.3 dibawah ini.

Tabel 5.3 Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18278	gram
Berat Agregat (W3)	6933	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Gembur	1,31	gram/cm ³

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 nilai berat volume gembur yang disyaratkan diantara 1,2 – 1,7., dan hasil dari pengujian didapatkan 1,31 dimana hasil ini sudah memenuhi syarat.

b. Berat Volume Padat

Hasil pengujian Berat Volume Padat dapat dilihat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19871	gram
Berat Agregat (W3)	8526	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Padat	1,61	gram/cm ³

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 nilai berat volume padat yang disyaratkan diantara 1,2 – 1,7., dan hasil dari pengujian didapatkan 1,61 dimana hasil ini sudah memenuhi syarat.

4. Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos saringan No. 200)

Hasil dari pengujian Kandungan Lumpur dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Pengujian Kandungan Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2)	494,0	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,2	%

Dari hasil pengujian kandungan lumpur, diperoleh nilai sebesar 1,2%. Sesuai dengan persyaratan pengujian kandungan lumpur (lolos saringan No.200), batas maksimum yang diizinkan adalah 5%. Karena agregat halus yang digunakan memenuhi batas kandungan lumpur yang ditentukan, maka agregat halus tersebut aman untuk digunakan.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4904,00	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3040,00	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,50	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,55	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,63	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,96	%

Dari hasil pengujian di dapatkan Berat jenis jenuh kering muka adalah 2,55 dimana hasil ini masih sesuai dengan yang di syaratkan yaitu 2,5 – 2,7 (Tjokrodinuljo, 2015) dan penyerapan air di dapat 1,96%. Berdasarkan SNI 03-1970-1990 rasio penyerapan air sudah baik karena kurang dari 5% Hasil ini akan di gunakan untuk perencanaan Mix Design.

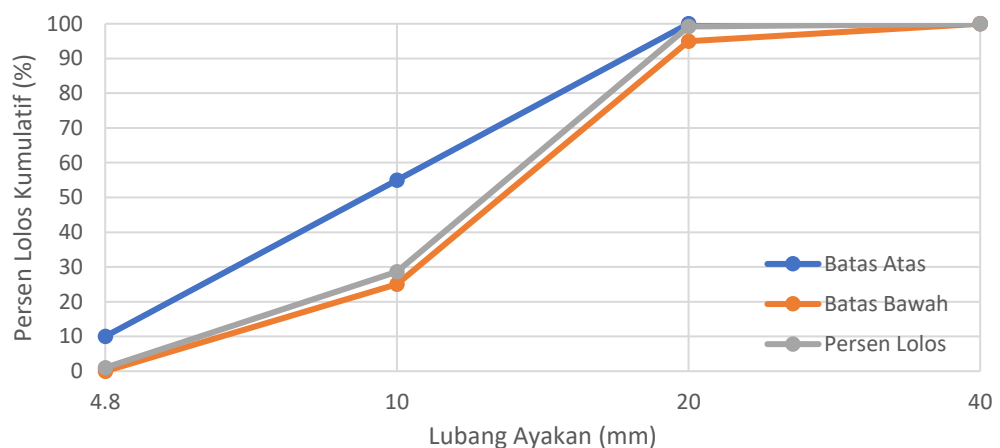
2. Pengujian Modulus Halus Butiran

Hasil dari pengujian modulus halus butiran dapat dilihat pada Tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Uji Modulus Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	42	0,84	0,84	99,16
10,00	3526	70,52	71,36	28,64
4,80	1382	27,64	99	1,00
2,40		0	99	1,00
1,20		0	99	1,00
0,60		0	99	1,00
0,30		0	99	1,00
0,15		0	99	1,00
Sisa	50	1	100	0,00
Jumlah	5000	100,00%	666,2	233,80
			MHB =	666,2

Hasil uji modulus kehalusan butiran bertujuan untuk menentukan daerah gradasi agregat kasar yang digunakan. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, agregat kasar dalam penelitian ini termasuk dalam ukuran maksimum 20 mm. Kurva gradasi agregat kasar berdasarkan data tersebut dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm**

3. Pengujian Berat Volume

a. Berat Volume Gembur

Hasil pengujian Berat Volume Gembur dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18275	gram
Berat Agregat (W3)	6930	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Gembur	1,31	gram/cm ³

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 nilai berat volume gembur yang disyaratkan diantara 1,2 – 1,7., dan hasil dari pengujian didapatkan 1,31 dimana hasil ini sudah memenuhi syarat

b. Berat Volume Padat

Hasil pengujian Berat Volume Padat dapat dilihat pada Tabel 5.9 dibawah ini

Tabel 5.9 Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19357	gram
Berat Agregat (W3)	8012	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Padat	1,51	gram/cm ³

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 nilai berat volume padat yang disyaratkan diantara 1,2 – 1,7., dan hasil dari pengujian didapatkan 1,51 dimana hasil ini sudah memenuhi syarat.

5.2 Perhitungan Campuran Beton

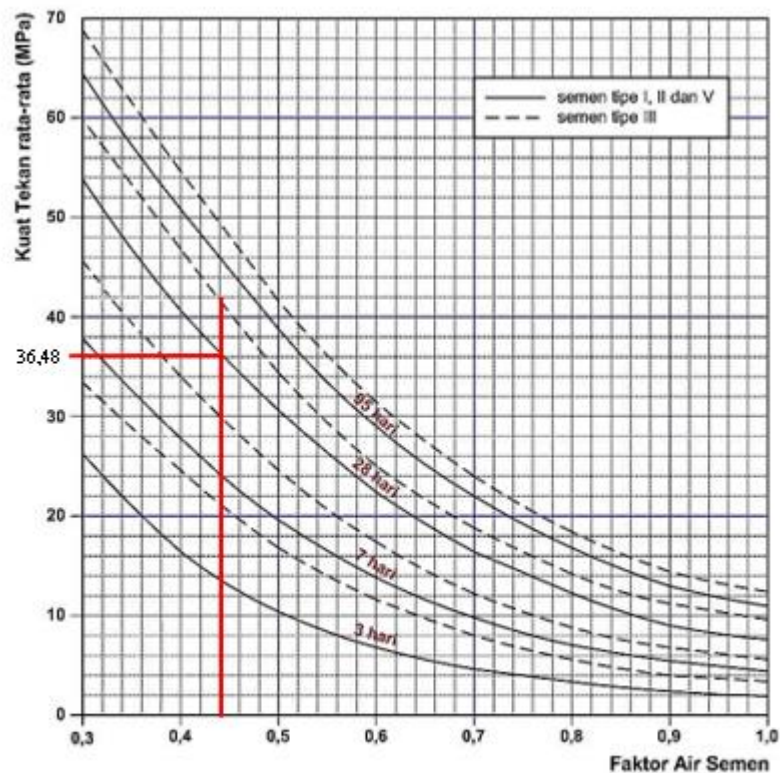
5.2.1 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton

Perhitungan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000. Langkah-langkah perhitungan desain campuran (*mix design*) dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) benda uji adalah 25 MPa
2. Menggunakan semen Portland Tipe 1
3. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm
4. Agregat halus yang digunakan masuk ke dalam gradasi II
5. Nilai deviasi standar yang digunakan adalah 7 MPa
6. Nilai pengali standar deviasi yang digunakan adalah 1 (Tabel 3.3)
7. Nilai tambah margin adalah 11,48 MPa
8. Kuat tekan yang di targetkan ($f'cr$) sebagai berikut

$$f'cr = 25 + 11,48 = 36,48 \text{ MPa}$$

9. Menentukan Faktor Air Semen (FAS)
 - a. Merujuk pada informasi dalam Tabel 3.4, ketika beton mencapai usia 28 hari, kombinasi semen Portland tipe I dengan agregat kasar yang terdiri dari batu pecah menghasilkan estimasi kuat tekan sebesar 37 MPa. Tetapi berdasarkan perhitungan sebelumnya maka fcr yang digunakan adalah 36,48 Mpa.
 - b. Faktor Air Semen (FAS) ditentukan dari Gambar 5.3 dibawah ini



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS

Analisis grafik menunjukkan faktor air semen (FAS) senilai 0,44. Namun, perlu diperhatikan bahwa nilai FAS juga harus sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Tabel 3.6. Mengingat kondisi beton yang ditempatkan di luar ruangan namun terlindung dari paparan langsung hujan dan sinar matahari, batas maksimum FAS yang diizinkan adalah 0,6. Dalam konteks penelitian ini, penulis memutuskan untuk menggunakan nilai FAS sebesar 0,44.

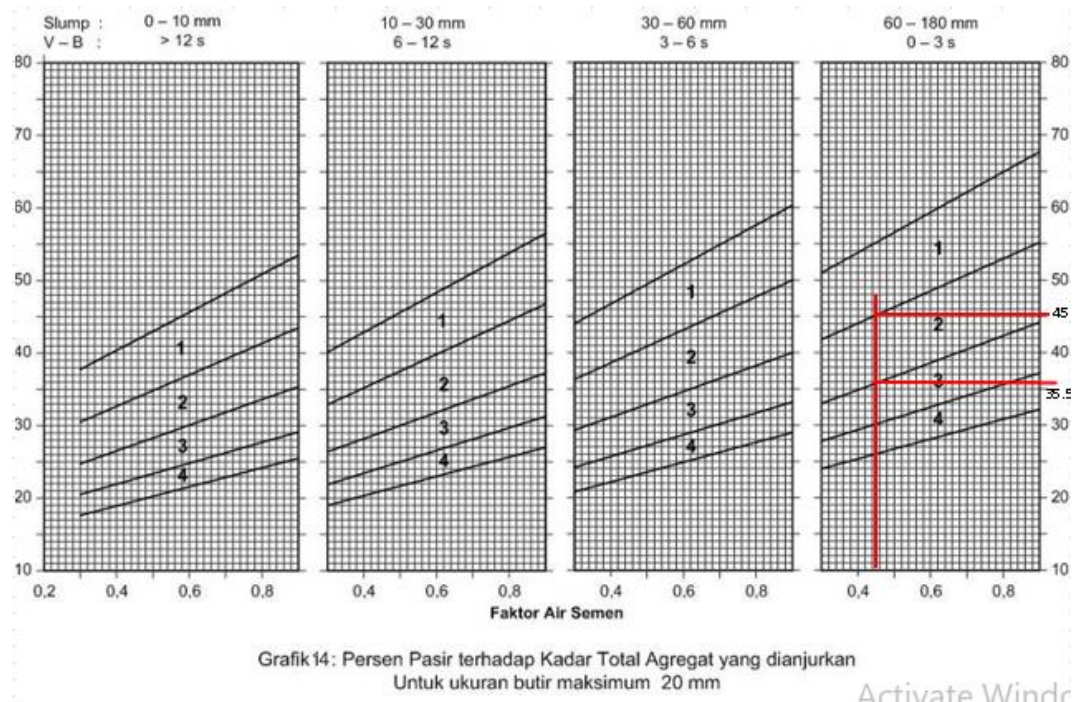
10. Nilai slump kisaran 60 – 180 mm

11. Penentuan kadar air bebas mengacu pada Tabel 3.6. Dengan mempertimbangkan agregat kasar berupa batu pecah berukuran maksimum 20 mm dan nilai slump yang berkisar antara 60 hingga 180 mm, diperoleh hasil perhitungan kadar air bebas sebanyak 205 kg/m³

12. Kadar semen yang digunakan per m^3 beton sebagai berikut

$$Kadar\ semen = \frac{205}{0,44} = 465,91\ kg/m^3$$

13. Nilai presentase agregat halus dengan dengan slump 60 – 180 mm, dan agregat halus gradasi 2 di tentukan melalui Gambar 5.4 dibawah ini.



Gambar 5.4 Grafik Presentase Agregat halus

Analisis grafik tersebut menghasilkan rentang nilai dengan batas bawah 35,5 dan batas atas 45. Langkah selanjutnya melibatkan kalkulasi persentase untuk kedua jenis agregat - halus dan kasar. Rincian perhitungan ini akan disajikan sebagaimana dijelaskan berikut ini.

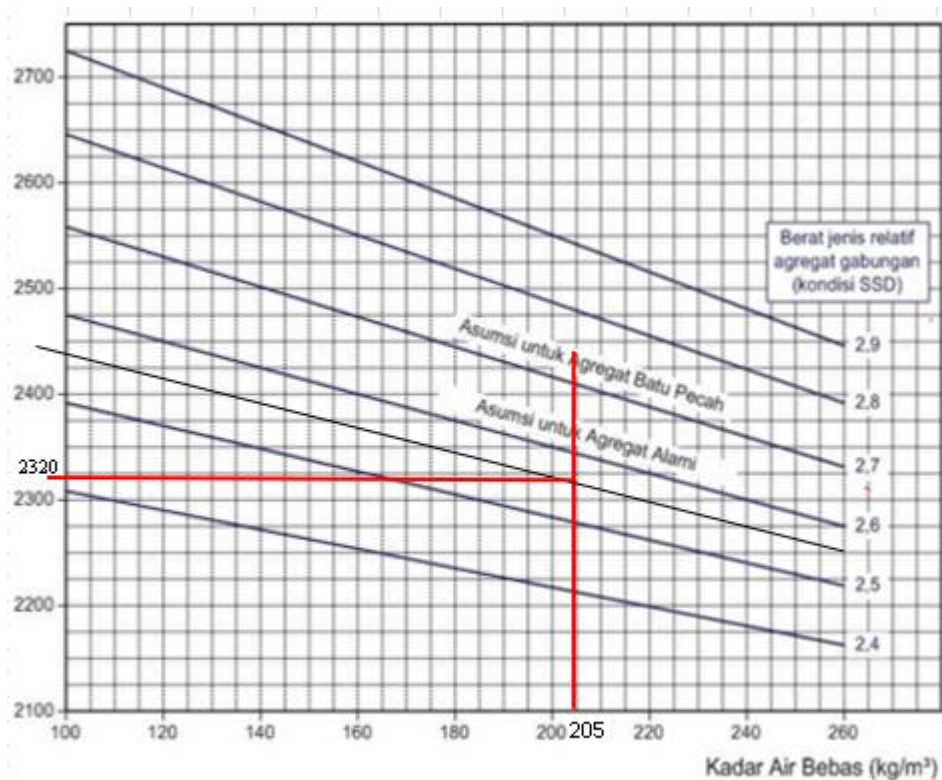
$$Presentase\ Agregat\ Halus = \frac{45-35,5}{2} \times 100 = 40,25\ \%$$

$$Presentase\ Agregat\ Kasar = 100\% - 40,25\% = 59,75\%$$

14. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (SSD). Perhitungan berat jenis relatif gabungan sebagai berikut.

$$BJ_G = \left(\frac{40,25}{100} \times 2,55 \right) + \left(\frac{59,75}{100} \times 2,55 \right) = 2,55\%$$

15. Perkiraan berat isi beton ditentukan dengan Gambar 5.5 dibawah ini.



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

Gambar 5.5 Perkiraan Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai berat isi beton adalah 2320 kg/m³

16. Kadar agregat dalam campuran beton

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2320 - 465,91 - 205 = 1649,09 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Kadar agregat halus dan kasar dalam campuran

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \text{presentase agregat halus} \times \text{kadar agregat} \\ &= 40,25\% \times 1649,09 = 663,76 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1649,09 - 663,76 = 985,33 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Proporsi campuran beton per m³

Setelah perhitungan diatas, didapat proporsi material campuran beton per 1 m³

a. Semen = 465,91 kg

b. Air = 205 kg

- c. Agregat halus = 663,76 kg
 d. Agregat kasar = 985,33 kg

19. Perhitungan volume benda uji

Penelitian ini menggunakan benda uji yang terdiri dari 25 silinder berukuran 15 x 30 cm dan 15 balok berukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm. Proses pembuatan setiap variasi memerlukan satu kali pencampuran (*mixing*).dimana satu kali mixing untuk 5 silinder dan 3 balok. Berikut ini akan disajikan perhitungan volume untuk satu kali mixing tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Volume mixing 5 silinder} &= 5 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 0,027 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume mixing 3 balok} &= 3 \times P \times L \times T \\ &= 3 \times 0,6 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0405 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume satu kali mixing} &= 0,027 + 0,0405 \\ &= 0,067 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai volume yang telah didapatkan sebesar 0,0675 m³. Maka diperoleh hasil proporsi pencampuran sebagai berikut.

- a. Semen = 0,067 x 465,9 = 31,21 kg
 b. Air = 0,067 x 205 = 13,73 kg
 c. Agregat Halus = 0,067 x 663,76 = 44,47 kg
 d. Agregat Kasar = 0,067 x 985,33 = 66,02 kg

Setelah menentukan komposisi campuran material untuk volume 0,067 m³, langkah berikutnya adalah mempertimbangkan faktor penyusutan. Penyusutan ini dapat terjadi akibat berbagai faktor selama proses pelaksanaan. Untuk mengantisipasi hal tersebut, dilakukan perhitungan penyusutan pada setiap komponen material dengan menggunakan estimasi angka penyusutan sebesar 20%. Berikut ini akan diuraikan perhitungan penyusutan untuk masing-masing proporsi material.

- a. Semen = 31,21 x 120% = 37,46 kg

- b. Air = $13,73 \times 120\%$ = 16,48 kg
 c. Agregat Halus = $44,47 \times 120\%$ = 53,37 kg
 d. Agregat Kasar = $66,02 \times 120\%$ = 79,23 kg

20. Trial Mix Design

Penelitian ini melibatkan proses trial mix design untuk menguji proporsi campuran yang telah dikalkulasikan sebelumnya. Dalam proses ini, dibuat lima benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian slump pada trial mix design menghasilkan nilai 8 cm. Benda uji ini akan diuji kekuatannya pada usia 7 hari menggunakan Compression Testing Machine. Tabel 5.10 menyajikan hasil uji tekan dari trial mix design tersebut, yang rinciannya dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Uji Tekan Trial Mix Design

Sampel	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Konversi 7 Hari	Kuat Tekan Hasil Konversi (MPa)	Rerata Kuat Tekan (MPa)
1	150,5	17789,465	350,96	19,729	0,65	30,352	29,118
2	151,09	17929,217	361,97	20,189		31,060	
3	150,8	17860,457	328,5	18,393		28,296	
4	149,97	17663,606	329,91	18,677		28,734	
5	151,4	18002,865	317,66	17,645		27,146	

5.2.2 Hasil Perencanaan Campuran dengan Substitusi Ban Karet

Dalam merancang komposisi campuran beton ini, digunakan pedoman proporsi yang mengacu pada metode perencanaan beton normal yang sudah ada. Namun, perlu dilakukan penyesuaian pada perencanaan proporsi beton yang baru. Hal ini disebabkan oleh penggantian sebagian agregat kasar dengan Ban Karet yang di potong potong sebagai bahan substitusi dalam campuran beton ini.

Variasi Substitusi Ban Karet

Proporsi berat agregat kasar yang digunakan dengan mensubstitusikan ban karet sebesar 2%, 4%, 6% dan 8% sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Ban karet} &= 2\% \text{ ban karet} \times \text{proporsi agregat kasar saat ini} \\ &= 2\% \times 79,23 = 1,58 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Ban karet} = 4\% \text{ ban karet} \times \text{proporsi agregat kasar saat ini}$$

$$= 4\% \times 79,23 = 3,17 \text{ kg}$$

Ban karet = 6% ban karet x proporsi agregat kasar saat ini

$$= 6\% \times 79,23 = 4,75 \text{ kg}$$

Ban karet = 8% ban karet x proporsi agregat kasar saat ini

$$= 8\% \times 79,23 = 6,34 \text{ kg}$$

Rekapitulasi proporsi campuran beton dengan substitusi ban karet sesuai dengan variasi dapat dilihat pada Tabel 5.11 serta perbandingan volume antara ban karet dan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.6 dibawah ini.

Tabel 5.11 Hasil Substitusi Ban Karet dengan Pencampuran Beton

Volume 1 mix (m ³)	Variasi	Semen	Air	Agregat Halus	ban bekas	Agregat Kasar
0,067	1 mix 0%	37,46	16,48	53,37	0	79,23
0,067	1 mix 2%	37,46	16,48	53,37	1,58	77,64
0,067	1 mix 4%	37,46	16,48	53,37	3,17	76,06
0,067	1 mix 6%	37,46	16,48	53,37	4,75	74,48
0,067	1 mix 8%	37,46	16,48	53,37	6,34	72,89
TOTAL		187,32	82,42	266,86	15,85	380,30



Gambar 5.6 Perbandingan Volume Karet dengan Agregat Kasar

5.3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.3.1 Nilai Slump Test dan Metode Perawatan

Uji slump pada beton mengukur penurunan tinggi di bagian tengah permukaan atas beton setelah cetakan uji diangkat, sesuai dengan SNI 1972 tahun 2008. Pengujian ini bertujuan untuk menilai konsistensi dan kelecakan campuran

beton segar, serta memastikan tingkat kelecakan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.

Pengujian slump merupakan tahap krusial dalam proses pengontrolan kualitas beton segar. Beton segar yang berkualitas baik ditandai dengan kemudahan pengerjaan (*workability* yang baik), tidak adanya pemisahan antara agregat dan campuran (*segregasi*), serta tidak terjadi pemisahan air dari campuran (*bleeding*).

Perlu dicatat bahwa nilai slump yang lebih tinggi mengindikasikan beton yang lebih mudah dikerjakan. Dengan demikian, uji slump menjadi parameter penting dalam menjamin mutu beton segar yang diproduksi. Pengambilan nilai Slump berdasarkan per satu kali mixing atau per satu variasi, hasil dari slump test dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.12 Hasil Slump Test

Mix	Variasi	Hasil Slump (cm)
1	0%	6,5
2	2%	7
3	4%	8
4	6%	7
5	8%	8



Gambar 5.7 Hasil Slump Test

Analisis hasil uji slump yang tercantum dalam Tabel 5.12 menunjukkan bahwa nilai slump tertinggi mencapai 8 cm. Meskipun terdapat variasi hasil antara

pencampuran (mixing) pertama hingga terakhir, semua nilai masih berada dalam rentang yang telah direncanakan, yaitu antara 6 cm hingga 18 cm.

Keragaman nilai slump test yang diperoleh dari setiap proses pencampuran dapat dikaitkan dengan perbedaan kondisi agregat, khususnya terkait tingkat kejenuhan dan kekeringan permukaannya. Faktor ini mempengaruhi konsistensi campuran beton segar yang dihasilkan, namun tetap dalam batas-batas yang dapat diterima sesuai dengan rencana awal.

Setelah dilakukan uji slump seperti gambar diatas, selanjutnya dilakukan penuangan dan pemadatan beton basah ke cetakan (*bekisting*). Setelah itu dilakukan perawatan benda uji (*curing*) untuk menjaga suhu beton agar tidak cracking. Pada penelitian ini metode curing yang digunakan yaitu dengan cara perendaman selama 28 hari. Curing benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Curing Benda Uji

5.3.2 Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton merupakan metode kunci untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton. Proses ini dilaksanakan pada beton berumur 28 hari sejak pembuatan, yang selama periode tersebut telah melalui perawatan dengan cara perendaman.

Sebelum pengujian dimulai, dilakukan pengukuran dimensi benda uji meliputi diameter dan tinggi silinder, untuk menghitung luas penampangnya.

Selanjutnya, dilakukan proses capping untuk memastikan permukaan pada benda uji rata saat ditempatkan pada mesin uji.

Hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh untuk berbagai variasi campuran, yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Data-data ini memberikan gambaran tentang pengaruh variasi campuran terhadap kekuatan tekan beton yang dihasilkan.

1. Kuat Tekan Beton pada Variasi 0% (KT1-1)

Diketahui :

$$P = 577,9 \text{ kN}$$

$$D = 150,10 \text{ mm}$$

$$T = 305,53 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 0,25 \times \pi \times 150,1^2 \times 305,53 \\ &= 17.695,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{577,9 \times 10^3}{17695,03} \\ &= 32,66 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat Tekan Beton pada Variasi 2% (KT2-1)

Diketahui :

$$P = 334,2 \text{ kN}$$

$$D = 150,63 \text{ mm}$$

$$T = 301,82 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 0,25 \times \pi \times 150,63^2 \times 301,82 \\ &= 17.821,00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{334,2 \times 10^3}{17821,00} \\ &= 18,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat Tekan Beton pada Variasi 4% (KT3-1)

Diketahui :

$$P = 387,9 \text{ kN}$$

$$D = 150,97 \text{ mm}$$

$$T = 305,18 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 0,25 \times \pi \times 150,97^2 \times 305,18 \\ &= 17.899,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{387,9 \times 10^3}{17899,66} \\ &= 21,67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Kuat Tekan Beton pada Variasi 6% (KT4-1)

Diketahui :

$$P = 245,8 \text{ kN}$$

$$D = 149,97 \text{ mm}$$

$$T = 305,00 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 0,25 \times \pi \times 149,97^2 \times 305,00 \\ &= 17.663,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{245,8 \times 10^3}{17663,31} \\ &= 13,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5. Kuat Tekan Beton pada Variasi 8% (KT5-1)

Diketahui :

$$P = 320,3 \text{ kN}$$

$$D = 150,36 \text{ mm}$$

$$T = 304,6 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times T \\ &= 0,25 \times \pi \times 150,36^2 \times 304,6 \\ &= 17.757,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$f'c = \frac{320,3 \times 10^3}{17757,17}$$

= 18,04 MPa

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan analisis perhitungan yang sama, hasil pengujian kuat tekan beton terdapat pada Tabel 5.13 berikut.

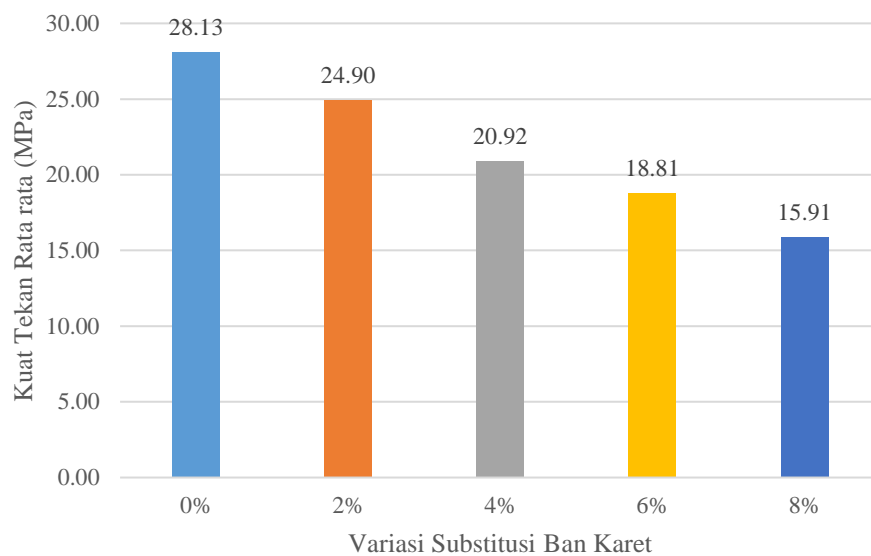
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi	Kode Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Kode Silinder	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Tampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata rata (Mpa)
0%	KT1-1	577,9	KT1-1	150,10	305,53	17695,03	32,66	28,13
	KT1-2	503,5	KT1-2	150,70	304,32	17836,78	28,23	
	KT1-3	487,3	KT1-3	150,93	304,39	17892,05	27,24	
	KT1-4	443,6	KT1-4	150,67	301,33	17828,89	24,88	
	KT1-5	489,9	KT1-5	150,18	302,60	17714,68	27,66	
2%	KT2-1	334,2	KT2-1	150,63	301,82	17821,00	18,75	24,90
	KT2-2	446,2	KT2-2	150,23	302,70	17726,48	25,17	
	KT2-3	510,7	KT2-3	150,43	302,98	17773,71	28,73	
	KT2-4	419,9	KT2-4	151,30	304,28	17979,09	23,35	
	KT2-5	505,9	KT2-5	150,32	300,53	17746,94	28,51	
4%	KT3-1	387,9	KT3-1	150,97	305,18	17899,96	21,67	20,92
	KT3-2	377,5	KT3-2	149,35	301,97	17518,64	21,55	
	KT3-3	381,4	KT3-3	150,63	301,43	17821,00	21,40	
	KT3-4	331,9	KT3-4	151,63	303,00	18058,40	18,38	
	KT3-5	385,9	KT3-5	150,90	303,40	17884,15	21,58	
6%	KT4-1	245,8	KT4-1	149,97	305,00	17663,61	13,92	18,81
	KT4-2	370,6	KT4-2	150,37	303,05	17757,96	20,87	
	KT4-3	383,5	KT4-3	150,10	304,33	17695,03	21,67	
	KT4-4	374,8	KT4-4	150,30	302,02	17742,22	21,12	
	KT4-5	306,7	KT4-5	154,00	304,95	18626,50	16,47	

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

8%	KT5-1	320,3	KT5-1	150,36	304,60	17757,17	18,04	15,93
	KT5-2	288,8	KT5-2	151,02	303,83	17911,82	16,12	
	KT5-3	254,2	KT5-3	149,70	302,37	17600,84	14,44	
	KT5-4	302,3	KT5-4	150,95	303,93	17896,01	16,89	
	KT5-5	253,9	KT5-5	151,23	304,37	17963,25	14,13	

Serangkaian analisis mengenai kuat tekan beton telah dilaksanakan. Mengacu pada data yang tersaji dalam Tabel 5.13, telah dibuat representasi grafis yang mengilustrasikan hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi ban karet. Visualisasi hasil pengujian kuat tekan beton ini dapat dilihat pada Gambar 5.9 yang disajikan di bawah ini. Grafik tersebut memberikan gambaran visual tentang hubungan antara variasi substitusi ban karet dan kekuatan tekan yang dihasilkan pada beton yang diuji.



Gambar 5.9 Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Perubahan presentase kuat tekan rerata mengacu pada kuat tekan 0% atau tanpa substitusi ban karet yang di dapat dari perhitungan serta rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 5.14 dibawah ini.

$$\text{Persentase Perubahan 2\%} = \frac{\text{Kuat Tekan 2\%} - \text{Kuat Tekan 0\%}}{\text{Kuat Tekan 0\%}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Perubahan 2\%} = \frac{24,90 - 28,13}{28,13} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Perubahan 2\%} = -11,47\%$$

Tabel 5.14 Presentase Perubahan Kuat Tekan

Kode	Variasi	Kuat Tekan Rerata (Mpa)	Presentase Perubahan
KT1	0%	28,13	0,00%
KT2	2%	24,90	-11,47%
KT3	4%	20,92	-25,65%
KT4	6%	18,81	-33,14%
KT5	8%	15,93	-43,39%

Sampel KT5, yang terdiri dari 8% ban bekas, menunjukkan penurunan kuat tekan rata-rata sebesar 43,39% dari kuat tekan beton normal (28,13 MPa). Penurunan ini dapat dijelaskan oleh penggunaan ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton. Ban bekas memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan agregat kasar pada umumnya, serta permukaan yang licin. Karakteristik ini mengakibatkan penurunan kekuatan ikatan antar komponen dalam campuran beton. Akibatnya, kuat tekan beton yang dihasilkan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Kombinasi dari sifat lunak dan licin pada ban bekas ini secara signifikan mempengaruhi kekuatan struktur beton yang dihasilkan. Menurut Khatib dan Bayomy (1999), bahwa penggunaan agregat karet dari ban bekas dapat mengurangi kekuatan tekan beton, terutama ketika persentase substitusi agregat karet meningkat. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa meskipun penggunaan ban karet dapat meningkatkan daya serap dan ketahanan terhadap retak, tetapi juga menyebabkan penurunan kuat tekan yang signifikan. Adapun hasil perhitungan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2

Menurut SNI 2847:2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, persyaratan kekuatan beton struktural (f_c') minimum tergantung pada jenis elemen struktur dan jenis bangunan. Jika hanya untuk beton struktur umum maka kekuatan minimum kuat tekan adalah 17 MPa, dan jika hanya untuk elemen struktural yang digunakan dalam bangunan umum, biasanya f_c' beton berkisar antara 20 MPa hingga 30 MPa atau lebih, tergantung kebutuhan desain.

Pemanfaatan ban bekas dalam campuran beton memiliki potensi untuk mengurangi limbah secara signifikan jika diterapkan secara konsisten dan berkelanjutan. Mengacu pada hasil variasi KT3, yang menunjukkan kuat tekan di

atas batas aman SNI (lebih dari 20 MPa), penggunaan ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar dapat diterapkan sebesar 4% dari berat total agregat kasar. Dalam skenario pengecoran 1m³ beton yang membutuhkan 985,33 kg agregat kasar, substitusi dengan ban bekas dapat mencapai 39,41 kg. Jika metode ini diterapkan dalam skala besar pada proyek-proyek konstruksi, maka pemanfaatan limbah ban bekas dapat dioptimalkan secara signifikan. Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan limbah, tetapi juga membuka peluang baru dalam manajemen limbah dan praktik konstruksi yang lebih berkelanjutan.

5.3.3 Analisa Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton merupakan parameter penting untuk memahami karakteristik mekanik beton. Tes ini dilakukan bersamaan dengan uji kuat tekan beton pada usia 28 hari setelah pembuatan. Prosedur pengujian melibatkan pengukuran dimensi benda uji, termasuk diameter dan tinggi silinder, untuk menghitung luas penampang dan nilai L_0 dari alat uji. Sebelum pengujian, dilakukan proses capping untuk memastikan permukaan benda uji rata. Hasil pengujian diolah menggunakan persamaan 3.16 serta rumus empiris modulus (SNI 2847, 2019) untuk menentukan nilai modulus elastisitas. Sebagai contoh, perhitungan detail dilakukan pada benda uji KT1-1. Metode ini memberikan pemahaman komprehensif tentang sifat elastis beton, yang penting untuk analisis dan desain struktur beton.

1. Nilai ΔL

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{3}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,0015 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Nilai Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0015}{200} \\ &= 0,0000075\end{aligned}$$

3. Nilai Tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17695,03} \\ &= 0,5651 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan yang telah dilakukan untuk benda uji KT1-1 menunjukkan pembebanan pada kondisi 10 kN atau 10.000 N. Metode perhitungan yang sama dapat diterapkan untuk beban selanjutnya, dengan peningkatan setiap 10 kN hingga mencapai beban maksimum. Setelah memperoleh nilai regangan dan tegangan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai koreksi regangan. Mengacu pada persamaan 3.16, σ_2 (tegangan 2) ditentukan pada 40% dari f_c maksimum, sementara σ_1 (tegangan 1) diperoleh dari garis yang sejajar dengan garis tegangan 2. Nilai ε_2 (regangan 2) dan ε_1 (regangan 1) mewakili regangan yang terjadi pada kondisi tegangan 2 dan tegangan 1 secara berurutan. Dengan data tegangan dan regangan ini, dapat dilakukan perhitungan nilai terkoreksi. Proses ini penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam analisis sifat elastis beton.

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} &= \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2 \pm x} \\ \frac{12,9980 - 10,1723}{0,000585 - 0,000447} &= \frac{12,9980}{0,000585 \pm x} \\ 20550,2 &= \frac{12,9980}{0,000585 \pm x} \\ x &= 0,000048\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai koreksi, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk regangan terkoreksi, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Regangan terkoreksi} &= 0,0000075 + 0,000048 \\ &= 0,0000550\end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, dapat dilakukan pada semua regangan yang terjadi setiap penambahan beban sebesar 10kN hingga mencapai beban maksimum. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan yang telah dilakukan terdapat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Tegangan - Regangan Beton KT1-1

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)	Reg.Terkoreksi
(kN)	(N)					
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,5651	0,0000550
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,1303	0,0000725
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,6954	0,0000925
40	40000	30	0,0150	0,0000750	2,2605	0,0001225
50	50000	42	0,0210	0,0001050	2,8257	0,0001525
60	60000	50	0,0250	0,0001250	3,3908	0,0001725
70	70000	63	0,0315	0,0001575	3,9559	0,0002050
80	80000	71	0,0355	0,0001775	4,5210	0,0002250
90	90000	84	0,0420	0,0002100	5,0862	0,0002575
100	100000	92	0,0460	0,0002300	5,6513	0,0002775
110	110000	104	0,0520	0,0002600	6,2164	0,0003075
120	120000	112	0,0560	0,0002800	6,7816	0,0003275
130	130000	123	0,0615	0,0003075	7,3467	0,0003550
140	140000	136	0,0680	0,0003400	7,9118	0,0003875
150	150000	148	0,0740	0,0003700	8,4770	0,0004175
160	160000	159	0,0795	0,0003975	9,0421	0,0004450
170	170000	170	0,0850	0,0004250	9,6072	0,0004725
180	180000	179	0,0895	0,0004475	10,1723	0,0004950
190	190000	191	0,0955	0,0004775	10,7375	0,0005250
200	200000	203	0,1015	0,0005075	11,3026	0,0005550
210	210000	210	0,1050	0,0005250	11,8677	0,0005725
220	220000	223	0,1115	0,0005575	12,4329	0,0006050
230	230000	234	0,1170	0,0005850	12,9980	0,0006325
240	240000	244	0,1220	0,0006100	13,5631	0,0006575
250	250000	254	0,1270	0,0006350	14,1283	0,0006825
260	260000	263	0,1315	0,0006575	14,6934	0,0007050
270	270000	272	0,1360	0,0006800	15,2585	0,0007275
280	280000	284	0,1420	0,0007100	15,8237	0,0007575
290	290000	295	0,1475	0,0007375	16,3888	0,0007850
300	300000	306	0,1530	0,0007650	16,9539	0,0008125
310	310000	315	0,1575	0,0007875	17,5190	0,0008350
320	320000	324	0,1620	0,0008100	18,0842	0,0008575
330	330000	335	0,1675	0,0008375	18,6493	0,0008850
340	340000	345	0,1725	0,0008625	19,2144	0,0009100
350	350000	357	0,1785	0,0008925	19,7796	0,0009400
360	360000	368	0,1840	0,0009200	20,3447	0,0009675
370	370000	380	0,1900	0,0009500	20,9098	0,0009975
380	380000	392	0,1960	0,0009800	21,4750	0,0010275

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Tegangan - Regangan Beton KT1-1

390	390000	405	0,2025	0,0010125	22,0401	0,0010600
400	400000	416	0,2080	0,0010400	22,6052	0,0010875
410	410000	431	0,2155	0,0010775	23,1703	0,0011250
420	420000	443	0,2215	0,0011075	23,7355	0,0011550
430	430000	457	0,2285	0,0011425	24,3006	0,0011900
440	440000	472	0,2360	0,0011800	24,8657	0,0012275
450	450000	489	0,2445	0,0012225	25,4309	0,0012700
460	460000	506	0,2530	0,0012650	25,9960	0,0013125
470	470000	521	0,2605	0,0013025	26,5611	0,0013500
480	480000	539	0,2695	0,0013475	27,1263	0,0013950
490	490000	555	0,2775	0,0013875	27,6914	0,0014350
500	500000	574	0,2870	0,0014350	28,2565	0,0014825
510	510000	597	0,2985	0,0014925	28,8217	0,0015400
520	520000	618	0,3090	0,0015450	29,3868	0,0015925
530	530000	641	0,3205	0,0016025	29,9519	0,0016500
540	540000	672	0,3360	0,0016800	30,5170	0,0017275
550	550000	704	0,3520	0,0017600	31,0822	0,0018075
560	560000	743	0,3715	0,0018575	31,6473	0,0019050
570	570000	795	0,3975	0,0019875	32,2124	0,0020350
577,9	577900	936	0,4680	0,0023400	32,6589	0,0023875
570	570000	991	0,4955	0,0024775	32,2124	0,0025250
560	560000	1046	0,5230	0,0026150	31,6473	0,0026625
550	550000	1081	0,5405	0,0027025	31,0822	0,0027500
540	540000	1112	0,5560	0,0027800	30,5170	0,0028275
530	530000	1132	0,5660	0,0028300	29,9519	0,0028775
520	520000	1139	0,5695	0,0028475	29,3868	0,0028950
510	510000	1142	0,5710	0,0028550	28,8217	0,0029025
500	500000	1144	0,5720	0,0028600	28,2565	0,0029075

Keterangan :

	Kondisi Regangan Tegangan 2
	Kondisi Regangan Tegangan 1
	Kondisi Regangan Tegangan maksimum

Dengan menggunakan persamaan 3.16 dan rumus empiris, dapat dihitung nilai modulus elastisitas percobaan pada kondisi tegangan dan regangan mencapai

40% dari beban maksimum. Selain itu, SNI 2847-2019 menyediakan metode perhitungan modulus elastisitas berdasarkan kuat tekan beton yang dihasilkan. Untuk membandingkan nilai modulus elastisitas dari hasil percobaan dengan nilai yang diperoleh secara teoritis, dilakukan perhitungan menggunakan rumus-rumus tertentu. Proses ini memungkinkan analisis perbandingan antara hasil eksperimental dan prediksi teoretis, memberikan wawasan penting tentang perilaku elastis beton dalam kondisi nyata versus perkiraan standar. Contoh perhitungan sebagai berikut

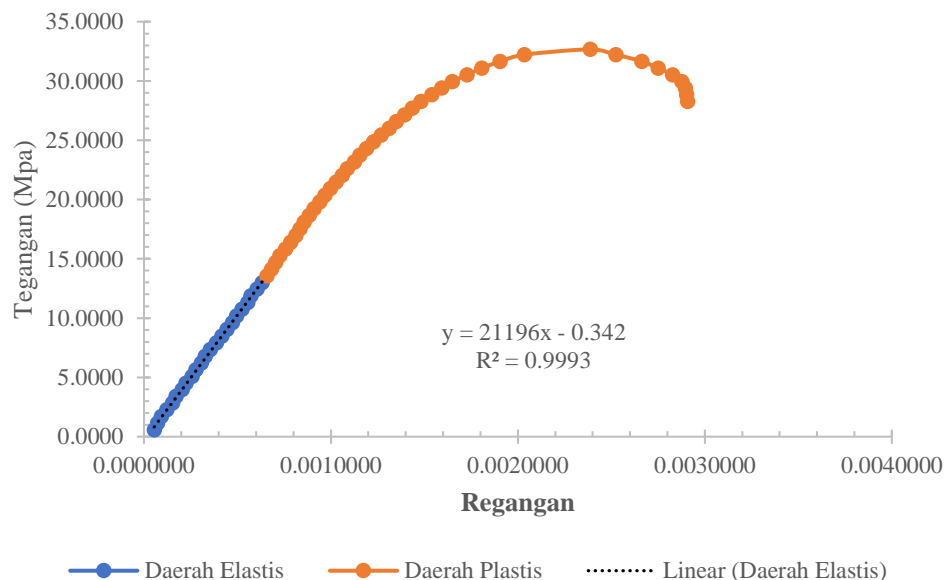
$$E_{\text{percobaan}} = \frac{12,9980}{0,00059}$$

$$= 22219 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{empiris}} = 4700\sqrt{32,66}$$

$$= 26859,54 \text{ MPa}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama, dapat diperoleh modulus elastisitas percobaan dan modulus elastisitas empiris pada setiap benda uji yang dilakukan. Selanjutnya diperoleh grafik nilai tegangan-regangan pada benda uji KT1-1 yang terdapat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Modulus Beton KT1-1

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai modulus elastisitas percobaan pada benda uji KT1-1 sebesar 22219 MPa. Selain itu, diperoleh nilai

modulus elastisitas empiris SNI 2847 (2019) sebesar 26859,54 MPa. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas percobaan dan empiris terdapat pada Tabel 5.16 berikut.

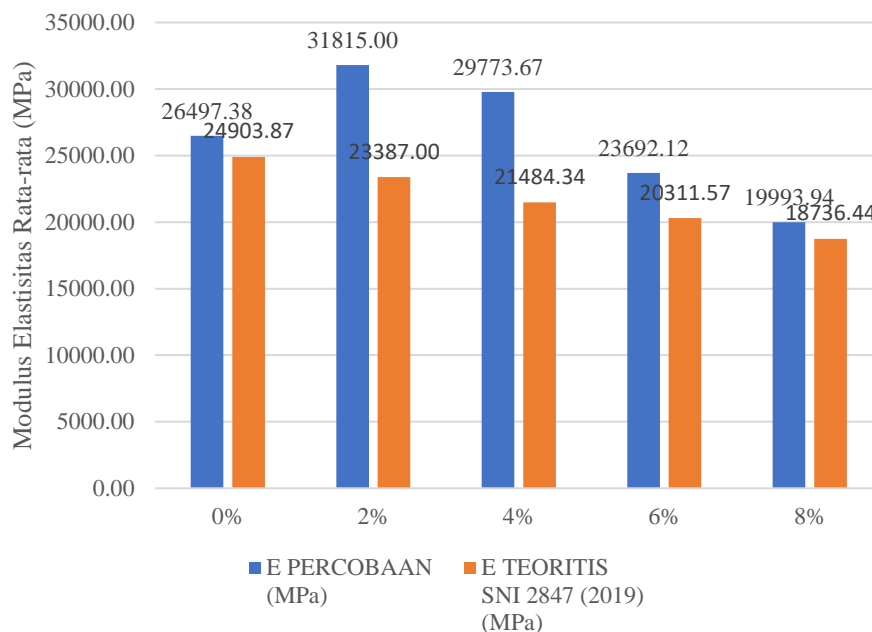
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus

Variasi	Kode Silinder	Kuat Tekan Beton (MPa)	Modulus Elastisitas Percobaan (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis SNI 2847 2019 (MPa)
0%	KT1-1	32,66	22218,81	24903,87
	KT1-2	28,23	33471,01	
	KT1-3	27,24	28479,35	
	KT1-4	24,88	24038,04	
	KT1-5	27,66	24279,72	
2%	KT2-1	18,75	24315,88	23387,00
	KT2-2	25,17	38318,12	
	KT2-3	28,73	33095,81	
	KT2-4	23,35	34073,61	
	KT2-5	28,51	29271,56	
4%	KT3-1	21,67	27086,57	21484,34
	KT3-2	21,55	27181,94	
	KT3-3	21,40	34709,43	
	KT3-4	18,38	34280,32	
	KT3-5	21,58	25610,12	
6%	KT4-1	13,92	18871,19	20311,57
	KT4-2	20,87	26191,99	
	KT4-3	21,67	26285,14	
	KT4-4	21,12	25815,00	
	KT4-5	16,47	21297,30	

Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus

8%	KT5-1	18,04	16359,75	19993,94	19961,33	18736,44
	KT5-2	16,12	24585,28		18872,38	
	KT5-3	14,44	17087,36		17861,54	
	KT5-4	16,89	18497,67		19316,96	
	KT5-5	14,13	23439,67		17670,01	

Berdasarkan Tabel 5.16 didapatkan diagram histogram untuk perbandingan antara nilai modulus percobaan yang dihasilkan dengan modulus empiris yang didapatkan pada Gambar 5.11 berikut.



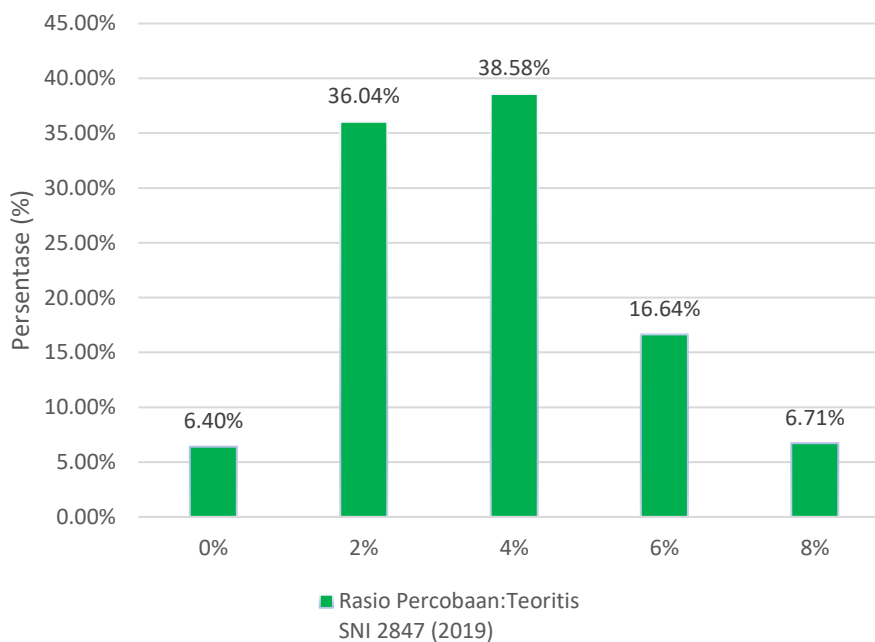
Gambar 5.11 Grafik Histogram Modulus Elastisitas Beton

Hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton menunjukkan perbedaan signifikan antara nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari percobaan dan yang dihitung menggunakan rumus empiris berdasarkan SNI 2847-2019. Standar ini, pada Pasal 19.2.2.1, menetapkan bahwa perbedaan antara nilai modulus elastisitas hasil percobaan dan perhitungan empiris seharusnya tidak melebihi 20%. Untuk mengilustrasikan besarnya perbedaan ini, dilakukan perhitungan rasio antara modulus elastisitas hasil percobaan dan hasil perhitungan rumus empiris. Analisis perbandingan ini mengungkapkan sejauh mana karakteristik elastisitas beton dengan substitusi ban karet menyimpang dari prediksi standar, yang dapat memberikan implikasi penting untuk desain dan aplikasi beton dalam konstruksi. Berbagai analisis hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil perhitungan antara variasi persen ban karet dengan selisih dari percobaan dan empiris yang telah dilakukan. Rekapitulasi variasi dan selisih modulus percobaan

dan empiris terdapat pada Tabel 5.17 serta grafik histogram pada Gambar 5.12 berikut.

Tabel 5.17 Rasio Perbandingan Modulus Percobaan dan Teoritis

Kode	Variasi	Rasio Percobaan:Teoritis SNI 2847 (2019)
KT1	0%	6,40%
KT2	2%	36,04%
KT3	4%	38,58%
KT4	6%	16,64%
KT5	8%	6,71%



Gambar 5.12 Grafik Histogram Rasio Modulus Percobaan dan Teoritis

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, rasio perbandingan modulus percobaan dan teoritis yang cukup tinggi pada variasi 2% dan 4% substitusi ban karet terhadap agregat kasar dalam campuran beton disebabkan oleh sifat elastisitas karet yang jauh lebih rendah dibandingkan agregat alami. Ketika persentase substitusi karet mencapai 2% hingga 4%, efeknya mulai terasa signifikan, menyebabkan penurunan modulus elastisitas beton secara drastis. Hal ini terjadi karena karet memiliki deformasi yang lebih tinggi dan ikatan yang lebih lemah

dengan pasta semen, sehingga mengubah sifat mekanis beton secara signifikan dibandingkan prediksi teoritis. Menurut Li, et al. (2004), dalam penelitiannya berjudul “Development of waste tire modified concrete” pada waste tire substitusi 2-4% dapat meningkatkan modulus elastisitas percobaan karena distribusi partikel karet lebih homogen sedangkan jika diatas 5% mulai terbentuk clustering partikel karet yang mengurangi kekuatan. Ini disebabkan oleh sifat elastis karet yang memberikan kontribusi positif dalam pengujian modulus percobaan. Pada variasi ini, kandungan karet cukup untuk mempengaruhi struktur mikro beton, tetapi pada persentase yang lebih tinggi, seperti 6% dan 8%, pengaruhnya menjadi lebih stabil, sehingga rasio percobaan terhadap teoritis kembali menurun. Pengaruh ini menunjukkan bahwa ada ambang batas di mana substitusi karet mulai memberikan dampak besar terhadap sifat beton. Menurut Ganjian, et al. (2009) pada saat substitusi 2-4% adalah zona transisi yang optimal pada pasta semen dan agregat dan jika lebih dari 5% maka kelebihan partikel karet justru menciptakan titik-titik lemah dalam struktur beton. Hasil perhitungan lainnya dapat dilihat pada lampiran 3. Adapun pengujian modulus elastisitas yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.13 dibawah ini.



Gambar 5.13 Pengujian Modulus Elastisitas dengan Ekstensiometer dan Mesin Kuat Tekan

5.3.4 Analisa Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur beton bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas balok dalam menahan gaya lentur sebelum terjadi keruntuhan. Proses ini dilakukan pada balok beton berumur 28 hari setelah pembuatan, yang selama periode tersebut telah mengalami perawatan dengan cara perendaman untuk menjaga kualitas beton. Pengujian ini penting dalam menentukan seberapa besar momen lentur yang dapat diterima oleh balok beton tanpa tulangan.

Sebelum pengujian dimulai, dilakukan pengukuran dimensi balok, yang meliputi panjang, lebar, dan tinggi. Setelah itu, balok diletakkan pada mesin uji lentur dengan dua tumpuan sederhana dan beban diterapkan secara bertahap pada bagian tengah balok, visual ini dapat dilihat pada Gambar 5.14, dan pengukuran dilakukan hingga balok mengalami retak dan keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 5.15 dibawah ini.



Gambar 5.14 Beban Pengujian Balok



Gambar 5.15 Keruntuhan Balok Setelah Pengujian

Hasil pengujian kuat lentur memberikan informasi mengenai momen maksimum yang dapat diterima balok beton. Data ini dianalisis untuk melihat pengaruh variasi campuran substitusi ban karet terhadap kapasitas lentur yang dihasilkan, serta untuk membandingkan hasil percobaan variasi campuran menggunakan perhitungan teoritis berdasarkan SNI 4431 – 2011. Karena pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat ($1/3$ jarak perlakuan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus persamaan 3.17.

1. Kuat Lentur Balok pada Variasi 0% (B1-1)

Diketahui:

$$P = 2440 \text{ kgf} = 23936,40 \text{ N}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{23936,4 \times 450}{150 \times 150^2}$$

$$\sigma = 3,19 \text{ MPa}$$

2. Kuat Lentur Balok pada Variasi 2% (B2-1)

Diketahui:

$$P = 3050 \text{ kgf} = 29920,50 \text{ N}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{29920,5 \times 450}{150 \times 150^2}$$

$$\sigma = 3,99 \text{ MPa}$$

3. Kuat Lentur Balok pada Variasi 4% (B3-1)

Diketahui:

$$P = 2850 \text{ kgf} = 27958,50 \text{ N}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{27958,5 \times 450}{150 \times 150^2}$$

$$\sigma = 3,73 \text{ MPa}$$

4. Kuat Lentur Balok pada Variasi 6% (B4-1)

Diketahui:

$$P = 2010 \text{ kgf} = 19718,10 \text{ N}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{19718,1 \times 450}{150 \times 150^2}$$

$$\sigma = 2,63 \text{ MPa}$$

5. Kuat Lentur Balok pada Variasi 8% (B5-1)

Diketahui:

$$P = 1910 \text{ kgf} = 18737,10 \text{ N}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$\sigma = \frac{18737,1 \times 450}{150 \times 150^2}$$

$$\sigma = 2,50 \text{ MPa}$$

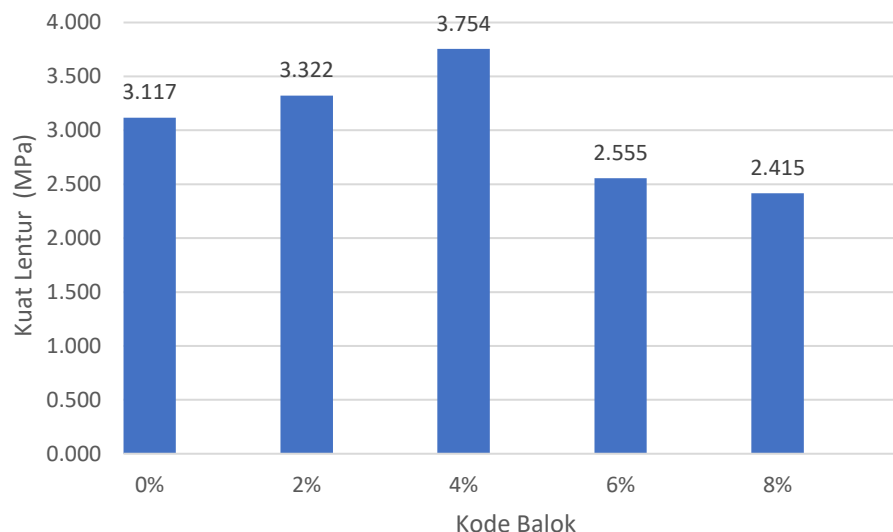
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan analisis perhitungan yang sama, hasil pengujian kuat tekan beton terdapat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Lentur

BALOK	Kodefikasi	Dimensi (m)			KUAT LENTUR			Rata rata (Mpa)
		L	b	h	Kgf	N	Mpa	
B1-1	B1	0,45	0,15	0,15	2440	23936,40	3,19	3,117
B1-2		0,45	0,15	0,15	2190	21483,90	2,86	
B1-3		0,45	0,15	0,15	2520	24721,20	3,30	
B2-1	B2	0,45	0,15	0,15	3050	29920,50	3,99	3,322
B2-2		0,45	0,15	0,15	2340	22955,40	3,06	
B2-3		0,45	0,15	0,15	2230	21876,30	2,92	
B3-1	B3	0,45	0,15	0,15	2850	27958,50	3,73	3,754
B3-2		0,45	0,15	0,15	3360	32961,60	4,39	
B3-3		0,45	0,15	0,15	2400	23544,00	3,14	
B4-1	B4	0,45	0,15	0,15	2010	19718,10	2,63	2,555
B4-2		0,45	0,15	0,15	2000	19620,00	2,62	
B4-3		0,45	0,15	0,15	1850	18148,50	2,42	
B5-1	B5	0,45	0,15	0,15	1910	18737,10	2,50	2,415
B5-2		0,45	0,15	0,15	1950	19129,50	2,55	
B5-3		0,45	0,15	0,15	1680	16480,80	2,20	

Serangkaian analisis mengenai kuat lentur balok beton telah dilaksanakan. Mengacu pada data yang tersaji dalam Tabel 5.18, telah dibuat representasi grafis yang mengilustrasikan hasil uji kuat lentur beton dengan substitusi ban karet. Visualisasi hasil pengujian kuat lentur beton ini dapat dilihat pada Gambar 5.16

yang disajikan di bawah ini. Grafik tersebut memberikan gambaran visual tentang hubungan antara variasi substitusi ban karet dan kekuatan lentur yang dihasilkan pada balok beton yang diuji



Gambar 5.16 Grafik Histogram Perbandingan Kuat Lentur

Perubahan presentase kuat lentur mengacu pada variasi 0% atau tanpa substitusi ban karet dapat dilihat pada Tabel 5.19 dibawah ini.

Tabel 5.19 Presentase Perubahan Kuat Lentur

Kode	Variasi	Kuat Tekan Rerata (Mpa)	Persentase Perubahan
B1	0%	3,117	0,00%
B2	2%	3,322	6,17%
B3	4%	3,754	16,96%
B4	6%	2,555	-22,01%
B5	8%	2,415	-29,06%

Hasil penelitian mengenai substitusi ban karet terhadap agregat kasar dalam campuran beton menunjukkan pola yang menarik pada kuat lentur. Tabel 5.19 memperlihatkan bahwa substitusi ban karet hingga 4% memberikan peningkatan kuat lentur yang signifikan, dengan puncaknya pada 4% substitusi yang mencapai kenaikan 16,96% dibandingkan beton tanpa substitusi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor: peningkatan fleksibilitas beton, distribusi tegangan yang lebih baik, peningkatan ikatan antar-partikel, dan efek peredam dari partikel karet yang membantu meredam micro-cracking. Namun, substitusi di atas 4% justru

mengakibatkan penurunan kuat lentur yang cukup drastis, dimana pada 6% dan 8% substitusi, kuat lentur menurun masing-masing sebesar 22,01% dan 29,06%. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya kekuatan agregat, lemahnya ikatan antara partikel karet dengan pasta semen, peningkatan porositas, dan distribusi beban yang tidak merata dalam struktur beton. Menurut Najim, K. B., & Hall, M. R. (2012) pada judul "Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete, saat substitusi 2-4% akan terjadi peningkatan ketahanan terhadap propagasi retak, distribusi partikel karet yang optimal, serta peningkatan kapasitas deformasi elastis, namun pada substitusi lebih besar lagi akan menciptakan terlalu banyak zona lemah, berkurangnya kohesi antar material, serta Interface yang kurang efektif. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian kuat lentur pada Gambar 5.17 dibawah ini.



Gambar 5.17 Benda Uji Setelah Mengalami Pengujian

Temuan ini menggarisbawahi pentingnya memperhatikan titik optimal dalam penggunaan ban karet sebagai substitusi agregat kasar, yang dalam Penelitian ini berada pada kisaran 4%. Penggunaan di bawah atau di atas nilai ini perlu dipertimbangkan dengan cermat, tergantung pada aplikasi spesifik dan kebutuhan struktural dari beton yang direncanakan.

5.3.5 Analisa Hasil Optimum

Dalam penelitian ini melibatkan beberapa pengujian untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton dengan substitusi ban karet, termasuk pengujian slump, kuat tekan, dan kuat lentur. Pengujian slump dilakukan untuk memastikan kelecakan campuran beton segar berada dalam rentang yang diinginkan, menunjukkan konsistensi dan workability yang baik. Pengujian kuat tekan dilakukan pada silinder berumur 28 hari dan menunjukkan bahwa penambahan ban karet cenderung menurunkan kuat tekan beton, dengan campuran tanpa substitusi menghasilkan nilai tertinggi. Di sisi lain, pengujian kuat lentur dilakukan pada balok untuk menilai kemampuan beton menahan beban lentur, di mana substitusi 4% ban karet menghasilkan peningkatan kuat lentur tertinggi sebesar 16,96% dibandingkan beton tanpa substitusi. Substitusi di atas 4% menyebabkan penurunan kuat lentur akibat berkurangnya kohesi antar material dan peningkatan porositas. Oleh karena itu, variasi optimum ditentukan pada substitusi 4% ban karet, karena pada tingkat ini beton menunjukkan peningkatan signifikan dalam kuat lentur tanpa penurunan drastis pada kuat tekan. Kombinasi antara peningkatan fleksibilitas dan peredaman mikro-retak yang diberikan oleh partikel karet pada tingkat substitusi ini menghasilkan keseimbangan yang baik dalam karakteristik mekanik beton, sementara substitusi di atas 4% membentuk zona lemah dalam struktur yang dapat mengurangi kekuatan beton secara keseluruhan.

BAB VI

Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh substitusi limbah karet ban bekas pada agregat kasar dalam campuran beton normal terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton, berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil:

1. Substitusi limbah karet ban bekas dalam agregat kasar beton menghasilkan penurunan kuat tekan beton. Semakin besar persentase limbah karet yang digunakan, semakin rendah nilai kuat tekan yang diperoleh. Beton dengan substitusi 2% dan 4% limbah ban menunjukkan pengurangan kuat tekan yang lebih sedikit dibandingkan substitusi 6% dan 8%. Hal ini disebabkan oleh karakteristik elastisitas karet yang lebih rendah dibandingkan agregat kasar alami.
2. Rasio perbandingan modulus percobaan dan teoritis yang cukup tinggi pada variasi 2% dan 4% substitusi ban karet terhadap agregat kasar dalam campuran beton disebabkan oleh sifat elastisitas karet yang jauh lebih rendah dibandingkan agregat alami. Pada variasi ini, kandungan karet cukup untuk mempengaruhi struktur mikro beton, tetapi pada persentase yang lebih tinggi, seperti 6% dan 8%, pengaruhnya menjadi lebih stabil, sehingga rasio percobaan terhadap teoritis kembali menurun. Pengaruh ini menunjukkan bahwa ada ambang batas di mana substitusi karet mulai memberikan dampak besar terhadap sifat beton.
3. Pada uji kuat lentur, beton dengan limbah karet menunjukkan performa yang lebih baik pada persentase substitusi yang rendah, terutama pada 2% dan 4%. Pada persentase ini, kuat lentur beton meningkat dibandingkan beton normal. Namun, pada persentase yang lebih tinggi (6% dan 8%), nilai kuat lentur mulai menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan karet ban bekas dapat meningkatkan ketahanan lentur beton pada batas tertentu.

4. Berdasarkan hasil pengujian, persentase optimal untuk penggunaan limbah karet ban bekas sebagai substitusi agregat kasar adalah sekitar 4%. Pada persentase ini, beton masih menunjukkan penurunan kuat tekan yang minimal, rerata dari kuat tekan 4% adalah 20,92 MPa dan dengan peningkatan rerata kuat lentur yang signifikan sebesar 5,005 MPa dimana mengalami peningkatan 20,42% dari kuat lentur balok normal. Akan tetapi, penggunaan lebih dari 4% menyebabkan penurunan kekuatan struktural yang terlalu besar.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan limbah karet ban bekas sebagai agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian di masa mendatang memasukkan bahan tambahan (aditif) seperti superplasticizer atau bahan penguat lainnya untuk memperbaiki kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan substitusi limbah karet.
2. Mengingat beton dengan substitusi karet ban menunjukkan penurunan kuat tekan, beton ini lebih cocok digunakan untuk struktur non-struktural atau bagian yang tidak memerlukan kekuatan tekan tinggi, seperti pada elemen peredam getaran, paving block, atau komponen beton untuk tujuan lingkungan seperti taman dan jalan setapak.
3. Mengingat potensi pengurangan limbah ban karet yang sulit terurai, disarankan agar industri konstruksi mempertimbangkan penggunaan limbah ban sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengoptimalkan komposisi campuran dan proses produksi skala besar.
4. Untuk mendapatkan manfaat maksimal dari penggunaan limbah ban, disarankan dilakukan studi lanjutan tentang analisis ekonomi dan dampak biaya. Hal ini penting untuk menentukan apakah inovasi ini layak diterapkan secara komersial, mengingat penghematan pada penggunaan agregat kasar alami dan manfaat lingkungan yang dihasilkan.