

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BAJA GALVANIS DENGAN BERBAGAI VARIASI BENTUK TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

***(THE EFFECT OF ADDING GALVANIZED STEEL
WIRE FIBERS WITH VARIOUS SHAPES ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE)***

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



**Hadiqroa Putra Mokoginta
19511273**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BAJA GALVANIS DENGAN BERBAGAI VARIASI BENTUK TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

*(THE EFFECT OF ADDING GALVANIZED STEEL WIRE
FIBERS WITH VARIOUS SHAPES ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF CONCRETE)*

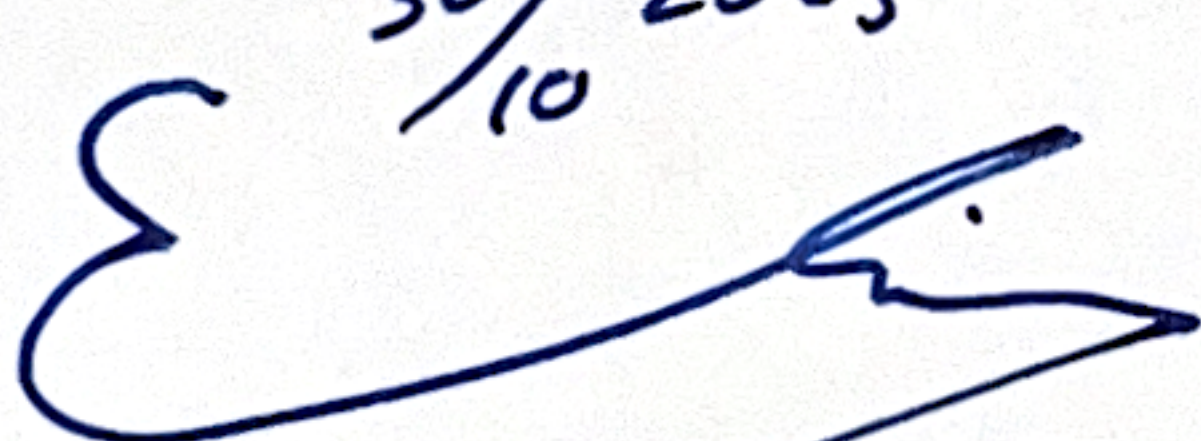
Disusun Oleh

Hadiqroa Putra Mokoginta
19511273

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

Diuji pada tanggal 9 Oktober 2025
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

30/10 2025

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

Penguji I

5.11.25

Malik Mushthofa, ST., M.Eng
NIK: 185111302

Penguji II

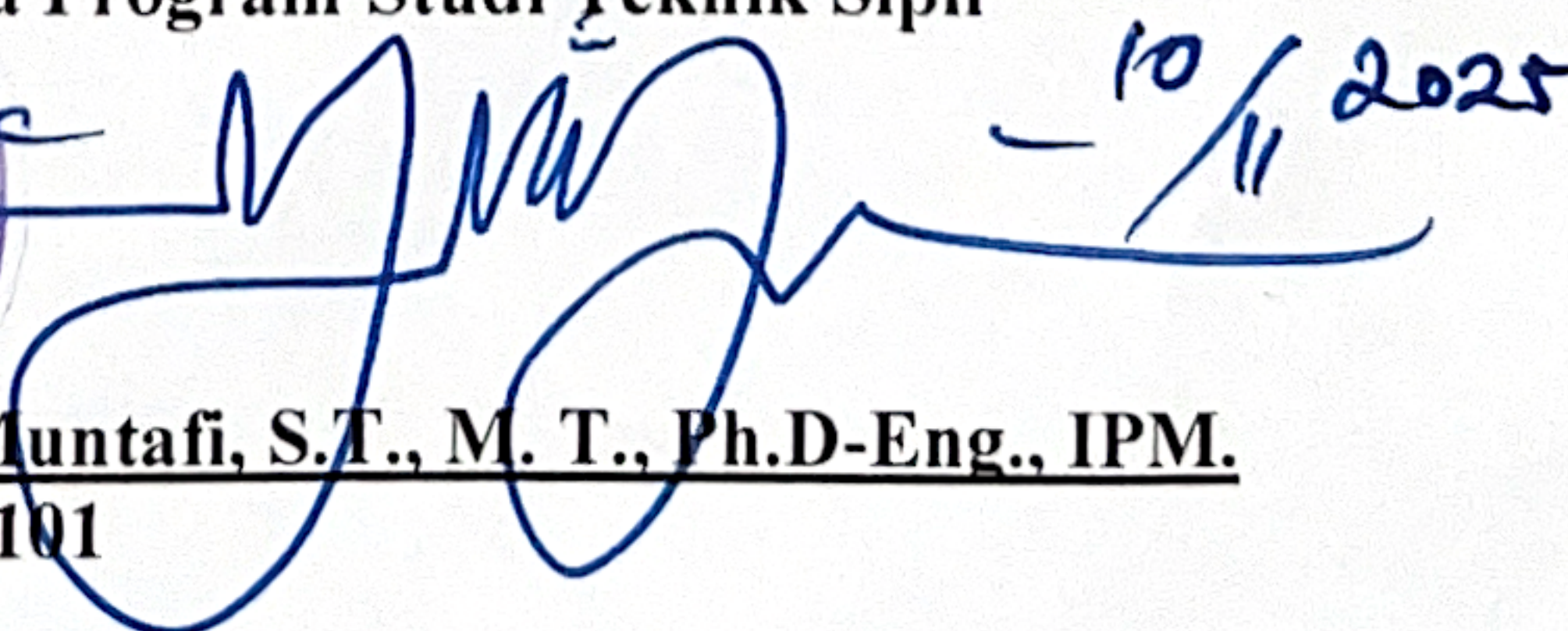
3.11.25

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

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



10/11 2025

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa laporan Tugas Akhir ini, yang disusun untuk memenuhi persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Setiap bagian yang mengacu pada karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat unsur plagiasi, maka saya siap menerima segala bentuk sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diberikan, sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 9 Oktober 2025



Pembuat pernyataan

Radigroa Putra Mokoginta

19511273

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, karunia, dan hidayah Nya sehingga tugas akhir yang berjudul 'Pengaruh Penambahan Serat Kawat Baja Galvanis Dengan Berbagai Variasi Bentuk Terhadap Sifat Mekanis Beton' dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Meskipun dalam proses penyusunannya penulis menghadapi berbagai kendala, berkat doa, dukungan, bimbingan, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, laporan ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

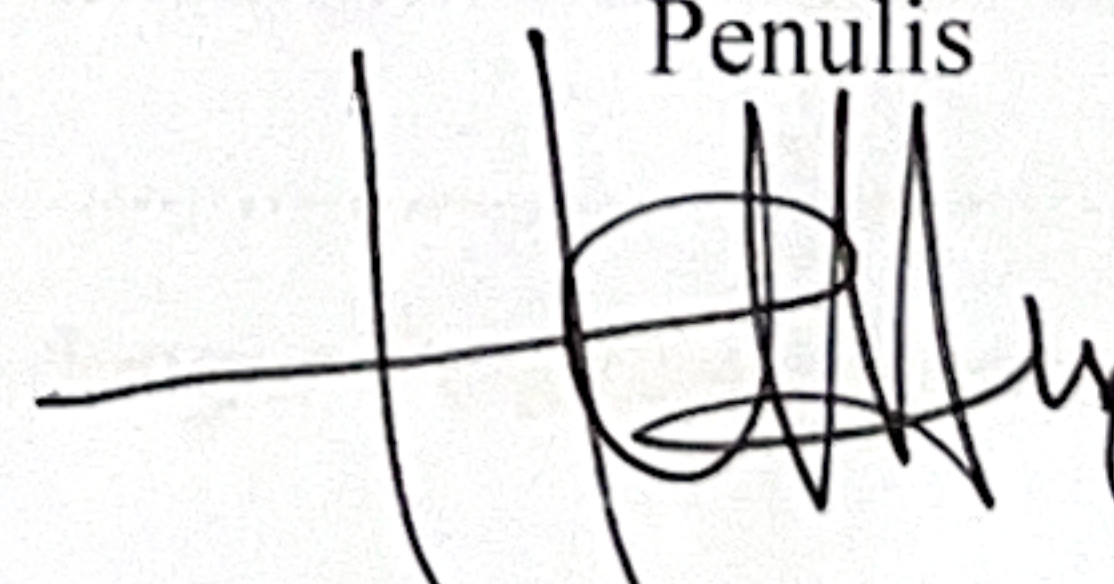
1. Ayah, Ibu, Abang, dan Kakak yang tak pernah lelah memberikan bimbingan, semangat, dan doa. Berkat dukungan mereka, tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D-Eng., IPM, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Para dosen dan staf pengajar di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, atas ilmu, bimbingan, dan wawasan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
5. Seluruh staf laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, atas bantuan dalam pelaksanaan pengujian serta penyediaan sarana dan prasarana penelitian

6. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada sahabat-sahabat saya, Nuzul, Hadi, Adil, Ari, Enggi, Zaran, dan Aqil, atas dukungan, kebersamaan, dan semangat yang telah mereka berikan selama menjalani perkuliahan, proses penelitian, dan penyusunan tugas akhir ini.
7. Najla Zalfa Pahlevi, atas dukungan luar biasa selama proses pengerjaan tugas akhir.
8. Saya juga berterima kasih kepada seluruh teman-teman terdekat yang selalu memberikan keceriaan, semangat, serta dukungan moral dalam setiap tahap penulisan. Nama mereka tidak dapat saya sebutkan satu per satu, namun peran dan kehadiran mereka sangat berarti bagi penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan di angkatan Teknik Sipil UII, atas kebersamaan, diskusi, dan kerja sama yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan dan penelitian.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungan, doa, dan motivasi yang tak henti hingga laporan tugas akhir ini terselesaikan.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari sempurna, sehingga segala masukan dan saran yang membangun akan sangat penulis hargai. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi sumbangsih bagi ilmu pengetahuan

Yogyakarta, 9 Oktober 2025

Penulis



Hadiqroa Putra Mokoginta

(19511273)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I 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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana.....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Beton	12
3.2 Material Penyusun Beton	12
3.2.1 Agregat Halus	12
3.2.2 Agregat Kasar	13
3.2.3 Semen Portland (PC)	15

3.2.4	Air	16
3.2.5	Serat baja (<i>steel fiber</i>)	18
3.3	Beton Serat	19
3.3.1	Karakteristik Struktural Beton Serat.....	20
3.3.2	Konsep Beton Serat	22
3.3.3	Mekanisme Kerja Serat dalam Beton	22
3.4	Desain Campuran	24
3.5	Pengujian <i>Slump</i>	30
3.6	Perawatan Beton.....	31
3.7	Pengujian Tekan Beton	32
3.8	Pengujian Tarik Belah	32
3.9	Pengujian Kuat Lentur Beton	33
3.10	Umur Beton	35
BAB IV METODE PENELITIAN		36
4.1	Umum	36
4.2	Lokasi	36
4.3	Bahan.....	36
4.4	Alat	37
4.5	Tahap Penelitian	43
4.5.1	Persiapan Bahan.....	43
4.5.2	Pembuatan Benda Uji.....	44
4.5.3	Perawatan Benda Uji	47
4.6	Prosedur Pengujian.....	47
4.6.1	Uji <i>Slump test</i>	47
4.6.2	Uji Kuat Tekan Beton	49
4.6.3	Uji Tarik Belah.....	51
4.6.4	Uji Kuat Lentur Balok.....	53
4.6.5	Analisis Data Dan Pembahasan	55
4.6.6	Olah Data	55
4.6.7	Kesimpulan Dan Saran.....	56
4.6.8	Pengujian Benda Uji	56

4.7	Diagram Penelitian	56
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		59
5.1	Pengujian Material	59
5.1.1	Pengujian Agregat Halus	59
5.1.2	Pengujian Agregat Kasar	66
5.2	Perencanaan Campuran Beton.....	72
5.3	Hasil Uji Coba Benda Uji.....	84
5.4	Hasil Uji Laboratorium Terhadap Benda Uji	85
5.4.1	Pengujian <i>Slump</i> Beton.....	85
5.1.3	Benda Uji	85
5.4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	86
5.4.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	92
5.4.4	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton	97
5.5	Perbandingan Kebutuhan dan Biaya Material antara Beton Normal dan Beton Berserat	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		107
6.1	Kesimpulan.....	107
6.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN.....		113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian.....	8
Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	25
Tabel 3.2 Persyaratan Pemakaian Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Beton pada Kondisi Lingkungan Khusus	26
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	28
Tabel 4.1 Spesifikasi Benda Uji.....	45
Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis serta	60
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus.....	62
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus	63
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	64
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus.....	65
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	65
Tabel 5.7 Rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.....	67
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar.....	69
Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar	70
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	71
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar.....	72
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton.....	83
Tabel 5.13 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serat Kawat	84
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Uji Beton Normal pada Usia 3 Hari	84
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Slump</i>	85
Tabel 5.16 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	88
Tabel 5.17 Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton.....	89

Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Beton.....	93
Tabel 5.19 Persentase Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton.....	94
Tabel 5.20 Kategori Patah.....	100
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur.....	101
Tabel 5.22 Persentase Peningkatan	102
Tabel 5.23 Rekapitulasi Kebutuhan dan Biaya Material	106
Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis serta	60
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus.....	62
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus	63
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	64
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus.....	65
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	65
Tabel 5.7 Rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.....	67
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar.....	69
Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar	70
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	71
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar.....	72
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton.....	83
Tabel 5.13 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serat Kawat	84
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Uji Beton Normal pada Usia 3 Hari	84
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Slump</i>	85
Tabel 5.16 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	88
Tabel 5.17 Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton.....	89
Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Beton.....	93
Tabel 5.19 Persentase Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton.....	94
Tabel 5.20 Kategori Patah.....	100
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur.....	101
Tabel 5.22 Persentase Peningkatan	102
Tabel 5.23 Rekapitulasi Kebutuhan dan Biaya Material	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Agregat Halus.....	13
Gambar 3.2 Agregat Kasar.....	15
Gambar 3.3 Semen.....	16
Gambar 3.4 Air.....	18
Gambar 3.5 Konsep Beton Berserat.....	21
Gambar 3.6 Pola Penyebaran Serat pada Beton Menurut <i>Spacing Concept</i>	23
Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	26
Gambar 3.8 Persentase Pasir terhadap Agregat Total pada Ukuran Butir Maksimum 10 mm	28
Gambar 3.9 Grafik Persentase Pasir terhadap Agregat Total pada Ukuran Butir Maksimum 20 mm.....	29
Gambar 3.10 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)	29
Gambar 3.11 Estimasi Berat Jenis Beton Basah Setelah Pemadatan.....	30
Gambar 3.12 Tipe-tipe Slump.....	31
Gambar 3.13 Gambaran Prosedur Uji Kuat Tekan Beton	32
Gambar 3.14 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton	33
Gambar 3.15 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton(a).....	34
Gambar 3.16 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur	34
Gambar 3.17 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur	35
Gambar 3.18 Ilustrasi Pengujian Lentur Balok 2 Titik.....	35
Gambar 4.1 Bentuk Variasi Kawat	37
Gambar 4.2 Saringan.....	38
Gambar 4.3 Timbangan.....	38
Gambar 4.4 Cetakan Silinder	38
Gambar 4.5 Cetakan Balok	39

Gambar 4.6 Ember	39
Gambar 4.7 Kerucut Abrams	40
Gambar 4.8 Oven	40
Gambar 4.9 Tongkat Penumbuk	40
Gambar 4.10 Mixer	41
Gambar 4.11 Sekop.....	41
Gambar 4.12 Alat Ukur.....	41
Gambar 4.14 Mesin Uji Tekan.....	42
Gambar 4.15 Mesin Uji Tarik Belah.....	42
Gambar 4.16 Mesin Uji Lentur	42
Gambar 4. 17 Diagram Slump Test	48
Gambar 4.18 Ilustrasi Pengujian slump dari Langkah 1-6.....	49
Gambar 4.19 Diagram Pengujian Kuat Tekan	50
Gambar 4.20 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton.....	51
Gambar 4.21 Diagram Pengujian Kuat Tarik Belah	52
Gambar 4.22 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	53
Gambar 4. 23 Diagram Pengujian Kuat Lentur	54
Gambar 4.24 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton	55
Gambar 4.25 Diagram Air Penelitian.....	58
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II	63
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm	70
Gambar 5.3 Nilai Standar Deviasi	73
Gambar 5.4 Perkiraan Kekuatan Tekan (Mpa) Dengan Faktor air semen 0,5	73
Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	74
Gambar 5.6 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m ³).....	75
Gambar 5.7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus.....	75
Gambar 5.8 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat.....	76
Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah	77
Gambar 5.10 Grafik Nilai Slump Berdasarkan Variasi Campuran Beton	85
Gambar 5.11 Proses Pengujian Slump Beton	86

Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Kuat Tekan antara Beton Normal dan Beton Variasi Kawat	89
Gambar 5.13 Mesin Pengujian Kuat Tekan Beton.....	91
Gambar 5. 14 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Tekan Beton.....	91
Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan Beton.....	92
Gambar 5.16 Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Beton.....	96
Gambar 5. 17 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Tarik Belah Beton...	96
Gambar 5.18 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	97
Gambar 5.19 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton	97
Gambar 5.20 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat.....	98
Gambar 5.21 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat.....	98
Gambar 5.22 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat.....	99
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Kuat Lentur Beton Antara Beton Normal Dan Beton Variasi Bentuk Kawat	102
Gambar 5.24 Pengujian Kuat Lentur Pada Beton	104
Gambar 5. 25 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Lentur	105
Gambar 5.26 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Lentur.....	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi.....	114
Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium.....	115
Lampiran 3 Rekapitulasi Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	116
Lampiran 4 Rekapitulasi Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	120
Lampiran 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Tekan Beton.....	124
Lampiran 6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Tarik Beton.....	129
Lampiran 7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Lentur Beton.....	134
Lampiran 8 Dokumentasi Slump Test.....	143
Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan	145
Lampiran 10 Dokumentasi Pengujian Kuat Tarik	145
Lampiran 11 Dokumentasi Pengujian Kuat Lentur	146

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki kuat tekan tinggi dan biaya produksi yang terjangkau. Namun, beton konvensional memiliki kuat tarik rendah dan sifat getas sehingga mudah retak dan menurunkan durabilitas struktur. Salah satu solusi untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan serat kawat baja galvanis yang berfungsi memperlambat propagasi retak dan meningkatkan daktilitas beton.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh bentuk serat kawat baja galvanis terhadap sifat mekanis beton, meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Total benda uji sebanyak 40 sampel terdiri dari tiap variasi campuran: 3 silinder untuk uji tekan, 3 silinder untuk uji tarik belah, dan 2 balok untuk uji lentur, dengan total 30 silinder dan 10 balok. Beton dirancang dengan mutu f'_c 25 MPa berdasarkan SNI 2834:2000 dan ditambahkan serat 1% volume atau 78,5 kg/m³. Empat bentuk serat digunakan, yaitu lurus tanpa kait, lurus berkait 90°, bergelombang tanpa kait, dan bergelombang berkait 90°. Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai SNI 1974:2011, uji tarik belah sesuai SNI 2491:2014, dan uji lentur dua titik pembebanan sesuai SNI 4431:2011 pada umur 28 hari.

Hasil menunjukkan peningkatan kinerja beton pada seluruh variasi. Serat bergelombang berkait 90° memberikan hasil terbaik dengan kuat tekan 30,51 MPa, kuat tarik belah 3,33 MPa, dan kuat lentur 6,21 MPa. Meskipun biaya material meningkat Rp389.754 atau 41,64% per m³, hasil ini membuktikan bahwa serat bergelombang berkait efektif dan layak diterapkan pada beton struktural.

Kata Kunci : Beton, Serat Baja Galvanis, Bentuk Serat, Sifat Mekanis.

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials due to its high compressive strength and relatively low production cost. However, conventional concrete exhibits low tensile strength and brittle behavior, making it prone to cracking and reducing structural durability. One effective approach to overcome these weaknesses is the addition of galvanized steel wire fibers, which help slow crack propagation and enhance the ductility of concrete.

This study aims to evaluate the effect of different galvanized steel wire fiber shapes on the mechanical properties of concrete, including compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength. A total of 40 specimens were prepared for each mix variation, consisting of 3 cylinders for compressive tests, 3 cylinders for splitting tensile tests, and 2 beams for flexural tests, resulting in 30 cylinders and 10 beams overall. The concrete was designed with a target strength of $f'_c = 25$ MPa based on SNI 2834:2000 and incorporated 1% fiber volume, equivalent to 78.5 kg/m³. Four fiber shapes were used: straight without hook, straight with 90° hook, wavy without hook, and wavy with 90° hook. Compressive tests followed SNI 1974:2011, splitting tensile tests followed SNI 2491:2014, and two-point flexural tests followed SNI 4431:2011, all conducted at 28 days.

The results indicated that all fiber variations improved the mechanical performance of concrete compared to normal concrete. The wavy hooked fiber showed the best performance, achieving a compressive strength of 30.51 MPa, splitting tensile strength of 3.33 MPa, and flexural strength of 6.21 MPa. Although the material cost increased by Rp389,754 or approximately 41.64% per m³, the significant improvement in mechanical properties demonstrates that wavy hooked galvanized fibers are both technically effective and economically feasible for structural concrete applications.

Keywords: Concrete, Galvanized Steel Fiber, Fiber Shape, Mechanical Properties.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki kuat tekan tinggi, ketersediaan melimpah, serta biaya produksi yang relatif terjangkau. Namun, beton konvensional memiliki kelemahan mendasar berupa kuat tarik rendah (sekitar 10–15% dari kuat tekannya) dan sifat getas (*brittle*), sehingga rentan mengalami retak mikro maupun makro yang dapat menurunkan durabilitas, melemahkan integritas struktur, serta memperpendek umur layan (Afroughsabet & Ozbakkaloglu, 2016). Keterbatasan dalam menahan gaya tarik ini menjadi salah satu permasalahan utama beton konvensional dan perlu diatasi melalui inovasi material. Kemampuan beton menahan gaya lentur sangat penting pada elemen struktural yang menerima beban transversal atau momen, seperti pelat lantai, balok jembatan, jalan beton bertulang, panel pracetak, dan struktur perkerasan kaku. Pada aplikasi tersebut, kuat lentur berperan menentukan ketahanan terhadap retak dan deformasi akibat beban dinamis maupun berulang, sehingga peningkatan sifat lentur menjadi fokus utama dalam pengembangan beton modern, termasuk melalui penambahan serat sebagai material penguat.

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan performa beton adalah penambahan serat ke dalam campuran. Serat yang tersebar acak berfungsi sebagai *crack bridging* yang menahan serta memperlambat propagasi retak, sehingga beton menjadi lebih ulet dan mampu menahan beban tarik maupun lentur secara lebih baik (Karmila Achmad & Sunarno, 2018). Dari berbagai jenis serat, serat baja banyak dipilih karena memiliki kuat tarik dan modulus elastisitas tinggi. Namun, di Indonesia penggunaannya masih terbatas karena sebagian besar produk merupakan hasil impor dengan harga relatif mahal. Beberapa contoh produk komersial impor yang banyak digunakan antara lain *Dramix®* (Bekaert, Belgia) dengan tipe populer seperti *Dramix® 3D* dan *5D*, *Novocon®*

(Euclid Chemical, Amerika Serikat), serta *Fibercon®* (Australia). Meskipun produk-produk tersebut terbukti efektif, biayanya tinggi akibat proses distribusi dan impor (Faiz Sulthan, 2019; Pitaloka, 2021).

Sebagai alternatif, kawat baja galvanis berpotensi digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Material ini mudah diperoleh, memiliki ketahanan terhadap korosi berkat lapisan seng, serta dapat memanfaatkan limbah industri sehingga lebih ramah lingkungan. Dalam penggunaannya sebagai serat pada beton, kinerja yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada jumlah serat, tetapi juga pada bentuk geometrinya. Variasi bentuk serat, seperti bergelombang atau berkait, terbukti mampu meningkatkan lekatan mekanis dengan pasta semen lebih baik dibandingkan serat lurus (Pitaloka, 2021).

Sejumlah penelitian telah mendukung potensi ini. (Edy Purwanto, 2011) melaporkan peningkatan kuat tekan hingga 58,32% dan kuat lentur dari 2,76 MPa menjadi 4,37 MPa pada penambahan 1% serat galvanis. (Basuki, 2013) menemukan peningkatan kuat lentur balok hingga 70,52% bergantung pada diameter kawat, sedangkan (Ahmad Saifuddin, 2015) menunjukkan peningkatan kuat tarik belah hingga 44,62% pada dosis 80 kg/m³.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serat kawat baja galvanis dengan berbagai variasi bentuk terhadap sifat mekanis beton. Empat variasi bentuk serat digunakan, yaitu lurus tanpa kait, lurus berkait 90°, bergelombang tanpa kait, dan bergelombang berkait 90°, dengan kadar serat 1% *volume fraction* (7.850 kg/m³), setara dengan 78,5 kg serat per 1 m³ beton. Pengujian yang dilakukan mencakup kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur, sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja beton berserat. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman teknis mengenai peningkatan kekuatan dan daktilitas beton akibat penambahan serat galvanis, sekaligus menawarkan alternatif material yang lebih kuat, ulet, dan tahan lama untuk mendukung kebutuhan konstruksi modern.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi bentuk serat kawat baja galvanis terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton?
2. Bentuk Serat kawat baja galvanis dengan bentuk apa yang menghasilkan kinerja paling optimal pada sifat mekanis beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang tertera diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh bentuk kawat baja galvanis terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton.
2. Mengidentifikasi bentuk serat kawat baja galvanis yang memberikan peningkatan paling optimal terhadap sifat mekanis beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh bentuk kawat baja galvanis sebagai serat terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton.
2. Untuk mendapatkan material serat buatan yang relatif murah dan dapat secara optimal meningkatkan kekuatan beton, termasuk kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton.

1.5 Batasan Penelitian

Tujuan dari penentuan batasan penelitian adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang sedang dilakukan tetap sesuai dengan sasaran penelitian. Berikut adalah rincian mengenai batasan penelitian ini.

1. Metode mix design menggunakan SNI 2834:2000 dengan mutu rencana $f'_c = 25$ MPa.
2. Penelitian dibatasi pada pengujian
 - a. Kuat tekan beton (SNI 1974:2011)
 - b. Kuat tarik belah beton (SNI 2491:2014)
 - c. Kuat lentur beton dengan pembebanan dua titik (SNI 4431:2011).

3. Bahan yang digunakan
 - a. Semen Portland tipe I merek Tiga (PCC).
 - b. Kawat baja galvanis dari toko besi bekas (Ringroad Utara)
 - c. Air dari Laboratorium Bahan Konstruksi FTSP UII
 - d. Pasir dan kerikil diperoleh dari Progo
4. Kawat baja galvanis.

Serat kawat galvanis yang digunakan memiliki spesifikasi panjang 60 mm dan diameter 1,2 mm, dengan variasi bentuk sebagai berikut: lurus tanpa kait, lurus berkait 90°, bergelombang tanpa kait, serta bergelombang berkait 90°.
5. Jumlah benda uji pada setiap variasi terdiri atas 3 silinder untuk uji tekan, 3 silinder untuk uji tarik belah, dan 2 balok untuk uji lentur. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Dengan lima variasi campuran (termasuk beton normal), total benda uji yang digunakan adalah 40 buah, terdiri atas 30 silinder dan 10 balok.
6. Kadar serat yang digunakan adalah 1% *volume fraction* dari serat baja, yang setara dengan 78,5 kg serat per 1 m³ beton
7. Ruang lingkup yang tidak dibahas

Penelitian ini tidak membahas sifat non mekanis beton, seperti durabilitas, permeabilitas, susut (*shrinkage*), atau ketahanan terhadap serangan kimia. Analisis juga tidak mencakup optimasi biaya konstruksi secara mendalam, melainkan sebatas perbandingan kebutuhan material antara beton normal dan beton berserat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasarkan pada berbagai studi terdahulu yang menunjukkan bahwa penambahan serat kawat galvanis, khususnya dengan variasi bentuk dan persentase tertentu, berpengaruh signifikan dalam meningkatkan sifat mekanis beton melalui mekanisme penahan retak dan perlekatan mekanis.

1. Karmila Achmad dan Sunarno (2018) meneliti kekuatan beton serat kawat galvanis dengan tujuan memperoleh bentuk serat buatan yang relatif murah namun mampu meningkatkan kinerja beton secara optimal, baik dari segi kuat tekan, kuat tarik, maupun kuat lentur. Kawat galvanis dipilih karena harganya terjangkau, mudah dibentuk, mudah dirawat, serta dapat menunda keruntuhan beton akibat beban yang bekerja. Variasi bentuk yang digunakan adalah Linting dan Crimped, di mana hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk Linting memberikan performa beton yang lebih baik dibandingkan Crimped. Selain itu, semakin kecil diameter Linting, semakin tinggi kekuatan beton yang dihasilkan. Pada benda uji L2 (Linting 2), diperoleh nilai kuat tekan sebesar 27,57 MPa pada umur 14 hari, 22,84 MPa pada umur 28 hari, kuat tarik 10,11 MPa, dan kuat lentur 5,42 MPa.
2. Faiz Sulthan (2019) meneliti pengaruh tipe bentuk serat baja terhadap sifat fisik dan mekanik beton berserat baja memadat sendiri (SFRSCC). Kelemahan beton yang memiliki kuat tarik rendah dan bersifat getas dapat diatasi dengan penambahan serat baja, meskipun penggunaannya menimbulkan kendala berupa penurunan kemampuan kerja (*workability*). Untuk itu, digunakan beton memadat sendiri (*self-compacting concrete* atau SCC) dengan tambahan serat baja. Perkembangan bentuk serat baja menghasilkan berbagai tipe, seperti lurus (*straight*), bergelombang (*crimped*), dan berkait (*hooked*). Penelitian ini dilakukan melalui kajian pustaka serta

metode eksperimental, dan hasilnya menunjukkan bahwa seluruh jenis serat baja menurunkan kemampuan kerja beton, dengan penurunan terbesar pada tipe berkait dan terkecil pada tipe lurus. Sebaliknya, sifat mekanik beton meningkat, terutama pada tipe berkait dan lurus, sementara tipe bergelombang direkomendasikan karena mampu memberikan keseimbangan terbaik antara sifat fisik dan mekanik pada SFRSCC.

3. Oky Sandra Pitaloka (2021) meneliti pengaruh penambahan limbah serat baja terhadap kekuatan dan modulus elastisitas beton. Secara struktural, beton memiliki kelebihan berupa kuat tekan yang tinggi, namun juga memiliki kelemahan berupa kuat tarik yang rendah dan sifat getas. Salah satu upaya peningkatan performa beton adalah dengan menambahkan serat baja, meskipun metode ini masih jarang dilakukan karena dianggap kurang ekonomis. Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan alternatif berupa serat kawat baja yang berasal dari limbah ban bekas, yang dinilai lebih murah sekaligus ramah lingkungan. Tujuan penelitian adalah menguji campuran beton dengan variasi persentase serat serta menilai pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanis beton. Variasi serat yang digunakan adalah 0,5%, 1,5%, dan 2,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada umur 7, 14, dan 28 hari, beton dengan penambahan serat 0,5% dan 1,5% mengalami peningkatan kuat tekan.
4. Asyrofi Miranda Putra, Vera Agustriana Noorhidana, dan Mohd Isneini (2020) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang pada beton mutu normal. Penelitian ini tidak hanya menilai kuat lentur, tetapi juga membandingkan pola retak dan keruntuhan antara balok beton bertulang tanpa serat dan dengan serat baja. Sampel yang digunakan berupa balok beton bertulang berukuran 15 cm × 19 cm × 170 cm dengan dua tulangan lentur D-10 mm, masing-masing diuji pada variasi volume fraction (V_f) 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari menggunakan beban dua titik hingga mencapai keruntuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) penambahan serat baja tidak memberikan perbedaan signifikan

terhadap kuat tekan beton, (2) kuat tarik lentur tertinggi diperoleh pada variasi 1,5% dengan peningkatan sebesar 281,42% dibandingkan balok tanpa serat, dan (3) kuat lentur balok bertulang dengan beban maksimum juga terjadi pada variasi 1,5% dengan peningkatan 56,64% dari kondisi tanpa serat. Selain itu, penambahan serat baja terbukti membuat balok beton bertulang menjadi lebih kaku serta mampu memperbaiki sifat getas beton.

5. Sufyan Affandi, Zendy Bima Mahardana, Hengki Arief Affandi, Okta Hubna Sahdana, Putri Candra Dewi, Yeni Astifah, dan Sulis Mawardianingrum (2023) meneliti upaya meningkatkan kuat tekan beton melalui modifikasi bahan dengan penambahan serat baja (steel fiber). Beton dikenal sebagai material konstruksi yang paling banyak digunakan karena keunggulannya, namun memiliki kelemahan dalam akurasi pencapaian *Job Mix Formula* (JMF). Salah satu inovasi yang dikembangkan adalah beton serat (*fiber reinforced additive*), di mana penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menambahkan steel fiber sebesar 1,3% ke dalam campuran beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material penyusun beton memenuhi kategori layak, sementara uji slump menghasilkan nilai 14 cm yang masih berada dalam rentang kriteria campuran ($12 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$). Pada pengujian kuat tekan, nilai yang diperoleh adalah 9,2 MPa untuk benda uji pertama, 17,97 MPa pada benda uji kedua, dan 18,53 MPa pada benda uji ketiga. Nilai tertinggi dicapai pada sampel ketiga, yaitu 18,53 MPa, melampaui target kuat tekan beton sebesar 16,60 MPa. Dengan demikian, penambahan steel fiber terbukti dapat meningkatkan mutu dan kuat tekan beton.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	Karmila Achmad, Sunarno (2018)	Faiz Sulthan (2019)	Oky Sandra Pitaloka (2020)	Asyrofi Miranda Putra, Mohd Isneini (2020)	Sufyan Affandi , Zendy Bima Mahardana, (2023)	Hadiqroa Mokoginta (2024)
Judul	Kekuatan Beton Serat Kawat Galvanis	Pengaruh Tipe Bentuk Serat Baja Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Beton Berserat Baja Memadat Sendiri	Pengaruh penambahan limbah serat baja terhadap kekuatan dan modulus elastisitas beton,	Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal	Meningkatkan Kualitas Kuat Tekan Beton Menggunakan Bahan Modifikasi Serat Baja	Pengaruh Penambahan Serat Kawat Baja Galvanis Dengan Berbagai Variasi Bentuk Terhadap Sifat Mekanis Beton
Tujuan	Penelitian ini bertujuan memperoleh bentuk serat kawat galvanis yang ekonomis dan optimal dalam meningkatkan kuat tekan, tarik, dan lentur beton, dengan variasi bentuk Linting dan Crimped.	Penelitian ini menganalisis pengaruh bentuk serat baja lurus, bergelombang (<i>crimped</i>), dan berkait (<i>hooked</i>) terhadap sifat fisik dan mekanis <i>SFRSCC</i> .	Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan limbah serat baja ban bekas (0%, 0,5%, 1,5%, 2,5%) terhadap kuat tekan dan tarik beton, serta membandingkan performanya dengan beton normal.	1.eksperimental untuk menyelidiki pengaruh. 2. penambahan serat baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang pada beton mutu normal.	untuk menganalisis pengaruh penambahan steel fiber sebanyak 1,3% pada campuran beton terhadap nilai kuat tekan beton, serta mengevaluasi kelayakan material dan akurasi Job Mix Formula yang digunakan	1.Menganalisis pengaruh bentuk kawat baja galvanis pada kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton. 2.Menentukan bentuk optimal penambahan kawat baja galvanis yang memberikan peningkatan signifikan terhadap sifat mekanis beton.

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	Karmila Achmad, Sunarno (2018)	Faiz Sulthan (2019)	Oky Sandra Pitaloka (2020)	Asyrofi Miranda Putra, Mohd Isneini (2020)	Sufyan Affandi, Zendy Bima Mahardana, (2023)	Hadiqroa Mokoginta (2024)
Metode	Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan kawat galvanis bentuk Linting dan Crimped pada beton mutu normal, diuji kuat tekan, tarik belah, dan lentur untuk menentukan bentuk serat paling optimal.	Metode penelitian ini berupa studi literatur dan eksperimen untuk menilai pengaruh bentuk serat baja pada sifat fisik dan mekanis SFRSCC.	Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan menambahkan serat kawat ban bekas 0,5%, 1,5%, dan 2,5% pada beton, lalu diuji kuat tekan dan kuat tarik lentur pada umur 7, 14, dan 28 hari.	Penelitian ini Metode penelitian ini berupa uji eksperimental balok beton bertulang dengan variasi serat baja (Vf 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%) yang diuji lentur menggunakan metode two-point loading setelah umur 28 hari.	Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan menambahkan <i>steel fiber</i> 1,3% pada beton mutu normal, kemudian diuji slump dan kuat tekan.	Beton dengan 1% serat kawat galvanis (BL1, BL2, BG1, BG2) serta beton normal diuji pada umur 28 hari. Benda uji silinder digunakan untuk uji tekan (SNI 1974:2011) dan tarik belah (SNI 2491:2014), sedangkan balok untuk uji lentur (SNI 4431:2011).

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	Karmila Achmad, Sunarno (2018)	Faiz Sulthan (2019)	Oky Sandra Pitaloka (2020)	Asyrofi Miranda Putra, Mohd Isneini (2020)	Sufyan Affandi, Zendy Bima Mahardana, (2023)	Hadiqroa Mokoginta (2024)
Hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat kawat galvanis bentuk Linting memberikan kekuatan beton lebih baik dibanding Crimped, dengan performa terbaik pada sampel L2 yang mencapai kuat tekan 27,57 MPa (14 hari), 22,84 MPa (28 hari), kuat tarik belah 10,11 MPa, dan kuat lentur 5,42 MPa	Semua tipe serat baja meningkatkan sifat mekanis beton, dengan peningkatan terbesar pada tipe hooked, sementara tipe crimped direkomendasikan untuk keseimbangan workability dan kekuatan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kawat ban bekas meningkatkan kinerja beton, dengan kuat tekan tertinggi sebesar 31,48 MPa dan kuat tarik lentur tertinggi sebesar 7,41 MPa pada variasi 2,5%.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat baja tidak berpengaruh signifikan pada kuat tekan, tetapi mampu meningkatkan kuat tarik lentur hingga 281,42% dan kuat lentur balok hingga 56,64% pada Vf 1,5%, sehingga balok menjadi lebih kaku dan kurang getas.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat baja mampu meningkatkan mutu beton. Uji slump memenuhi kriteria 10–14 cm, sementara kuat tekan tertinggi mencapai 18,53 MPa pada sampel ketiga, melebihi target 16,60 MPa. Hal ini membuktikan bahwa steel fiber efektif dalam meningkatkan performa mekanis, khususnya kuat tekan beton.	Penambahan serat meningkatkan sifat mekanis beton, dengan BG2 mencapai tekan 30,51 MPa (+16,79%), tarik belah 3,33 MPa (+27,64%), dan lentur 6,21 MPa (+79,83%); meski biaya naik 41,64%, tetap layak secara teknis dan ekonomis.

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat sejumlah perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian ini. Adapun perbedaan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Bahan tambah yang digunakan adalah kawat baja galvanis.
2. Penambahan Kadar serat yang digunakan adalah 1% *volume fraction* dari serat baja, yang setara dengan 78,5 kg serat per 1 m³ beton.
3. Variasi bentuk serat meliputi:
 - a. Lurus tanpa kait
 - b. Lurus dengan kait 90°
 - c. Bergelombang tanpa kait
 - d. Bergelombang dengan kait 90°
4. Penelitian ini ditujukan untuk menentukan bentuk variasi serat yang paling optimal dalam meningkatkan kinerja beton.
5. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada umur 28 hari setelah perawatan (*curing*).
6. Kuat tekan beton rencana $f'_c = 25$ MPa

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah material komposit yang tersusun atas agregat halus berupa pasir, agregat kasar seperti kerikil atau batu pecah, yang dipersatukan dengan pasta semen dan air sehingga membentuk massa padat menyerupai batu. Dalam penggunaannya, sering ditambahkan satu atau lebih bahan aditif guna memperoleh sifat tertentu, misalnya meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*), ketahanan (*durability*), maupun mengatur waktu pengerasan beton (McCormac, 2004).

3.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen Portland, dan air, dengan kemungkinan penambahan bahan tambahan (*admixture*) untuk memperoleh sifat tertentu. Setiap komponen memiliki fungsi spesifik yang memengaruhi karakteristik beton, sehingga seluruh bahan penyusunnya harus memenuhi standar yang berlaku. Menurut

SNI 2847:2019, beton adalah material hasil pencampuran semen hidrolik, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang membentuk massa padat setelah hidrasi. Sejalan dengan itu, ACI 318 (2019) mendefinisikan beton sebagai campuran semen hidrolik, agregat, dan air dengan tambahan bahan kimia atau mineral yang, setelah mengeras, memiliki sifat menyerupai batu.

3.2.1 Agregat Halus

Menurut SNI 2834-2000, agregat halus didefinisikan sebagai pasir alami hasil proses pelapukan batuan secara alami maupun pasir buatan yang diperoleh dari hasil pemecah batu (*crushed sand*), dengan ukuran butir maksimum 5,0 mm. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi agregat halus agar dapat digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus harus tersusun atas butiran yang tajam, keras, serta tidak mudah pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca.
- b. Kandungan lumpur tidak boleh melebihi 5% dari total berat kering agregat. Apabila kadar lumpur melampaui batas tersebut, agregat halus wajib dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik dalam jumlah yang berlebihan.
- d. Agregat halus agregat halus harus memiliki variasi ukuran butiran dan memenuhi ketentuan gradasi sebagai berikut:
 1. Sisa di ayakan 4 mm minimal 2%.
 2. Sisa di ayakan 1 mm minimal 10%.
 3. Sisa di ayakan 0,25 mm antara 80-90%.
- e. Pasir laut tidak diperkenankan digunakan pada semua mutu beton, kecuali atas rekomendasi khusus dari lembaga pemeriksa bahan yang berwenang dan terakreditasi.



Gambar 3.1 Agregat Halus

3.2.2 Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 2834-2000, agregat kasar didefinisikan sebagai kerikil atau batu pecah berukuran 5 mm sampai 40 mm yang berasal dari proses alami maupun pemecahan batu secara mekanis. Dalam penggunaannya sebagai bahan campuran beton, agregat kasar wajib memenuhi syarat-syarat tertentu, di antaranya:

- a. Agregat kasar harus tersusun atas butiran yang keras dan padat, serta tidak berpori. Penggunaan butiran berbentuk pipih masih diperkenankan, namun jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat. Selain itu, butiran agregat kasar tidak boleh mudah pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca.
- b. Kandungan lumpur pada agregat kasar tidak boleh melebihi 1% dari total berat. Apabila kadar lumpur melampaui batas tersebut, agregat kasar wajib dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam campuran beton. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
- c. Tingkat kekerasan agregat kasar harus dibuktikan melalui pengujian menggunakan mesin Los Angeles, dengan batas kehilangan berat maksimum sebesar 50%.
- d. Agregat kasar harus tersusun atas butiran dengan variasi ukuran tertentu, dengan ketentuan sebagai berikut:
 - 1. Jumlah sisa di atas ayakan berukuran 31,5 mm harus 0% dari berat agregat.
 - 2. Jumlah sisa di atas ayakan berukuran 4 mm harus berada pada kisaran 90%–98% dari berat agregat.
 - 3. Perbedaan sisa kumulatif antara dua ayakan berurutan harus berada pada rentang 10% hingga 60% dari berat agregat.
- f. Ukuran maksimum butir agregat kasar tidak boleh melebihi ketentuan berikut:
 - 1. Tidak lebih dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil sisi cetakan.
 - 2. Tidak lebih dari $\frac{1}{3}$ ketebalan pelat (slab).
 - 3. Tidak lebih dari $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antar batang atau berkas tulangan.



Gambar 3.2 Agregat Kasar

3.2.3 Semen Portland (PC)

(Aji dan Purwono, 2010) menjelaskan bahwa semen merupakan material berbutir halus hasil penggilingan yang berfungsi sebagai bahan pengikat melalui proses hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air. Jenis semen hidraulis yang paling umum digunakan adalah Semen Portland, dengan salah satu variannya yaitu Semen Portland Komposit. Semen ini merupakan bahan pengikat hidraulis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen portland dan gips, dengan tambahan satu atau lebih bahan anorganik seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, atau batu kapur. Kandungan bahan anorganik dalam semen portland komposit umumnya berkisar antara 6% hingga 35% dari massa total semen. Lebih lanjut, (Aji dan Purwono, 2010) melaporkan bahwa hasil uji laboratorium menunjukkan peningkatan rasio air-semen dari 0,35 menjadi 0,65 dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara hampir linear hingga mencapai 50%, dengan kondisi campuran lainnya tetap konstan.

Menurut SNI 2049:2015, semen portland didefinisikan sebagai bahan hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis dengan penambahan sejumlah gips untuk mengatur waktu ikatnya. Semen ini berfungsi sebagai bahan pengikat utama pada beton, yang setelah bereaksi dengan air akan membentuk massa padat menyerupai batu dengan kuat tekan yang tinggi.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland dibedakan menjadi lima tipe berdasarkan karakteristik dan penggunaannya, yaitu:

1. Semen Portland Tipe I

Digunakan untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus, misalnya pada bangunan rumah, gedung bertingkat, serta jalan raya.

2. Semen Portland Tipe II

Cocok digunakan pada konstruksi yang membutuhkan ketahanan sedang terhadap sulfat, serta menghasilkan kalor hidrasi yang lebih rendah dibandingkan tipe I, misalnya pada bangunan di daerah rawa atau tepi laut.

3. Semen Portland Tipe III

Dirancang untuk memperoleh kekuatan awal yang tinggi dalam waktu singkat, sehingga ideal digunakan pada konstruksi yang membutuhkan perbaikan cepat atau pekerjaan dengan jadwal padat.

4. Semen Portland Tipe IV

Memiliki sifat menghasilkan kalor hidrasi rendah, sehingga digunakan pada konstruksi masif seperti bendungan, di mana pengendalian kenaikan suhu selama proses pengerasan sangat penting.

5. Semen Portland Tipe V

Digunakan pada konstruksi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap serangan sulfat, misalnya pondasi di tanah yang mengandung sulfat tinggi atau lingkungan laut.



Gambar 3.3 Semen

3.2.4 Air

Menurut SNI 2847-2002, air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Kebersihan: Air wajib dalam kondisi bersih serta bebas dari kandungan zat yang berpotensi merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam, maupun bahan organik lainnya.
2. Kualitas Air: Air yang tidak layak minum dapat digunakan dengan syarat hasil uji kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari menunjukkan nilai minimal 90% dari kekuatan beton yang menggunakan air bersih.
3. Kandungan Lumpur: Batas maksimum kandungan lumpur dalam air adalah 2 gram per liter.
4. Kandungan Garam: Air tidak diperbolehkan mengandung garam yang dapat merusak beton dalam jumlah lebih dari 15 gram per liter.
5. Kandungan Klorida dan Sulfat: Kadar klorida (Cl^-) harus kurang dari 0,50 gram per liter, sedangkan kadar sulfat yang dinyatakan sebagai SO_3 tidak boleh melebihi 1 gram per liter.
6. Pengujian Kekuatan: Jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan air suling, penurunan kuat tekan beton dengan air yang diperiksa tidak boleh lebih dari 10%.

Secara umum, air yang layak digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang memenuhi kriteria dapat diminum, yaitu tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Selain berfungsi sebagai bahan pencampur, air juga berperan penting dalam proses perawatan beton pasca pengecoran, di mana persyaratan mutu air perawatan bahkan lebih ketat dibandingkan dengan air pencampur. Dalam pembuatan beton, air dibutuhkan untuk memicu reaksi hidrasi semen, membasahi agregat, serta meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton. Pada umumnya, air minum dapat digunakan sebagai campuran beton, sedangkan air yang terkontaminasi senyawa berbahaya, garam, minyak, gula, maupun bahan kimia lainnya berpotensi menurunkan mutu dan mengubah sifat beton yang dihasilkan.

Air yang digunakan dapat bersumber dari air tawar, seperti sungai, danau, telaga, kolam, maupun situ, serta dari air laut atau bahkan air limbah, sepanjang kualitasnya memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Karena kekuatan dan mutu beton sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang digunakan, maka pemilihan sumber air harus benar-benar disesuaikan dengan batasan teknis yang memungkinkan tercapainya pelaksanaan campuran beton yang baik.



Gambar 3.4 Air

3.2.5 Serat baja (*steel fiber*)

Menurut (Sudarmoko dalam Tjokrodinuljo, 1996:122), apabila serat yang digunakan memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton konvensional seperti halnya kawat baja, maka beton serat akan mengalami peningkatan kuat tekan, kuat tarik, serta modulus elastisitas dibandingkan beton normal. Hal ini sejalan dengan penelitian (Suhendro, 1991) yang menunjukkan bahwa kelemahan beton, antara lain sifat getas, ketidakmampuan menahan tegangan tarik, dan rendahnya ketahanan terhadap beban kejut (*impact*), dapat diperbaiki dengan penambahan serat lokal berupa potongan kawat ke dalam campuran beton. Hasil penelitiannya membuktikan bahwa peningkatan performa beton dengan serat lokal hampir sebanding dengan penggunaan *steel fiber* impor yang dilaporkan di luar negeri.

Secara umum, serat lokal yang digunakan meliputi kawat biasa, kawat bendrat, dan kawat baja dengan diameter 0,8–1,0 mm yang dipotong sepanjang ± 6 cm sehingga menyerupai *steel fiber* komersial. Kawat bendrat memiliki kuat tarik

sekitar 385 N/mm², perpanjangan putus 5,5%, serta berat jenis 6,68. Nilai *aspect ratio* dalam kisaran 60–70 dianggap optimal karena mampu menghasilkan resistensi *pull-out* yang tinggi sekaligus menjaga tingkat kelecakan beton agar tetap baik.

Dalam penelitian ini, serat kawat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada campuran beton dengan proporsi 1% *volume fraction*. Dengan densitas serat baja sebesar 7.850 kg/m³, maka jumlah serat yang ditambahkan adalah 78,5 kg untuk setiap 1 m³ beton. Serat yang digunakan berupa kawat baja galvanis buatan dengan panjang 60 mm dan diameter 1,2 mm, yang dibentuk dalam empat variasi geometri, yaitu bergelombang tanpa kait, bergelombang dengan kait 90°, lurus tanpa kait, dan lurus dengan kait 90°.

3.3 Beton Serat

Menurut (Paganggi, Makmur, dan Rachmansyah, 2021), penambahan serat polypropylene pada beton berpori dapat meningkatkan kuat tekan sekaligus menurunkan tingkat permeabilitas. (Afroughsabet dan Biolzi, 2016) juga menyatakan bahwa serat sintetis mampu memperbaiki kuat tarik belah, kuat lentur, serta ketahanan terhadap retak. Sejalan dengan itu, (Karmila dan Sunarno, 2018) menjelaskan bahwa serat berperan sebagai *crack bridging* yang menahan dan memperlambat propagasi retak, sedangkan (Pitaloka, 2021) menegaskan bahwa variasi bentuk serat sintetis tidak hanya meningkatkan kekuatan beton, tetapi juga memperpanjang umur layan struktur.

Saat ini, terdapat beberapa jenis atau kategori beton serat yang telah dikenal, yaitu serat logam (*metallic fibers*), serat mineral (*mineral fibers*), serat polimer (*polymeric fibers*), dan serat alami (*naturally occurring fibers*).

1. Serat Logam (*Metallic Fibers*): Serat ini biasanya terbuat dari baja dan digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap retakan pada beton. Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), penambahan serat logam dapat meningkatkan kekuatan tarik beton, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap gaya tarik akibat perubahan cuaca dan temperatur.
2. Serat Mineral (*Mineral Fibers*): Ini termasuk serat kaca atau fiberglass. Penggunaan serat kaca dalam campuran beton dapat meningkatkan ketahanan

terhadap korosi dan memberikan kekuatan tambahan. Seperti yang dijelaskan oleh (As'ad, 2008), serat mineral memberikan keuntungan dalam hal ketahanan terhadap beban kejut dan meningkatkan sifat *ductility* beton.

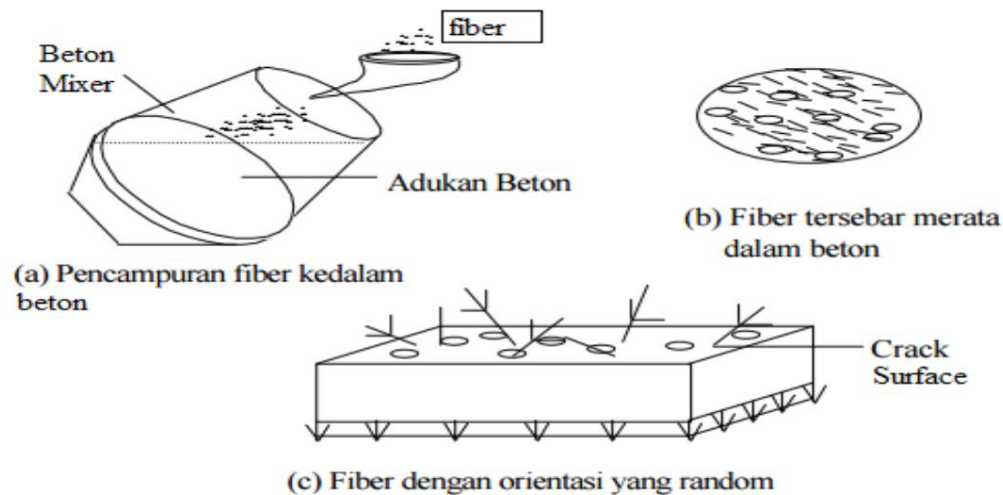
3. Serat Polimer (*Polymeric Fibers*) merupakan serat sintetis yang umumnya diproduksi dari bahan seperti polypropylene, polyethylene, maupun nylon. Penelitian yang dilakukan oleh Paganggi, (Makmur, dan Rachmansyah ,2021) menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene ke dalam campuran beton berpori mampu meningkatkan kuat tekan serta menurunkan nilai permeabilitas, sehingga berkontribusi positif terhadap durabilitas beton dengan mengurangi potensi terjadinya retak dan perembesan air.
4. Serat Alami (*Naturally Occurring Fibers*) adalah jenis serat yang berasal dari sumber daya alam, antara lain serat kelapa, kayu, tebu, ijuk, rami, maupun bambu. Serat ini memiliki keunggulan dari aspek keberlanjutan (*sustainability*), karena bersifat ramah lingkungan dan mudah diperoleh. Namun, menurut (Tjokrodinuljo, 2007), serat alami memiliki kelemahan berupa kecenderungan untuk mudah lapuk sehingga tidak direkomendasikan penggunaannya pada beton dengan mutu tinggi.

3.3.1 Karakteristik Struktural Beton Serat

Peningkatan karakteristik struktural pada beton serat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain:

1. Distribusi Acak Serat Pendek dalam Beton

Penyebaran serat merupakan bagian penting dalam proses pencampuran beton yang bertujuan memastikan serat terdistribusi secara merata dengan orientasi acak di dalam matriks beton. Metode distribusi acak tersebut mampu meningkatkan sifat struktural beton secara lebih optimal karena serat dapat menahan retak dari berbagai arah tegangan (Soroushian dan Bayasi, 1987). Untuk mencapai hasil yang efektif, perlu diperhatikan teknik pencampuran yang digunakan, konsentrasi serat yang ditambahkan, serta rasio aspek serat yang diaplikasikan. Proses dan pola penyebaran serat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Konsep Beton Berserat

(Sumber :Soroushian & Bayasi,1987)

Distribusi serat yang acak dan merata mampu meningkatkan sifat struktural beton secara maksimal, dengan mempertimbangkan metode pencampuran, kadar serat, dan rasio aspek serat.

2. Ikatan Serat pada Jalur Retakan

Ukuran serat yang relatif pendek serta sifatnya yang tidak kontinu menyebabkan jalur retak pada beton cenderung tidak sepenuhnya terhalang oleh serat, sehingga kualitas lekatan antara serat dengan matriks beton menjadi kurang optimal. Apabila kekuatan ikatan (*bond strength*) antara serat dan beton lebih rendah dibandingkan kekuatan tarik serat itu sendiri, maka perilaku mekanis beton berserat akan lebih banyak ditentukan oleh kekuatan ikatan tersebut.

3. Ketidakteraturan Panjang Serat yang Tertanam

Gaya aksial yang timbul akibat tegangan ikatan antara serat dan pasta semen sangat dipengaruhi oleh panjang tertanam minimum serat pada daerah retakan. Panjang tertanam tersebut umumnya tidak seragam, sehingga menimbulkan ketidakteraturan dalam mekanisme ikatan. Untuk mengoptimalkan kinerjanya, diperlukan penentuan rasio aspek serat yang tepat agar efektivitas penyaluran gaya tetap terjaga.

3.3.2 Konsep Beton Serat

Dalam penggunaan beton serat, terdapat dua istilah yang sering digunakan untuk memudahkan perencanaan serta pengenalan kuantitas dan kualitas yang dihasilkan dari penambahan serat:

a. Fraksi Volume Serat (*Fiber Volume Fraction* - V_f)

Fraksi volume serat (V_f) adalah persentase volume serat yang ditambahkan pada setiap volume beton. Dalam praktiknya, persentase ini dihitung berdasarkan berat serat. Hal ini dapat diketahui melalui berat jenis serat. Secara umum, semakin besar fraksi volume (V_f), kualitas beton akan meningkat. Namun, fraksi volume juga memengaruhi workabilitas campuran beton serat, sehingga perlu ditentukan nilai optimalnya dengan mempertimbangkan workabilitas tersebut.

b. Rasio Aspek Serat (*Fiber Aspect Ratio* - l/d)

Rasio aspek serat (l/d) adalah perbandingan antara panjang serat dan diameternya. Nilai ini berpengaruh terhadap sifat mekanis beton serat, seperti kuat tekan, tarik, dan lentur, sekaligus memengaruhi *workability* campuran. Rasio aspek tinggi meningkatkan kemampuan serat menahan propagasi retak, tetapi dapat menurunkan *workability* karena risiko *balling effect*. Oleh sebab itu, ACI 544 merekomendasikan kisaran 50–100 sebagai nilai efektif untuk menjaga keseimbangan antara kinerja mekanis dan kemudahan pengerjaan.

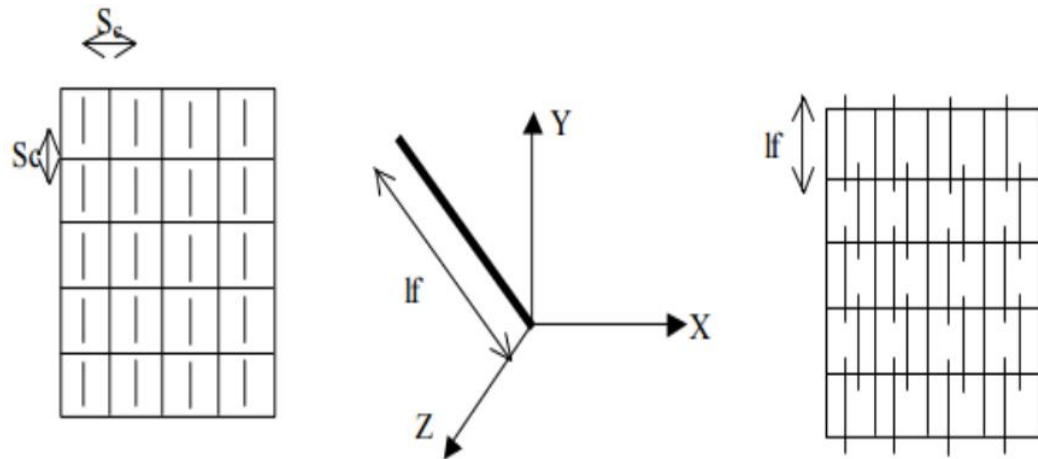
3.3.3 Mekanisme Kerja Serat dalam Beton

Teori yang digunakan untuk menjelaskan mekanisme kerja serat dalam beton, yang berfungsi untuk meningkatkan sifat atau perilaku beton, menurut Soroushian dan Bayasi (1987), terdiri dari dua teori, yaitu:

1. Konsep Spasi (*Spacing Concept*)

Secara teoritis, semakin kecil jarak antarserat dalam campuran beton, maka beton akan semakin efektif dalam mengendalikan lebar retakan serta mencegah propagasi retakan menjadi lebih besar. Serat dapat berfungsi secara optimal apabila tersusun teratur dan merata tanpa terjadi tumpang tindih. Akan tetapi, dalam praktik pencampuran, orientasi serat umumnya bersifat

acak dan tidak beraturan, bahkan sering mengalami tumpang tindih, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut ini.



(a). serat yang seragam (b). proyeksi arah yang random (c). serat saling overlapping

Gambar 3.6 Pola Penyebaran Serat pada Beton Menurut *Spacing Concept*

(Sumber: Soroushian & Bayasi, 1987)

2. Konsep Material Komposit

Konsep material komposit merupakan pendekatan yang cukup umum digunakan untuk memperkirakan kekuatan tarik maupun lentur dari beton berserat. Pendekatan ini dikembangkan untuk menilai kekuatan material komposit pada saat retak pertama muncul (*first crack strength*). Dalam konsep ini, diasumsikan bahwa bahan penyusun saling melekat dengan sempurna. Serat yang dianggap dalam model ini adalah serat kontinu (*continuous fiber*) dan angka Poisson dianggap nol. Namun, karena serat yang digunakan dalam beton berserat adalah serat pendek (*short fiber*) dan bukan serat kontinu, maka persamaan tersebut perlu disesuaikan berdasarkan beberapa pertimbangan berikut:

- Orientasi acak dari serat pendek akan mengurangi efisiensi penulangan serat dalam material komposit
- Lekatan yang tidak sempurna dan ukuran serat yang pendek dapat menyebabkan alur retak yang tidak melintasi serat.

c. Distribusi alur retak yang tidak merata menyebabkan alur retak tidak selalu memotong serat di tengah-tengahnya.

d. Efektivitas beton dalam menahan tarik saat retak terjadi.

Salah satu teori yang menjelaskan mekanisme kerja serat dalam beton adalah *dowel action*, yaitu interaksi yang melibatkan kombinasi antara ketahanan tarik (*pull-out resistance*) dan ketahanan lentur (*bending resistance*). Ketahanan tarik diartikan sebagai kemampuan serat untuk melekat pada matriks beton (Suhendro, 2000), sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan tegangan (*stress transfer*) antara keduanya (Sadoshi dan Hannant, 1994; ACI Material Journal, 1994). Adapun ketahanan lentur berkaitan dengan fleksibilitas dan peran serat sebagai tulangan mikro yang berkontribusi menahan tegangan internal, baik normal maupun geser. Melalui mekanisme *dowel action*, beton berserat mampu menunda terbentuknya retakan mikro secara efektif, sehingga memberikan peningkatan pada sifat mekanis beton (Suhendro, 2000).

3.4 Desain Campuran

Desain campuran beton (*mix design*) adalah metode untuk menentukan perbandingan setiap bahan penyusun beton agar mencapai mutu yang ditargetkan. Dalam penelitian ini, perhitungan proporsi beton mengacu pada SNI 2834-2000. Tahapan desain campuran beton dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Identifikasi Nilai Deviasi Standar (Sd)

Standar deviasi ditentukan oleh tingkat pengendalian mutu campuran beton; semakin baik mutunya, semakin kecil nilai Sd. Jika data uji kurang dari 30, standar deviasi disesuaikan dengan faktor pengali sesuai SNI 2843-2000.

2. Perhitungan Nilai Tambah dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.1)$$

Keterangan:

M = Nilai tambah

Sr = Deviasi standar rencana

3. Penetapan Kuat Tekan Beton Rata-Rata yang Direncanakan

Nilai kuat tekan beton rata-rata ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

Keterangan:

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

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

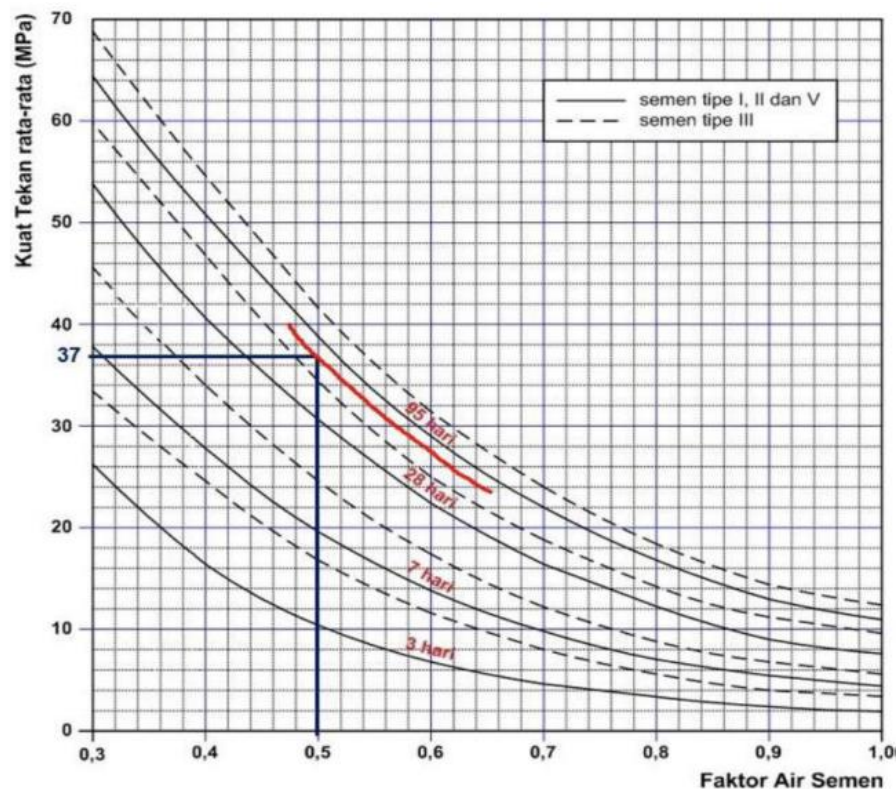
M = Nilai tambah

4. Penetapan Jenis Semen yang Digunakan.
5. Penetapan Jenis Agregat untuk Dilakukan Pengujian.
6. Penetapan Nilai Faktor Air-Semen (FAS) sesuai dengan ketentuan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

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

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)

(Sumber: SNI 2834-2000)

7. Penetapan nilai maksimum faktor air semen (FAS) dan jumlah semen minimum berdasarkan Tabel 3.2 dilakukan untuk menjamin kualitas beton sesuai standar yang ditetapkan. Ketentuan ini berfungsi sebagai dasar dalam menentukan proporsi campuran yang seimbang antara air, semen, dan agregat, sehingga dihasilkan beton dengan kekuatan tekan, keawetan, serta tingkat *workability* yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan dan kondisi pelaksanaan di lapangan. Pengendalian nilai FAS sangat penting karena rasio air-semen yang terlalu tinggi dapat menurunkan kekuatan dan meningkatkan porositas beton, sedangkan rasio yang terlalu rendah dapat menghambat proses pengerjaan. Oleh karena itu, penetapan batas FAS dan jumlah semen minimum menjadi langkah krusial dalam memastikan mutu beton tetap konsisten dan memenuhi persyaratan teknis yang berlaku.

Tabel 3.2 Persyaratan Pemakaian Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Beton pada Kondisi Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per- m^3 beton (KG)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan	275	0,60
a. Keadaan keliling non korosif	325	0,52
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif		
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 kedalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laur		Tabel 6

Sumber: SNI 2834-2000

8. Menentukan Tinggi Slump.
9. Menentukan Ukuran Maksimum Butir Agregat.
10. Perhitungan Kadar Semen per m^3 Beton

Kadar semen ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah semen per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.3)$$

11. Menghitung Kadar Air Bebas Agregat Campuran dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.4)$$

Keterangan:

W_h = Perkiraan air agregat halus

W_k = Perkiraan air agregat kasar

Nilai W_h dan W_k dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini.

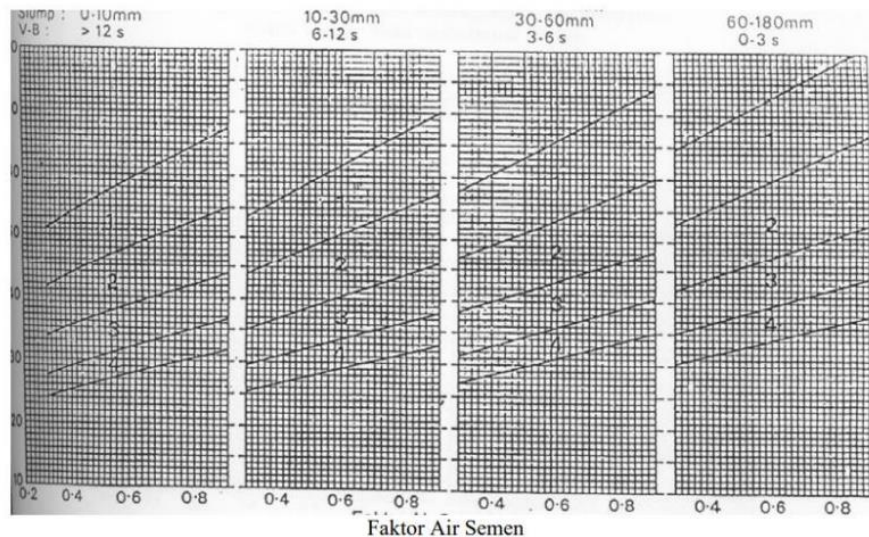
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-80
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
30	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 2834-2000

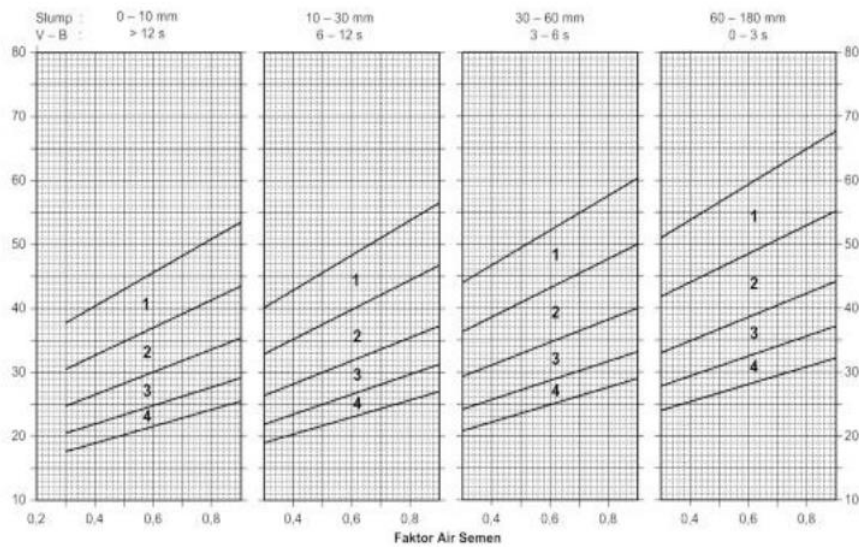
12. Penetapan Persentase Agregat Halus dan Agregat Kasar

Persentase masing-masing agregat ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan antara kadar total agregat dan persentase pasir.



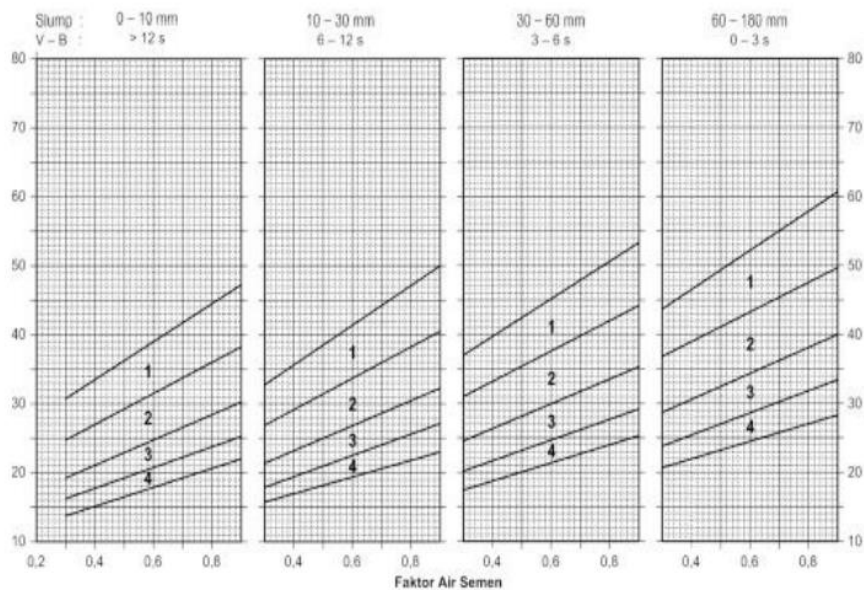
Gambar 3.8 Persentase Pasir terhadap Agregat Total pada Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 3.9 Grafik Persentase Pasir terhadap Agregat Total pada Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Sumber : SNI 2843-2000



Gambar 3.10 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)

Sumber: SNI 2843-2000

13. Berat jenis relatif atau gabungan agregat dapat dihitung menggunakan persamaan 3.5 seperti berikut.

$$B_{Jgab} = \%Ag. Halus \times B_{Jag.halus} + \%Ag.Kasar \times B_{Jag.kasar} \quad (3.5)$$

Ket :

BJ_{gab} : berat jenis gabungan/ relatif agregat

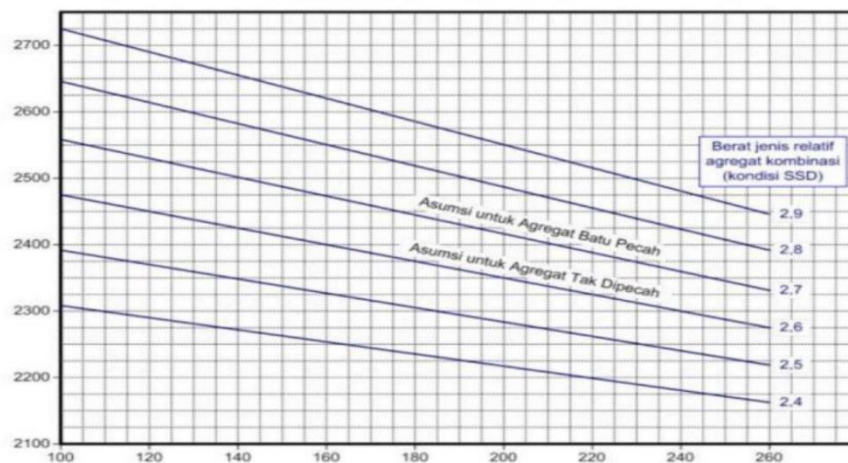
$\%Ag.Halus$: persentase agregat halus (%)

$\%Ag.Kasar$: persentase agregat kasar (%)

$Bj_{ag.halus}$: berat jenis agregat halus

$Bj_{ag.kasar}$: berat jenis agregat kasar

14. Menentukan nilai berat isi beton berdasarkan grafik berikut.



Gambar 3.11 Estimasi Berat Jenis Beton Basah Setelah Pemadatan
(Sumber: SNI 2834-2000)

15. Menghitung kadar agregat gabungan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \quad (3.6)$$

16. Menghitung kadar agregat kasar dan halus dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{Agregat kasar}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.7)$$

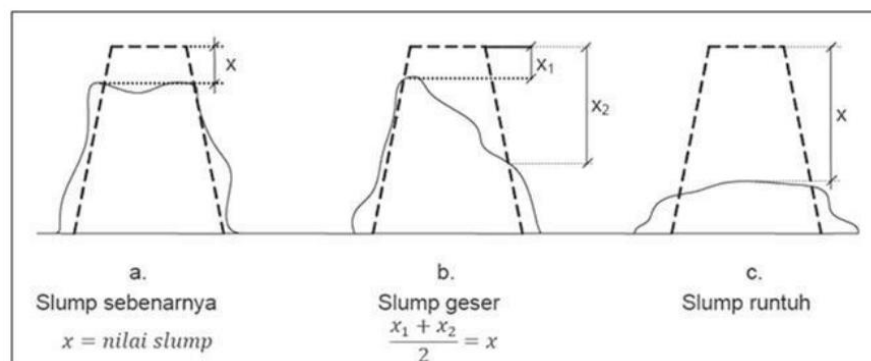
$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{Agregat halus}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.8)$$

3.5 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk menilai sejauh mana campuran beton dapat mengalir. Tingkat kemudahan dalam mengolah campuran beton dapat dilihat dari hasil pengukuran nilai *slump*. Jika nilai *slump* tinggi, maka campuran beton akan lebih mudah mengalir, yang berarti tingkat kemudahan kerjanya juga tinggi. Menurut klasifikasi yang diusulkan oleh Neville & Brooks (1987), terdapat empat

kategori nilai *slump*: sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Slump sangat rendah memiliki kisaran antara 0-25 mm, rendah antara 25-50 mm, sedang antara 50-100 mm, dan tinggi antara 100-175 mm.

Pengujian slump dilakukan menggunakan kerucut Abrams. Beton segar dimasukkan ke dalam kerucut secara bertahap hingga penuh, setiap lapisan diisi sepertiga bagian dan dipadatkan 25 kali. Kerucut harus dipasang rapat di permukaan tanpa celah. Setelah penuh, kerucut diangkat perlahan secara tegak, dan beton dibiarkan runtuh sesuai tingkat kelecakannya. Nilai slump ditentukan dari selisih tinggi antara permukaan awal dan permukaan setelah runtuh. Menurut klasifikasi Neville & Brooks (1987), terdapat tiga jenis slump: *true slump* (penurunan merata dan campuran homogen), *shear slump* (runtuh ke satu sisi menandakan pencampuran kurang baik), dan *collapse slump* (runtuh total akibat campuran terlalu encer atau kadar air tinggi).



Gambar 3.12 Tipe-tipe Slump

(sumber: <https://lauwtjunnji.weebly.com/pengukuran-slump.html>)

3.6 Perawatan Beton

Perawatan beton merupakan tahap penting untuk memastikan mutu beton tercapai secara optimal. Metode yang umum digunakan adalah water curing, yaitu menjaga kelembaban beton dengan meminimalkan penguapan air dari campuran. Cara ini dapat dilakukan dengan merendam beton dalam air, menutup permukaannya menggunakan plastik hitam, menutupnya dengan karung goni basah, atau menyiram permukaan beton secara berkala agar proses hidrasi berlangsung sempurna.

3.7 Pengujian Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton bertujuan mengukur kemampuan beton menahan beban tekan per satuan luas hingga mencapai kegagalan. Nilai kuat tekan didefinisikan sebagai rasio antara beban maksimum yang diterima spesimen dan luas penampangnya. Berdasarkan SNI 1974:2011, pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan, dan nilai kuat tekan dihitung dengan persamaan standar yang ditetapkan.

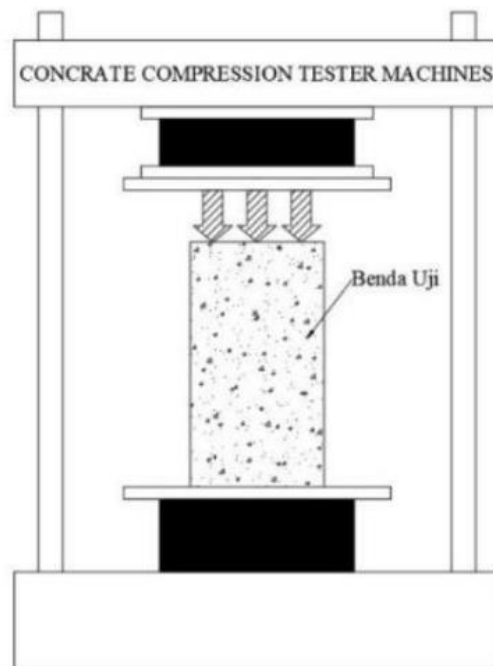
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

Ket:

f'_c =Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P =Beban Maks (N)

A =Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 3.13 Gambaran Prosedur Uji Kuat Tekan Beton

(Sumber: Google, 2024)

3.8 Pengujian Tarik Belah

Tujuan dari pengujian kuat tarik beton adalah untuk mengukur kapasitas beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung yang timbul akibat beban. Prosedur ini, sesuai dengan pedoman teknis yang diatur dalam SNI 2491-2014, dilaksanakan

dengan meletakkan spesimen uji secara horizontal dan sejajar dengan plat mesin uji tekan. Perhitungan nilai kuat tarik beton didasarkan pada luas penampang melintang silinder, dan dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$T = \frac{2 \times p}{\pi \times L \times D} \quad (3.10)$$

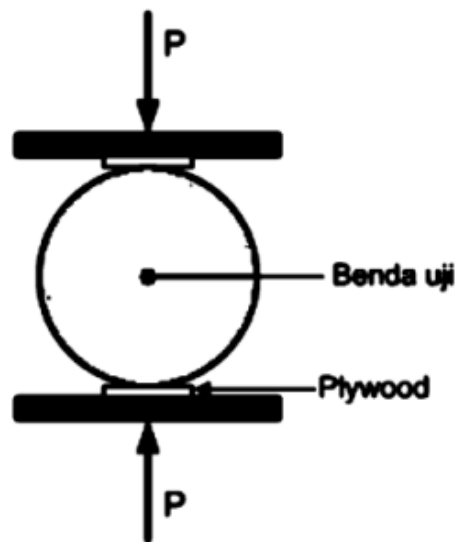
Ket:

T = Kuat tarik beton (MPa)

P = Beban maks (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

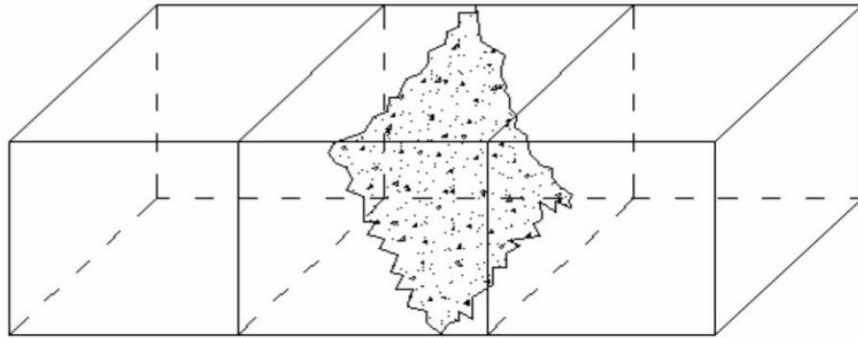


Gambar 3.14 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton

(Sumber: Google, 2024)

3.9 Pengujian Kuat Lentur Beton

Sebuah benda yang diberi beban akan mengalami deformasi, yang menimbulkan momen lentur sebagai respons terhadap beban eksternal. Selama deformasi, tegangan yang timbul tidak boleh melampaui batas tegangan lentur yang diizinkan (Rahamudin, dkk, 2016). Pada pengujian kuat lentur dengan metode dua titik pembebanan, perhitungan nilai kuat lentur diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan pola kerusakan pada benda uji. Pola retak, ilustrasi pengujian, dan rumus perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.15 hingga Gambar 3.18.

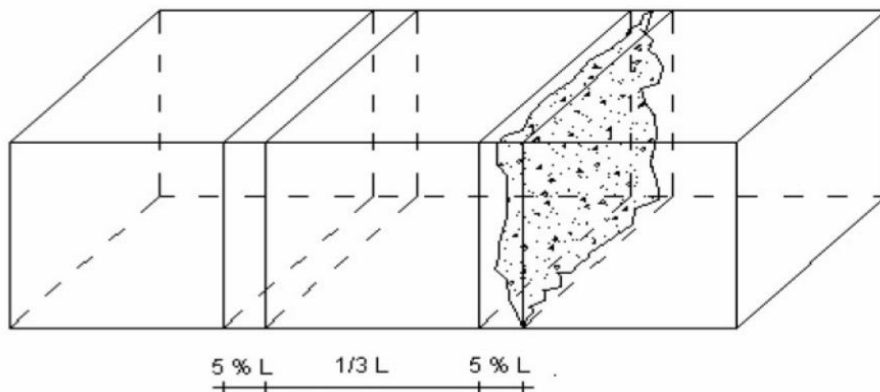


Gambar 3.15 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton(a)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Gambar 3.15 menunjukkan pola kerusakan pada benda uji balok yang mengalami patah di area pusat, yaitu pada 1/3 jarak bentang tengah. Untuk kondisi ini, kuat lentur beton dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_1 = \frac{PxL}{bxh^2} \quad (3.11)$$

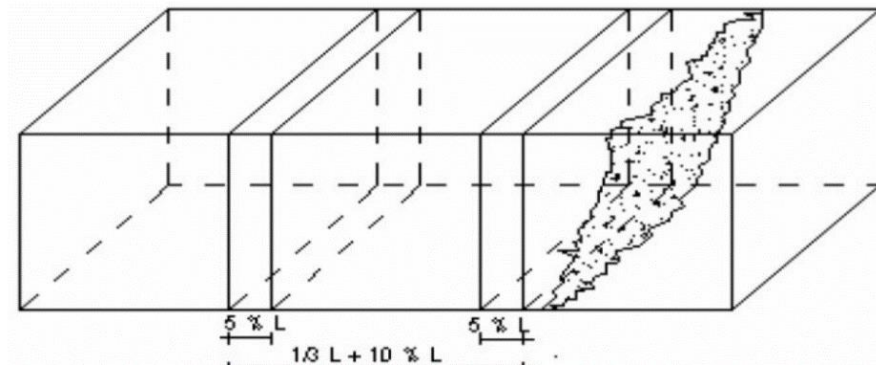


Gambar 3.16 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (b)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Gambar 3.16 menunjukkan pola kerusakan pada benda uji yang mengalami patah di luar 1/3 bentang tengah, di mana jarak dari titik pusat ke titik patahnya kurang dari 5% bentang pembebanan. Untuk kondisi ini, kuat lentur beton dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\sigma_1 = \frac{P}{bxh^2} \quad (3.12)$$



Gambar 3.17 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (c)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Apabila patahan terjadi di luar $1/3$ bentang tengah dengan jarak dari titik patah ke titik pembebanan lebih dari 5% bentang, maka hasil uji dianggap tidak sah dan tidak digunakan.

Ket:

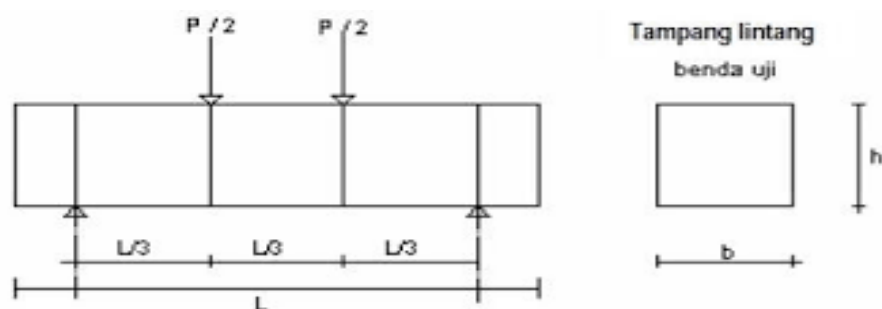
σ_1 = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang dilanjutkan oleh mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka dibelakang koma)

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)



Gambar 3.18 Ilustrasi Pengujian Lentur Balok 2 Titik

3.10 Umur Beton

Kekuatan tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur. Secara umum, kekuatan tekan rencana dihitung pada usia 28 hari. Namun, pengujian dapat dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari untuk memantau perkembangan kekuatan beton.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian enelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan benda uji berupa silinder (150×300 mm) dan balok ($150 \times 150 \times 600$ mm) yang ditambahkan serat kawat baja galvanis. Pengujian dilakukan terhadap empat parameter utama, yaitu slump, kuat tekan, tarik belah, dan lentur, di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Uji slump berfungsi menilai *workability* beton segar, sedangkan uji kuat tekan digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum beton dalam menahan beban tekan. Uji tarik belah dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik tidak langsung, dan uji lentur dimaksudkan untuk menilai ketahanan beton terhadap beban lentur.

Keempat pengujian tersebut saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai sifat fisik dan mekanis beton, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana penambahan serat kawat baja memengaruhi performa struktural beton secara komprehensif.

4.2 Lokasi

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (LAB. BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan

Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Semen Portland (PCC)

Digunakan Semen Portland Komposit (PCC) merek Tiga Roda sebagai bahan pembuatan beton. Kualitas semen dijaga dengan cara menyimpannya pada tempat yang kering, terlindung dari kelembaban udara, dan tertutup rapat agar tidak mengalami hidrasi sebelum digunakan.

2. Agregat Halus

Agregat dibagi menjadi dua kategori, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan diambil dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, setelah dilakukan analisis saringan terlebih dahulu sebelum pemakaian.

3. Agregat Kasar

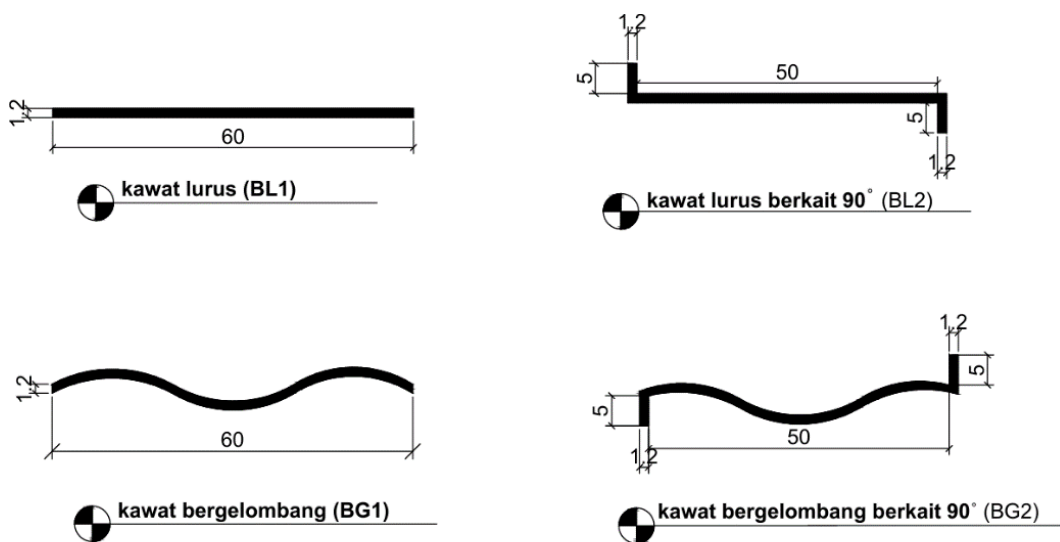
Agregat kasar diperoleh dari daerah Clereng, Kulon Progo.

4. Air

Air yang akan digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5. Serat kawat

Serat kawat baja galvanis yang digunakan diperoleh dari kawat bekas di toko besi yang berlokasi di Jalan Ringroad Utara, Yogyakarta. Serat tersebut dipotong sepanjang 60 mm dengan diameter 1,2 mm, kemudian dibentuk menjadi empat variasi, yaitu lurus tanpa kait, lurus berkait 90°, bergelombang tanpa kait, dan bergelombang berkait 90°, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bentuk Variasi Kawat

4.4 Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Saringan Agregat

Saringan agregat digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butir dalam uji analisis saringan pada agregat halus dan kasar.



Gambar 4.2 Saringan

2. Timbangan

Timbangan berfungsi mengukur berat benda dan digunakan untuk menimbang material penyusun beton sebelum pengujian.



Gambar 4.3 Timbangan

3. Cetakan Silinder

Cetakan silinder berfungsi membentuk beton segar menjadi benda uji berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm agar diperoleh spesimen standar untuk pengujian.



Gambar 4.4 Cetakan Silinder

4. Cetakan Balok

Cetakan balok berfungsi membentuk benda uji $150 \times 150 \times 600$ mm untuk uji lentur.



Gambar 4.5 Cetakan Balok

5. Ember

Ember digunakan untuk menampung dan mengangkat material penyusun beton.



Gambar 4.6 Ember

6. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk mengukur nilai slump beton segar yang baru saja dikeluarkan dari mixer.



Gambar 4.7 Kerucut Abrams

7. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan kasar serta dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat.



Gambar 4.8 Oven

8. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk digunakan untuk memadatkan beton segar dalam kerucut Abrams dan cetakan silinder agar tidak menyisakan rongga udara..



Gambar 4.9 Tongkat Penumbuk

9. Mixer

Mixer adalah mesin yang digunakan untuk mengaduk campuran bahan penyusun beton sehingga menghasilkan beton segar.



Gambar 4.10 Mixer

10. Sekop

Sekop digunakan untuk memasukkan bahan penyusun beton ke dalam cetakan, memudahkan proses pekerjaan.



Gambar 4.11 Sekop

11. Alat Ukur

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi benda yang akan diuji.



Gambar 4.12 Alat Ukur

12. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan untuk mengukur beban maksimum beton hingga mencapai titik kehancuran..



Gambar 4.13 Mesin Uji Tekan

13. **Mesin Uji Tarik Belah**

Mesin uji tarik belah digunakan untuk mengukur beban maksimum beton hingga mencapai titik kehancuran pada pengujian kuat tarik belah.



Gambar 4.14 Mesin Uji Tarik Belah

14. **Mesin Uji Lentur**

Mesin uji lentur digunakan untuk mengukur beban maksimum balok beton hingga mencapai titik kehancuran pada pengujian kuat lentur.



Gambar 4.15 Mesin Uji Lentur

4.5 Tahap Penelitian

Agar penelitian ini menghasilkan data yang akurat, diperlukan prosedur yang terstruktur dan dilaksanakan secara sistematis pada setiap tahapannya. Prosedur ini sangat penting untuk mencapai tujuan penelitian.

4.5.1 Persiapan Bahan

Sebelum penelitian dilakukan, persiapan bahan harus dilakukan terlebih dahulu agar mutu beton yang direncanakan dapat tercapai. Berikut adalah langkah-langkah persiapan yang harus dilakukan:

1. Pengadaan Material

Pengadaan material berupa air, semen, agregat halus, agregat kasar, serta serat kawat baja galvanis harus dilakukan secara cermat agar mutu beton yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan.

2. Pembersihan Material

Agregat halus dan agregat kasar perlu dibersihkan terlebih dahulu agar diperoleh material yang memenuhi syarat sebagai bahan penyusun campuran beton. Agregat halus harus bebas dari lumpur, debu, dan zat organik yang dapat mengganggu proses ikatan antara pasta semen dan butiran agregat. Sementara itu, agregat kasar harus terbebas dari kotoran, seperti tanah liat, akar tanaman, maupun sisa material lain yang dapat menurunkan daya rekat dan kekuatan beton.

Kebersihan material menjadi faktor penting karena keberadaan kotoran dapat menghambat proses hidrasi semen serta mengurangi kuat tekan beton. Selain itu, kandungan lumpur yang tinggi dapat meningkatkan kebutuhan air dalam campuran, yang pada akhirnya menurunkan kualitas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, agregat yang telah dibersihkan perlu disimpan di tempat atau wadah yang kering dan terlindung dari kontaminasi ulang agar kebersihannya tetap terjaga hingga proses pencampuran dilakukan.

3. Pembuatan Serat Baja Galvanis

Kawat galvanis berdiameter 1,2 mm dibeli dari toko material, kemudian dipotong sepanjang 60 mm menggunakan mesin pemotong. Serat dibuat dalam empat variasi bentuk, yaitu lurus (*straight fiber*) yang langsung

digunakan, lurus berkait (*hooked fiber*) dengan kedua ujung dibengkokkan $\pm 90^\circ$ menggunakan tang, bergelombang (*crimped fiber*) yang dibentuk menggunakan cetakan modifikasi sehingga batang kawat memiliki pola melengkung berulang seperti gelombang, serta bergelombang berkait (*hooked crimped fiber*) yang merupakan kombinasi serat bergelombang dengan ujung berkait. Seluruh serat yang telah diproses kemudian disimpan dalam wadah kering dan bersih untuk menjaga kualitasnya sebelum dicampurkan ke dalam beton.

4. Pengujian Material

Pengujian agregat, termasuk agregat halus dan kasar, dilakukan untuk memahami sifat dan karakteristik agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian ini akan menjadi panduan dalam merancang campuran beton (desain campuran). Berikut adalah acuan pengujian agregat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Pengujian berat jenis (BJ) dan penyerapan air pada agregat halus mengacu pada SNI 1970 2008
- b. Pengujian BJ dan penyerapan air pada agregat kasar mengacu pada SNI 1969 2008
- c. Pengujian analisis saringan pada agregat halus dan kasar mengacu pada SNI ASTM C136 2012
- d. Pengujian berat volume (berat isi) pada agregat halus dan kasar mengacu pada SNI 1974 2011
- e. Pengujian kadar material lolos saringan No. 200 mengacu pada SNI ASTM C117 2012

4.5.2 Pembuatan Benda Uji

Sampel penelitian terdiri atas silinder beton $\varnothing 150 \times 300$ mm dan balok beton $600 \times 150 \times 150$ mm dengan mutu rencana $f_c' = 25$ MPa sebagai beton mutu normal. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari sesuai standar, mencakup uji kuat tekan, tarik belah, dan lentur (*modulus of rupture*). Pada setiap variasi serat digunakan 3 sampel tekan, 3 sampel tarik belah, dan 2 sampel lentur, sehingga hasil lebih representatif. Rincian jumlah sampel ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Benda Uji

Jenis Pengujian	Bentuk Serat	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan	BN	KT-N	3
	BL1	KT-L	3
	BL2	KT-L90 ⁰	3
	BG	KT-G	3
	BG2	KT-G90 ⁰	3
Tarik Belah	BN	TB-N	3
	BL1	TB-L	3
	BL2	TB-L90 ⁰	3
	BG	TB-G	3
	BG2	TB-G90 ⁰	3
Kuat Lentur	BN	KL-N	2
	BL1	KL-L	2
	BL2	KL-L90 ⁰	2
	BG	KL-G	2
	BG2	KL-G90 ⁰	2
Total Sampel Silinder			30
Total Sampel Balok			10
Total Sampel			40

Berikut adalah keterangan dari kode benda uji yang digunakan:

- BL1 = Kawat lurus
- BL2 = Kawat lurus kait 90⁰ derajat
- BG1 = Kawat Gelombang
- BG2 = Kawat Gelombang kait 90⁰ derajat
- KT = Uji Kuat Tekan
- TB = Uji Tarik Belah
- KL = Uji Kuat Lentur

Langkah-langkah dalam proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan dan alat.

Sebelum pencampuran, seluruh material seperti agregat, semen, air, dan serat kawat baja dibersihkan dari benda asing. Kelembaban agregat diukur untuk mencapai kondisi Saturated Surface Dry (SSD) sesuai SNI 2493:2011 bila diperlukan. Peralatan seperti cetakan, timbangan, dan mixer juga disiapkan dalam kondisi bersih dan layak pakai.

2. Penakaran bahan
Seluruh material ditimbang sesuai rancangan campuran SNI 2493:2011, dan hasilnya dicatat untuk perhitungan volume serta kontrol mutu.
3. Persiapan cetakan
Cetakan dibersihkan dan diolesi minyak tipis pada bagian dalam untuk memudahkan pembongkaran. Berat cetakan kosong ditimbang dan dicatat.
4. Pencampuran di mixer.
 - a. Agregat halus dan kasar dicampur kering ± 30 – 60 detik.
 - b. Semen ditambahkan, kemudian diaduk kering kembali ± 60 detik.
 - c. Masukkan $\pm 80\%$ air pencampur (beserta *admixture* bila digunakan), lalu aduk 2–3 menit hingga merata.
 - d. Serat kawat baja galvanis dimasukkan bertahap sambil diaduk agar tidak terjadi penggumpalan (*balling*).
 - e. Sisa air ditambahkan secukupnya untuk mencapai kelecakan target. Total waktu pencampuran 3–5 menit sampai homogen.
5. Pemeriksaan beton segar
Uji slump dilakukan sesuai SNI 1972:2008, disertai pengukuran berat isi atau suhu bila perlu; jika perlu koreksi air, dilakukan pengadukan singkat kembal.
6. Pengecoran dan pemadatan
etakan diisi tiga lapis ($\pm 1/3$ tiap lapis), tiap lapis dipadatkan dengan batang penumbuk atau diratakan pada balok, lalu diketuk palu karet; bila memakai vibrator dilakukan hati-hati agar terhindar dari *over-vibration*.
7. Perataan dan penandaan.
Permukaan beton diratakan menggunakan alat *strike-off* atau *trowel*, kemudian diberi tanda/kode berupa jenis campuran, tanggal pengecoran, dan umur uji.
8. Penimbangan
Cetakan yang telah terisi beton ditimbang (berat bruto) dan hasilnya dicatat sebagai data kontrol.
9. Perawatan awal (± 24 jam).

Benda uji ditutup untuk mencegah penguapan dan disimpan di tempat terlindung dari panas matahari atau getaran hingga saat pembongkaran.

10. Pembongkaran dan curing.

Setelah 24 ± 2 jam, cetakan dilepaskan. Benda uji kemudian direndam dalam air bersih atau larutan jenuh kapur bersuhu terkendali ($20\text{--}25^\circ\text{C}$) sampai umur pengujian yang telah ditentukan.

4.5.3 Perawatan Benda Uji

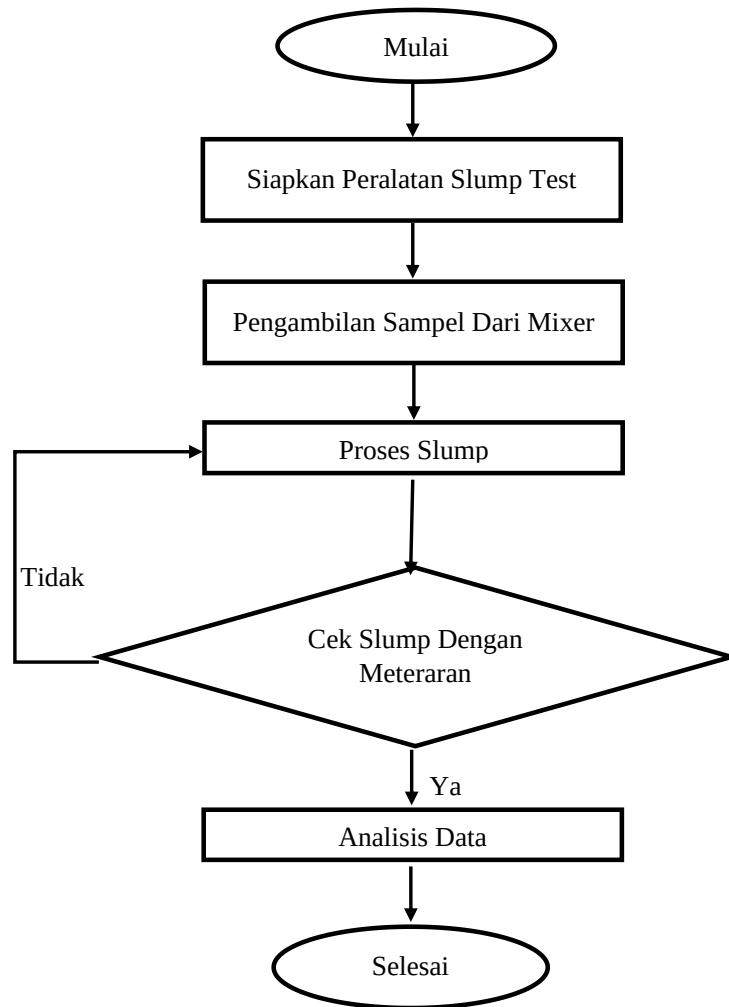
Mengacu pada SNI 2493:2011, cetakan dibongkar setelah 24 ± 2 jam sejak pengecoran. Benda uji kemudian dirawat dengan perendaman dalam air bersih atau larutan jenuh kapur hingga umur 28 hari. Untuk memastikan kondisi permukaan kering saat pengujian, benda uji dikeluarkan dari rendaman satu hari sebelumnya.

4.6 Prosedur Pengujian

Penelitian ini melibatkan serangkaian pengujian komprehensif yang dilaksanakan secara sistematis sesuai standar, mulai dari persiapan benda uji, pelaksanaan di laboratorium, hingga pencatatan hasil. Pengujian meliputi kuat tekan untuk menilai ketahanan terhadap beban aksial, tarik belah untuk mengetahui kekuatan tarik tidak langsung, serta lentur untuk mengevaluasi ketahanan terhadap pembebanan transversal. Seluruh pengujian dilakukan pada umur 28 hari agar hasil yang diperoleh akurat, representatif, dan memiliki dasar metodologis yang kuat.

4.6.1 Uji *Slump test*

Uji slump dilakukan untuk mengukur kelecakan (*workability*) dan konsistensi beton segar sebelum dicetak. Pengujian ini mengikuti SNI 1972:2008 dengan kerucut Abrams, dan hasil berupa nilai penurunan (*slump*) menunjukkan kesesuaian campuran dengan mutu rencana. Alur pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 4.16, yang memperlihatkan langkah-langkah uji *slump* secara terstruktur.



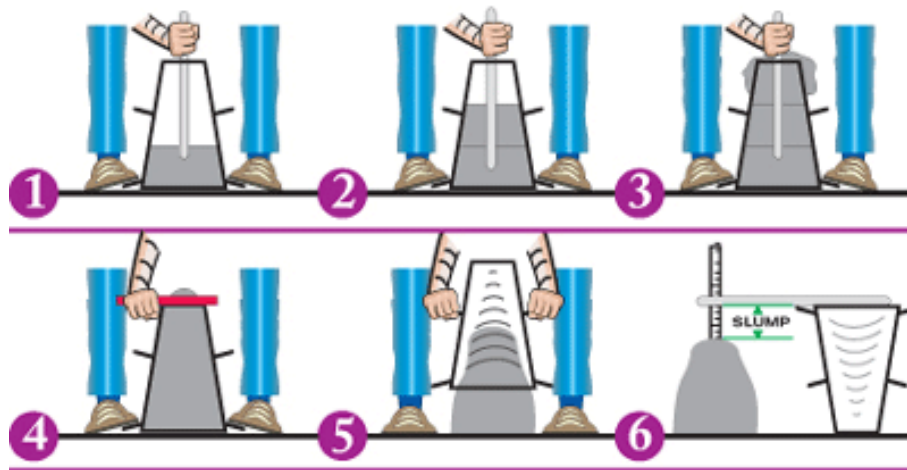
Gambar 4. 16 Diagram Slump Test

Tahapan pelaksanaan uji slump ditunjukkan secara terstruktur pada Gambar 4.16. Diagram tersebut memberikan gambaran umum alur pengujian, sedangkan uraian rinci mengenai setiap langkah pelaksanaan disampaikan pada bagian berikut.

1. Tuangkan adukan beton ke dalam kerucut Abram hingga mencapai sepertiga tinggi kerucut, lalu ratakan dengan menusuk adukan menggunakan rojokan atau batang penusuk sebanyak 25 kali hingga mencapai lapisan dasar kerucut.
2. Tambahkan adukan beton kedua hingga mencapai dua pertiga tinggi kerucut, lalu tusuk-tusuk kembali sebanyak 25 kali hingga mencapai bagian atas lapisan pertama adukan beton.
3. Tambahkan adukan beton ketiga hingga kerucut terisi penuh, lalu tusuk-tusuk kembali sebanyak 25 kali hingga mencapai bagian atas lapisan kedua.

4. Ratakan permukaan atas lapisan beton ketiga dengan menggulirkan rojokan atau batang penusuk. Selanjutnya, bersihkan sisa-sisa beton yang berceceran di sekitar bagian luar kerucut Abram.
5. Angkat kerucut Abram secara tegak lurus dengan hati-hati, memastikan proses pengangkatan tidak terlalu cepat atau lambat. Waktu pengangkatan idealnya sekitar 5 ± 2 detik.
6. Balikkan kerucut Abram di samping adukan beton, lalu ukur penurunan dengan meletakkan rojokan di atas kerucut dan mengukur jarak dari batang rojokan ke pusat permukaan adukan.

Ilustrasi pelaksanaan uji *slump* ditampilkan pada Gambar 4.17.

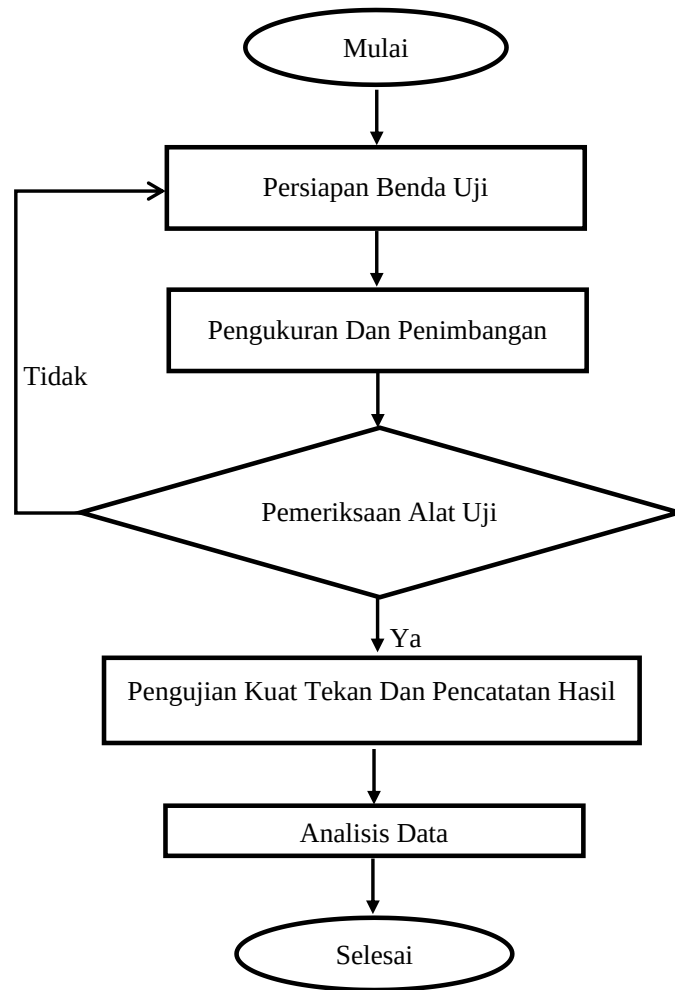


Gambar 4.17 Ilustrasi Pengujian slump dari Langkah 1-6

(Sumber : Angga Nugraha 2018)

4.6.2 Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji berumur 28 hari sesuai SNI 1974:2011. Beton yang digunakan memiliki mutu rencana 25 MPa, dan hasil pengujian dibandingkan dengan mutu tersebut. Tahapan pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 4.18, yang menyajikan alur pengujian secara terstruktur.

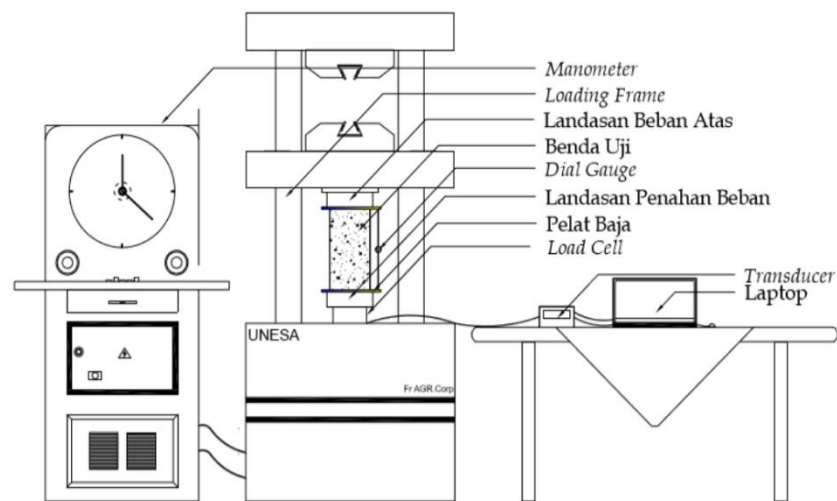


Gambar 4.18 Diagram Pengujian Kuat Tekan

Gambar 4.18 memperlihatkan tahapan pelaksanaan pengujian. Adapun langkah-langkah detail pengujian kuat tekan beton dipaparkan pada uraian berikut.

1. Keluarkan benda uji dari rendaman dan biarkan selama 24 jam agar tidak dalam keadaan basah saat pengujian.
2. Ukur dimensi dan berat benda uji untuk keperluan data.
3. Letakkan benda uji pada landasan tekan bawah.
4. Pastikan penunjuk beban berada pada angka nol.
5. Jalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik.
6. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan catat beban maksimum yang diterima.

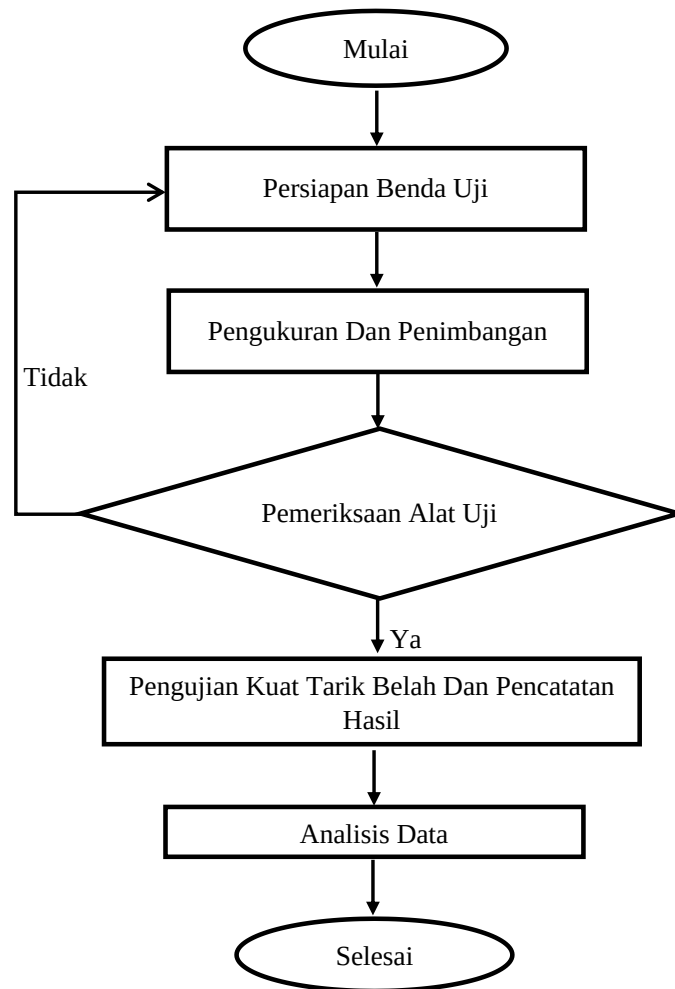
Ilustrasi proses pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton
(Sumber: Unesa)

4.6.3 Uji Tarik Belah

Prosedur pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder untuk mengetahui kekuatan tarik tidak langsung beton. Pengujian ini mengacu pada SNI 2491:2014, dengan tahapan pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 4.20. Diagram tersebut menyajikan alur pengujian secara terstruktur, sedangkan uraian langkah detail pelaksanaan dipaparkan pada bagian berikut.



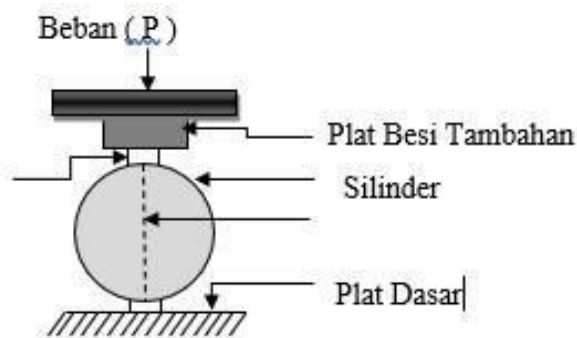
Gambar 4.20 Diagram Pengujian Kuat Tarik Belah

Gambar 4.20 memperlihatkan alur pelaksanaan pengujian, sementara tahapan detail pengujian kuat tarik belah beton dipaparkan pada uraian berikut.

1. Siapkan alat-alat yang diperlukan dalam penelitian.
2. Ukur dimensi dan berat benda uji.
3. Tandai benda uji dengan membuat garis tengah menggunakan alat bantu dari setiap sisi ujung, sehingga kedua garis tersebut terletak pada bidang aksial yang sama.
4. Pasang bantalan bantu pembebanan pada mesin uji.
5. Letakkan objek pengujian di atas bantalan kayu sehingga garis tengah yang ditandai membentuk sudut 90 derajat dengan titik pusat bantalan beban kayu.

6. Tempatkan dua lapisan kayu atau plywood sebagai bantalan beban di atas objek pengujian, sehingga pusatnya bersilangan dengan garis tengah di ujung silinder objek tersebut.
7. Atur posisi benda uji hingga proyeksi bidang yang ditandai bertemu dengan titik tengah di atas meja penekan mesin uji.
8. Operasikan mesin tarik belah dengan memberikan beban secara terus-menerus tanpa berhenti, dengan kecepatan antara 0,7 hingga 1,4 MPa per detik hingga benda uji terbelah menjadi dua, lalu catat nilai beban maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian.

Ilustrasi pelaksanaan pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 4.21.

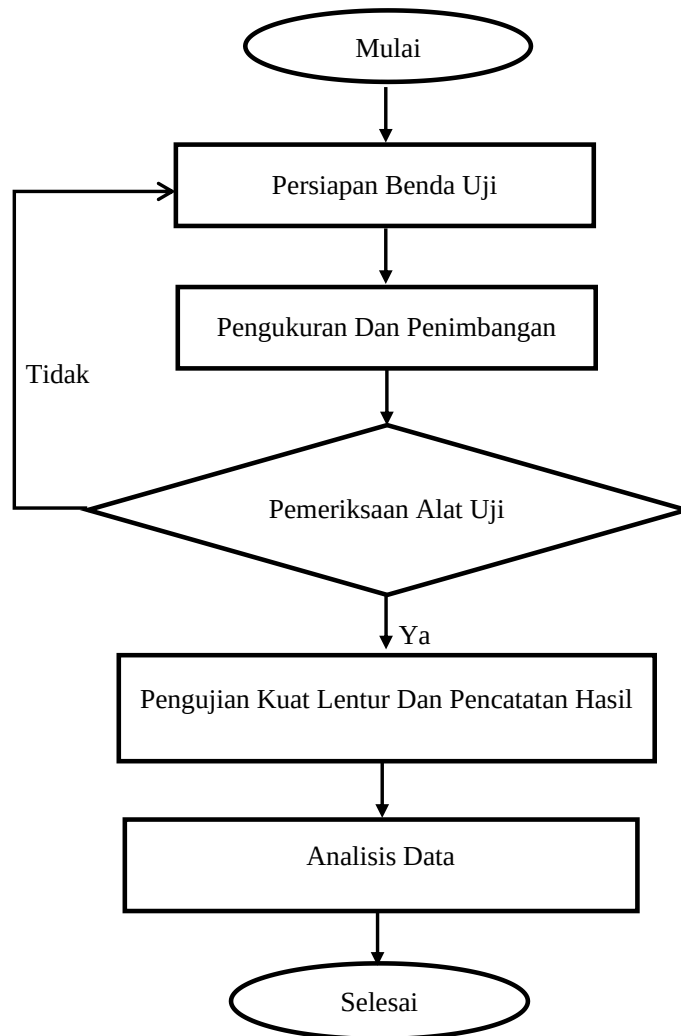


Gambar 4.21 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

(Sumber : Syifa rahma 2019)

4.6.4 Uji Kuat Lentur Balok

Prosedur pengujian kuat lentur balok dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban lentur. Pengujian ini dilaksanakan pada benda uji balok berumur 28 hari sesuai acuan SNI 4431:2011. Tahapan pelaksanaan pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.22, yang menyajikan alur pengujian secara terstruktur.

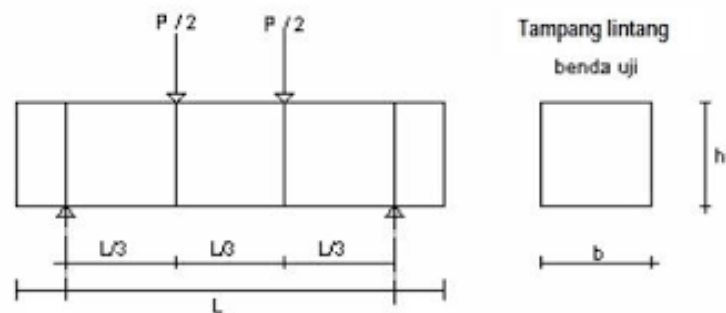


Gambar 4. 22 Diagram Pengujian Kuat Lentur

Setelah alur pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 4.22, tahapan detail pengujian kuat lentur balok dijelaskan pada uraian berikut.

1. Menyiapkan peralatan dan benda uji.
2. Mengukur dimensi serta berat balok bertulang.
3. Menentukan posisi tumpuan balok pada sepertiga bagian kiri dan kanan.
4. Meletakkan benda uji pada alat pengujian.
5. Menyalakan mesin uji lentur dan menambahkan beban secara konstan.
6. Menguji hingga benda uji mengalami kerusakan, lalu mencatat beban maksimum yang ditahan.

Gambar 4.23 memperlihatkan ilustrasi pengujian kuat lentur beton.



Gambar 4.23 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton

(Sumber: SNI 4432-2011)

4.6.5 Analisis Data Dan Pembahasan

Data yang telah diolah kemudian dianalisis berdasarkan teori dan peraturan yang berlaku. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur dari setiap varian benda uji. Variasi benda uji dihasilkan dari penambahan serat kawat baja galvanis ke dalam campuran beton.

Penelitian ini menggunakan serat kawat baja galvanis berdiameter 1,2 mm dan panjang 60 mm dengan kadar penambahan sebesar 1% dari volume beton (*volume fraction*). Dengan densitas baja sebesar 7.850 kg/m^3 , jumlah tersebut setara dengan 78,5 kg serat per 1 m^3 beton. Variasi bentuk serat yang digunakan terdiri atas empat jenis, yaitu lurus tanpa kait, lurus berkait 90° , bergelombang tanpa kait, dan bergelombang berkait 90° . Evaluasi sifat mekanis beton dilakukan melalui pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.

Setelah tahap analisis data selesai, dilakukan pembahasan untuk menginterpretasikan hasil yang diperoleh. Pembahasan ini mengacu pada data analisis dengan tujuan membandingkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada setiap variasi benda uji, serta menjawab seluruh rumusan masalah yang telah ditetapkan dalam penelitian ini.

4.6.6 Olah Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya diolah dengan memanfaatkan *Microsoft Excel*. Proses pengolahan ini dilaksanakan berlandaskan teori serta regulasi terkait yang berlaku. Hasil akhir dari pengolahan data tersebut

menghasilkan parameter-parameter kunci yang akan menjadi dasar dalam tahap analisis data.

4.6.7 Kesimpulan Dan Saran

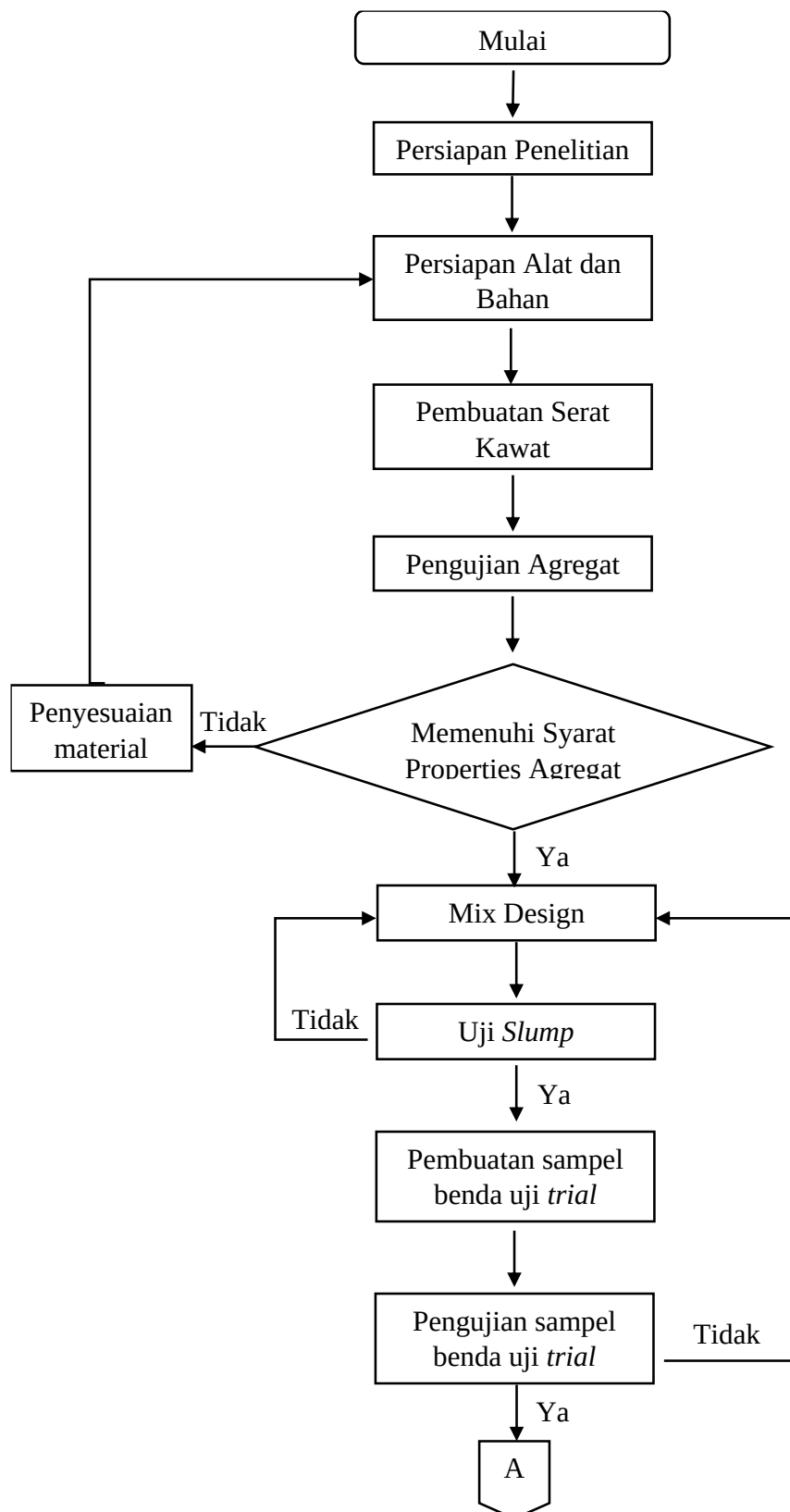
Tahap akhir penelitian ini meliputi penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan dirumuskan dengan merangkum hasil analisis data dan pembahasan secara singkat, padat, dan jelas, serta disesuaikan dengan teori, peraturan, dan tujuan penelitian. Berdasarkan kesimpulan tersebut, saran-saran diberikan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

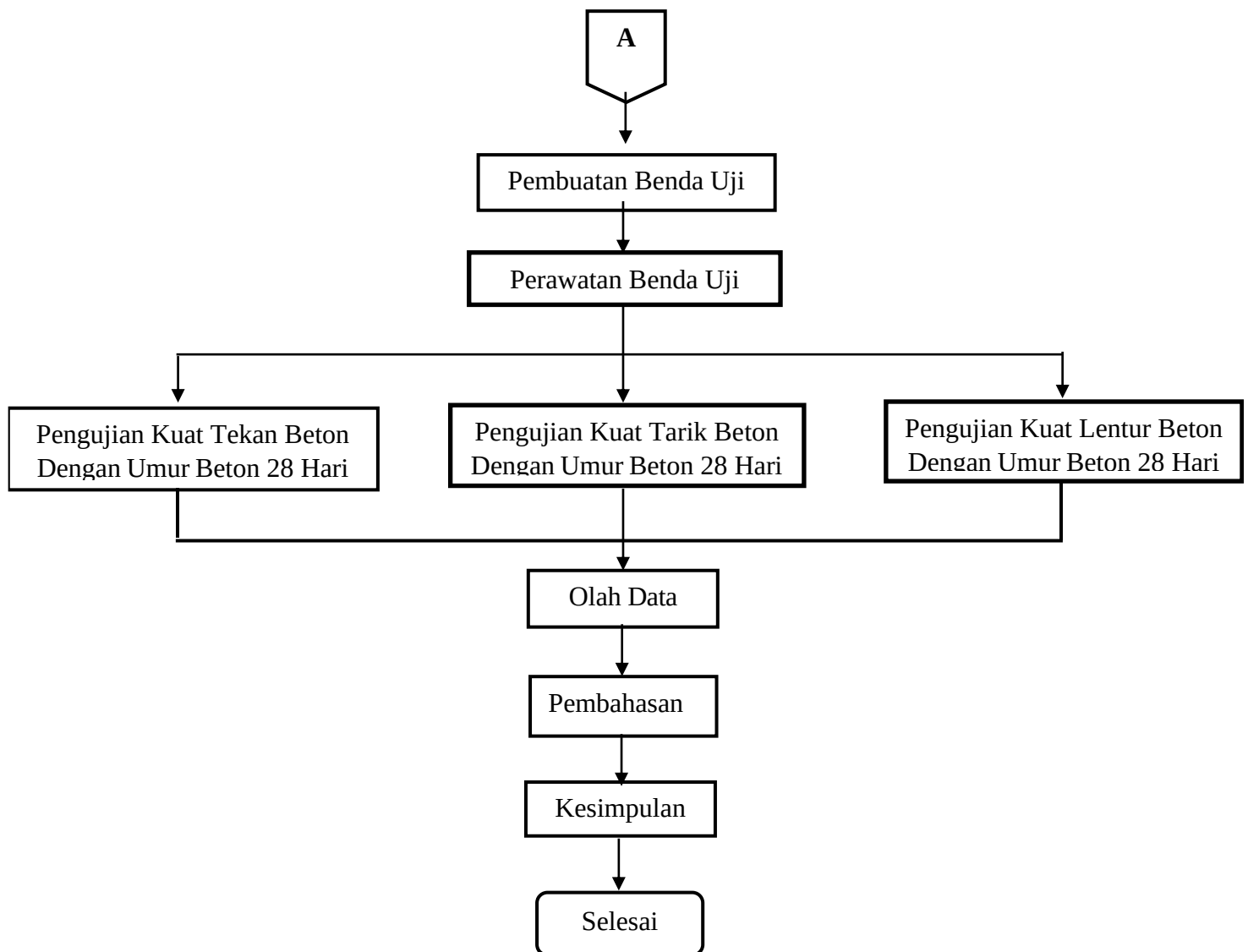
4.6.8 Pengujian Benda Uji

Seluruh pengujian kuat tekan, tarik belah, dan lentur dilakukan pada umur 28 hari untuk memastikan beton telah mencapai kekuatan rencana yang optimal sesuai ketentuan SNI. Sebelum pengujian dimulai, setiap benda uji terlebih dahulu diukur dimensinya, meliputi diameter, tinggi, maupun panjang penampang, guna memastikan kesesuaian dengan ukuran standar serta memverifikasi akurasi data hasil uji. Langkah ini penting agar perhitungan kuat tekan, tarik, dan lentur dapat dilakukan secara tepat dan hasilnya dapat dibandingkan secara valid antar variasi campuran beton.

4.7 Diagram Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian:





Gambar 4.24 Diagram Air Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus bertujuan mengidentifikasi karakteristik dan memastikan kesesuaiannya sebagai bahan campuran beton. Pengujian meliputi berat jenis, analisis saringan, berat volume gembur dan padat, kadar air, serta kelulusan saringan nomor 200.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini mengacu pada SNI 1970-1990 untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Parameter ini penting karena memengaruhi kualitas dan kelayakan agregat dalam campuran beton. Perhitungan yang digunakan disajikan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{BJ curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{485}{(648+500-965)} \\ &= 2,650 \text{ gram}\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(648+500-965)} \\ &= 2.732 \text{ gram}\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{BJ Semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{485}{(648+500-965)} \\ &= 2,887 \text{ gram}\end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air} &= \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 485)}{485} \times 100\% \\
 &= 3,0928 \%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus disajikan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis serta Daya Serap Air Agregat Halus

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	965	gram
Berat piknometer berisi air (B)	648	gram
Berat jenis curah	2,650	gram
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,732	gram
Berat jenis semu	2,887	gram
Penyerapan air	3,0928	%

Berdasarkan pengujian sesuai metode SNI 1970:2008, diperoleh berat jenis kering muka (SSD) 2,732 dan penyerapan air 3,0928%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan agregat untuk beton normal sebagaimana disyaratkan dalam SNI 03-2834-2000.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian saringan agregat halus menghasilkan data untuk menentukan Modulus Halus Butir (MHB) dan klasifikasi gradasi sesuai SNI 1968-1990. Perhitungan analisis saringan dilakukan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned}
 \text{Saringan berukuran 4,8 mm} &= \frac{91}{2002} \times 100\% \\
 &= 4,55 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Saringan berukuran 2,4 mm} &= \frac{155}{2002} \times 100\% \\
 &= 7,74 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 1,2 mm} &= \frac{286}{2002} \times 100\% \\ &= 14,29 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,6 mm} &= \frac{669}{2002} \times 100\% \\ &= 33,42 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,3 mm} &= \frac{575}{2002} \times 100\% \\ &= 28,72 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,15 mm} &= \frac{199}{2002} \times 100\% \\ &= 9,94 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= \frac{27}{2002} \times 100\% \\ &= 1,349 \%\end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan berukuran 4.8 mm} = 4,55\%$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 2,4 mm} &= 7,74\% + 4,55\% \\ &= 12,29 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 1,2 mm} &= 14,29\% + 12,29\% \\ &= 26,57 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,6 mm} &= 33,42\% + 26,57\% \\ &= 59,99 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,3 mm} &= 28,72\% + 59,99\% \\ &= 88,71 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 0,15 mm} &= 9,94\% + 88,71\% \\ &= 98,65 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 1,349\% + 98,65\% \\ &= 100 \%\end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 4,8 mm} &= 100 \% - 4,55 \% \\ &= 95,45 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 2,4 mm} &= 100 \% - 12,29 \% \\ &= 87,71 \%\end{aligned}$$

Saringan berukuran 1,2 mm = 100 % - 26,57 %

= 73,43 %

Saringan berukuran 0,6 mm = 100 % - 59,99 %

= 40,01 %

Saringan berukuran 0,3 mm = 100 % - 88,71 %

= 11,29 %

Saringan berukuran 0,15 mm = 100 % - 98,65 %

= 1,35 %

Pan = 100 % - 100 %

= 0 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan Analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada table 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	91	4.55	4.55	95.45
2,40	155	7.74	12.29	87.71
1,20	286	14.29	26.57	73.43
0,60	669	33.42	59.99	40.01
0,30	575	28.72	88.71	11.29
0,15	199	9.94	98.65	1.35
Sisa	27	1.349	100.000	0
Jumlah	2002	100	290.759	309.241

d. Modulus Halus Butir

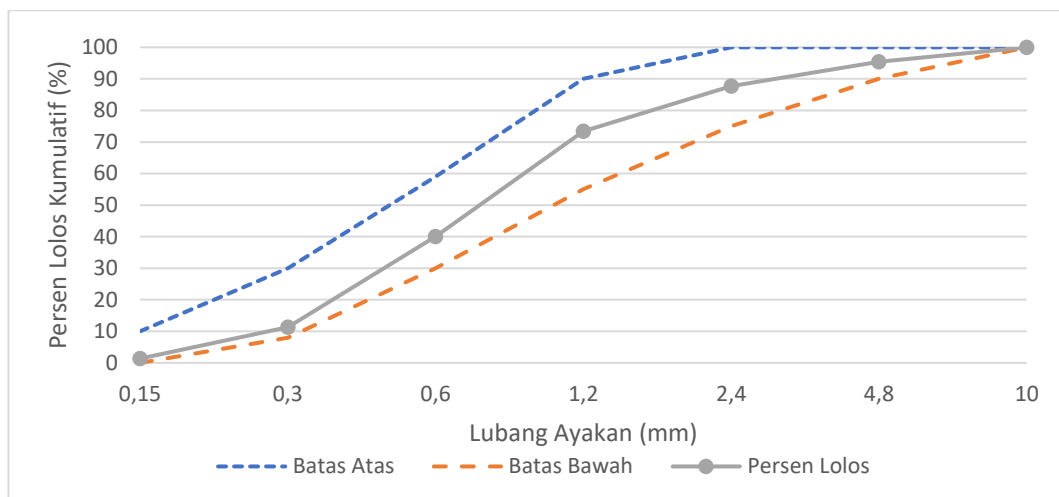
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{290,759}{100} \\
 &= 2,908
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 2,908, yang memenuhi ketentuan SNI-04-1989-F dengan rentang 1,5–3,8. Hasil analisis saringan ini juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat halus sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.3, serta kurva gradasinya pada Gambar 5.1.

Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos 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: SNI 2834-2000

**Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II**

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume gembur agregat halus.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19605 - 10982 \\
 &= 8623 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,20^2 \times 30,10 \\
 &= 5462 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8623}{5462} \\
 &= 1,549 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10982	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19605	gram
Berat Agregat (W3)	8623	gram
Diameter Tabung (d)	15.20	cm
Tinggi Tabung (t)	30.10	cm
Volume Tabung (V)	5462	cm ³
Berat Volume Gembur	1.579	gram/cm ³

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume gembur agregat halus adalah 1,579 g/cm³. Nilai ini masih berada dalam rentang standar ASTM C29 (2003), yaitu 1,4–1,9 g/cm³, sehingga agregat halus tersebut dapat dikategorikan memiliki berat volume gembur yang sesuai.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume padat agregat halus.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 20120 - 10787 \\
 &= 9333 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,10^2 \times 30,38 \\
 &= 5440 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{9333}{5440}$$

$$= 1,715 \text{ gram/cm}^3$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	20120	gram
Berat Agregat (W3)	9333	gram
Diameter Tabung (d)	15.10	cm
Tinggi Tabung (t)	30.38	cm
Volume Tabung (V)	5440	cm ³
Berat Volume Gembur	1.715	gram/cm ³

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume padat agregat halus adalah 1,715 g/cm³. Nilai ini masih berada dalam rentang standar ASTM C29 (2003), yaitu 1,4–1,75 g/cm³, sehingga agregat halus tersebut dapat dikategorikan wajar.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan No. 200 agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4142-1996. Berikut perhitungan lolos saringan No. 200 agregat halus.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 481}{500} \times 100\% \\ &= 3,80 \% \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian lolos saringan No. 200 agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	481	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3.8	%

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar lumpur pada agregat halus sebesar 3,80%, masih berada di bawah batas maksimum 5% sesuai SNI 04-1989-F. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan kadar lumpur.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya. Pengujian ini mencakup penentuan berat jenis, analisis saringan, serta pengujian berat volume dalam kondisi gembur dan padat.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini mengacu pada SNI 1969-1990 dan bertujuan menentukan berat jenis serta penyerapan air agregat kasar. Perhitungannya disajikan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{BJ curah} &= \frac{Bk}{(Bj-B)} \\ &= \frac{4820}{(5000-3090)} \\ &= 2,524 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned} \text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{500}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000-3090)} \\ &= 2,618 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{BJ Semu} &= \frac{Bk}{(Bk-B)} \\ &= \frac{4820}{(4820-3090)} \\ &= 2,786 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(5000-4820)}{4820} \times 100\% \\ &= 3,73 \% \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada table 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Kerikil Mutlak (Bk), gram	4820	gram
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj), gram	5000	gram
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3090	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.524	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.618	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.786	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3.73	%

Dari hasil pengujian menunjukkan Berat Jenis jenuh kering muka (SSD 2,618 dengan penyerapan air 3,73%. Nilai tersebut masih sesuai kisaran normal SNI 1970:2008 (2,5–2,8) dan di bawah batas maksimum 5%, sehingga agregat halus dapat dikategorikan normal.

2. Pengujian Analisa Saringan

Dalam pengujian analisis saringan agregat kasar, data hasil pengujian akan diolah untuk memperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) serta menentukan klasifikasi daerah gradasinya, sesuai dengan standar SNI 1968-1990. Perhitungan analisis saringan disajikan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Saringan berukuran 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan berukuran 20 mm} &= \frac{15}{5001} \times 100\% \\ &= 0,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan berukuran 10 mm} &= \frac{3618}{5001} \times 100\% \\ &= 72,35\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 4,8 mm} &= \frac{1244}{5001} \times 100\% \\ &= 24,88 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 2,4 mm} &= \frac{63}{5001} \times 100\% \\ &= 1,26 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 1,2 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= \frac{61}{5001} \times 100\% \\ &= 1,22 \%\end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

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

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 20 mm} &= 0,30\% + 0\% \\ &= 0,30 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 10 mm} &= 72,35\% + 0,30 \% \\ &= 72,65 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 4,8 mm} &= 24,88\% + 72,65\% \\ &= 97,52 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 2,4 mm} &= 1,26\% + 97,52\% \\ &= 98,78 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 1,2 mm} &= 0\% + 98,78\% \\ &= 98,78 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 1,22\% + 98,78\% \\ &= 100 \%\end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

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

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 20 mm} &= 100 \% - 0,30 \% \\ &= 99,70 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Saringan berukuran 10mm} &= 100 \% - 72,65 \% \\ &= 27,35 \%\end{aligned}$$

$$\text{Saringan berukuran 4,8 mm} = 100 \% - 97,52 \%$$

$$= 2,48 \%$$

$$\text{Saringan berukuran 2,4 mm} = 100 \% - 98,78\%$$

$$= 1,22 \%$$

$$\text{Saringan berukuran 1,2 mm} = 100 \% - 98,78 \%$$

$$= 1,22 \%$$

$$\text{Pan} = 100 \% - 100 \%$$

$$= 0 \%$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan Analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada table 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.00	0.00	100
20,00	15	0.30	0.30	99.70
10,00	3618	72.35	72.65	27.35
4,80	1244	24.88	97.52	2.48
2,40	63	1.26	98.78	1.22
1,20	0	0.00	98.78	1.22
0,60	0	0.00	98.78	1.22
0,30	0	0.00	98.78	1.22
0,15	0	0.00	98.78	1.22
Sisa	61	1.22	100.00	0.00
Jumlah	5001.00	100.00	664.37	235.63

d. Modulus Halus Butir

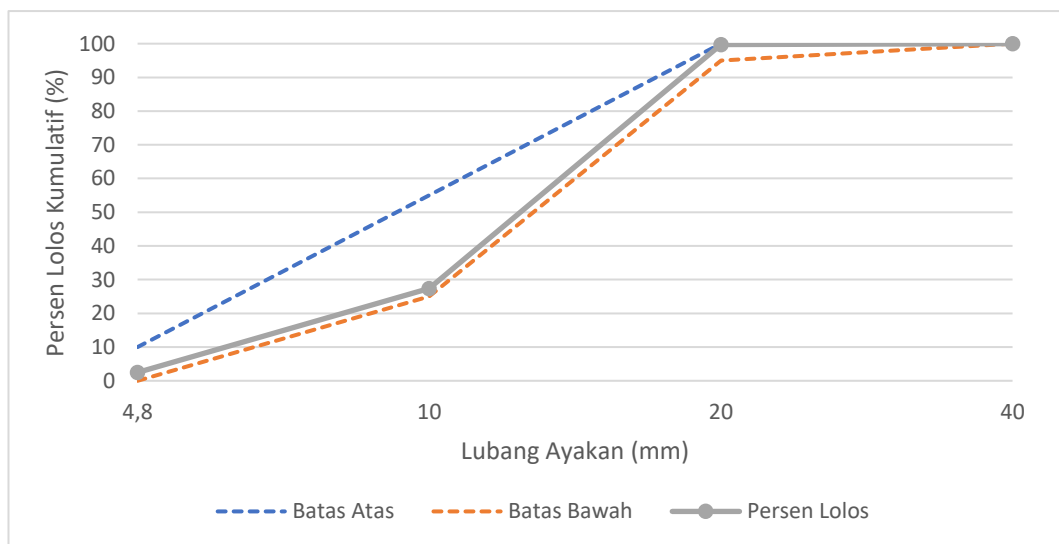
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{664,37}{100} \\
 &= 6,64
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.8 diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 6,64. Nilai ini telah memenuhi rentang persyaratan MHB agregat kasar menurut SK SNI S-04-1989-F (6,0–7,1). Selain itu, gradasi agregat kasar juga sesuai dengan batas atas dan batas bawah yang ditetapkan dalam SNI 2384-2000, sehingga termasuk kategori Daerah II. Kurva gradasi agregat kasar hasil analisis tersebut ditampilkan pada Gambar 5.9.

Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang lolos dari ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 2834-2000

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

Merujuk pada gambar di atas, penelitian ini menggunakan agregat kasar berukuran butir maksimum 20 mm.

3. Pengujian berat volume gembur

Pengujian berat volume gembur agregat kasar dalam penelitian ini dilakukan sesuai standar sni 4804-1998. Cara perhitungan berat volume gembur agregat kasar akan dijelaskan lebih lanjut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 17612 - 10684 \\
 &= 6928 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,2^2 \times 30,10
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5462 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6928}{5462} \\
 &= 1,268 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.10. sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17612	gram
Berat Agregat (W3)	6928	gram
Diameter Tabung (d)	15.20	cm
Tinggi Tabung (t)	30.10	cm
Volume Tabung (V)	5462	cm ³
Berat Volume Gembur	1,268	gram/cm ³

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,268 g/cm³, masih berada dalam kisaran umum menurut SNI 4804-1998 (1,2–1,5 g/cm³). Dengan demikian, agregat kasar tersebut dapat dikategorikan wajar.

4. Pengujian berat volume padat

Pengujian berat volume padat agregat kasar pada penelitian ini mengikuti standar SNI 4804-1998. Perhitungan untuk berat volume padat agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18423 - 10684 \\
 &= 7739 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,30^2 \times 30,4 \\
 &= 5589 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{7739}{5589}$$

$$= 1,385 \text{ gram/cm}^3$$

Rekapitulasi hasil perhitungan berat volume padat agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.11 sebagai berikut

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18423	gram
Berat Agregat (W3)	7739	gram
Diameter Tabung (d)	15.30	cm
Tinggi Tabung (t)	30.4	cm
Volume Tabung (V)	5589	cm ³
Berat Volume Gembur	1,385	gram/cm ³

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume padat agregat kasar sebesar 1,385 g/cm³. Nilai ini berada sedikit di bawah kisaran umum menurut SNI 4804-1998 (1,5–1,7 g/cm³), namun masih dapat diterima untuk digunakan.

5.2 Perencanaan Campuran Beton

Dalam proses perhitungan beton (sering disebut Mix Design), kami mengacu pada standar SNI 2834-2000. Langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan beton dapat dilihat di bawah ini.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) yang ditetapkan adalah 25 MPa, menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Penentuan Standar Deviasi
Berdasarkan Gambar 5.3, nilai standar deviasi (S_r) ditetapkan 7 karena peneliti belum memiliki pengalaman sebelumnya dalam pengujian ini.

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Gambar 5.3 Nilai Standar Deviasi

(Sumber : SNI 2834-2000)

3. Perhitungan Nilai Tambah (M)

Nilai tambah dihitung menggunakan persamaan 3.1:

$$M = 1,64 \times S_r$$

$$M = 1,64 \times 7$$

$$M = 11,48 \text{ MPa} \approx 12 \text{ MPa}$$

4. Perhitungan Kuat Tekan Rata-rata yang Ditargetkan (F'_{cr})

Nilai mutu beton rata-rata yang ditetapkan (F'_{cr}) dihitung dengan persamaan 3.2 sebagai berikut

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

$$F'_{cr} = 25 + 12$$

$$F'_{cr} = 37 \text{ MPa}$$

5. Semen menggunakan semen Tipe I jenis PCC dengan merek Tiga Roda.

6. Agregat kasar berasal dari Progo dengan ukuran maksimum 20 mm, berdasarkan hasil analisis saringan.

7. Agregat halus berasal dari Progo dan hasil analisis saringan menunjukkan termasuk dalam daerah gradasi No. 2.

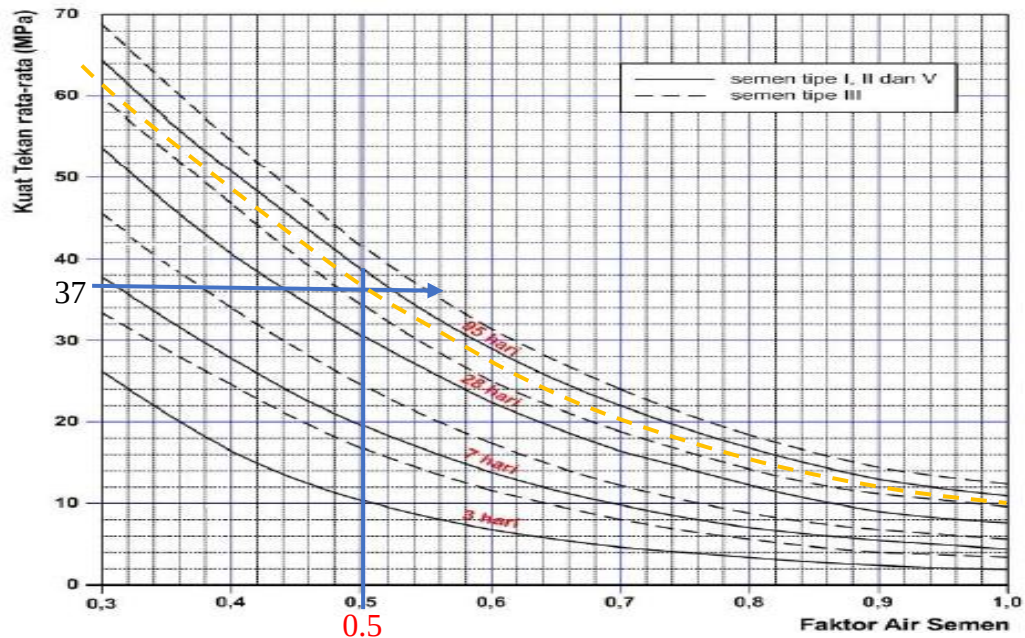
8. Penentuan Faktor Air Semen (FAS)

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Gambar 5.4 Perkiraan Kekuatan Tekan (Mpa) Dengan Faktor air semen 0,5

(Sumber : 2834-2000)

- a. Berdasarkan Gambar 5.4, untuk semen Portland tipe I dan benda uji silinder, perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen (FAS) 0,5 adalah 37 MPa.



Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

(Sumber : SNI 2834-2000)

- b. Berdasarkan gambar 5.5, nilai faktor air semen (fas) yang didapatkan adalah 0,5
9. Menentukan nilai faktor air semen maksimum
- Berdasarkan hasil pengujian properti agregat, diperoleh detail ukuran maksimum agregat sebagai berikut:
- Agregat halus yang digunakan adalah batu tak dipecahkan.
 - Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah. Ukuran butir maksimum agregat kasar adalah 20 mm, yang didasarkan pada hasil uji analisis saringan agregat kasar.
 - Agregat halus termasuk dalam Gradasi II, sesuai dengan hasil pengujian analisis saringan agregat halus.
 - Slump* yang direncanakan adalah 10 ± 2 cm, sehingga termasuk dalam rentang slump 60 – 180 mm.

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

Gambar 5.6 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³)

(Sumber : SNI 2834-2000)

- e. Nilai kadar air bebas agregat campuran kemudian dicari menggunakan persamaan yang akan disebutkan.

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

10. Penentuan Nilai Maksimum FAS dan Minimum Jumlah Semen berdasarkan gambar 5.7 berikut.

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,6
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	0,6
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 3.10
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.11

Gambar 5.7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

(Sumber: SNI 2834-2000)

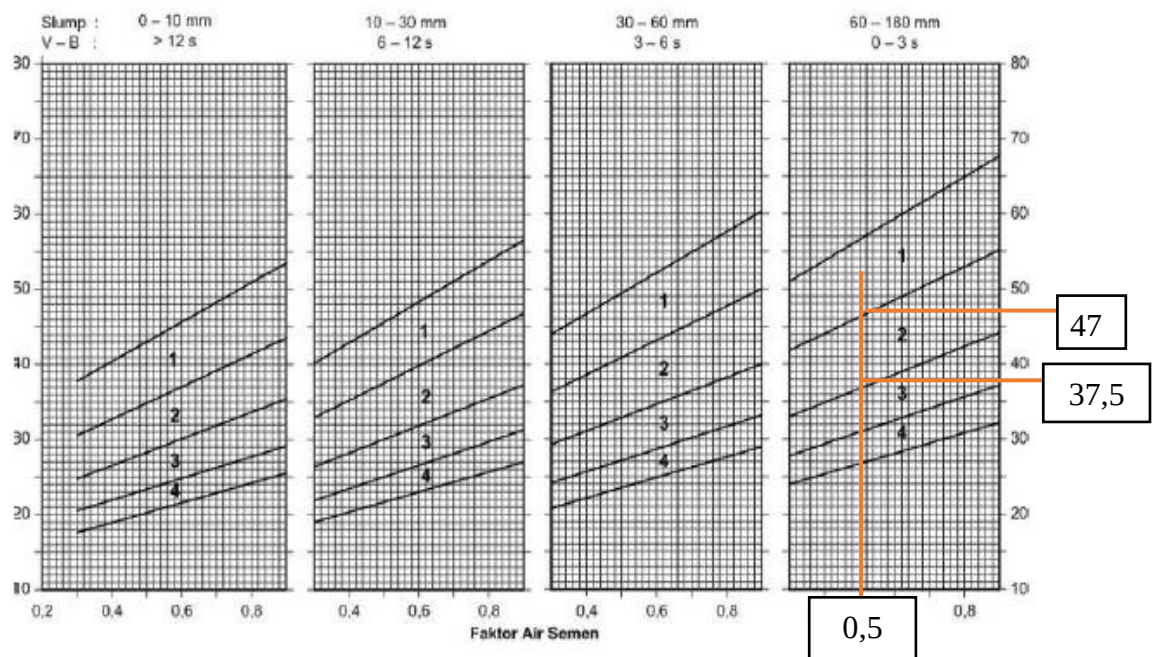
11. Menentukan Kadar Semen
- a. Hasil pembacaan grafik menunjukkan faktor air-semen (fas) sebesar 0,50. Karena nilai ini masih di bawah fas maksimum 0,60 untuk jenis pembetonan tersebut, maka digunakan fas 0,50.

b. Menghitung kadar semen

$$\begin{aligned}\text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air}}{fas} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

c. Hasil perhitungan menunjukkan kadar semen sebesar 410 kg/m³. Nilai ini berada di atas batas minimum 275 kg/m³ untuk jenis pembetonan tersebut, sehingga kadar semen yang digunakan ditetapkan sebesar 410 kg/m³.

12. Menentukan persentase agregat kasar dan agregat halus terhadap total agregat berdasarkan gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.8 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butiran Maksimum 20 mm)

Agregat yang digunakan berukuran maksimum 20 mm dengan slump rencana 60–180 mm, fas 0,50, dan gradasi halus pada gradasi II. Berdasarkan Gambar 5.8, batas atas dan bawah proporsi agregat berturut-turut 47% dan 37,5%, sehingga perhitungan persentase agregat halus dapat dilakukan.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat halus} &= \frac{(\text{Batas atas} + \text{batas bawah})}{2} \\ &= \frac{47 + 37,5}{2}\end{aligned}$$

$$= 42,25\%$$

$$\text{Persentase agregat kasar} = 100\% - \text{agregat halus}$$

$$= 100\% - 42,25\%$$

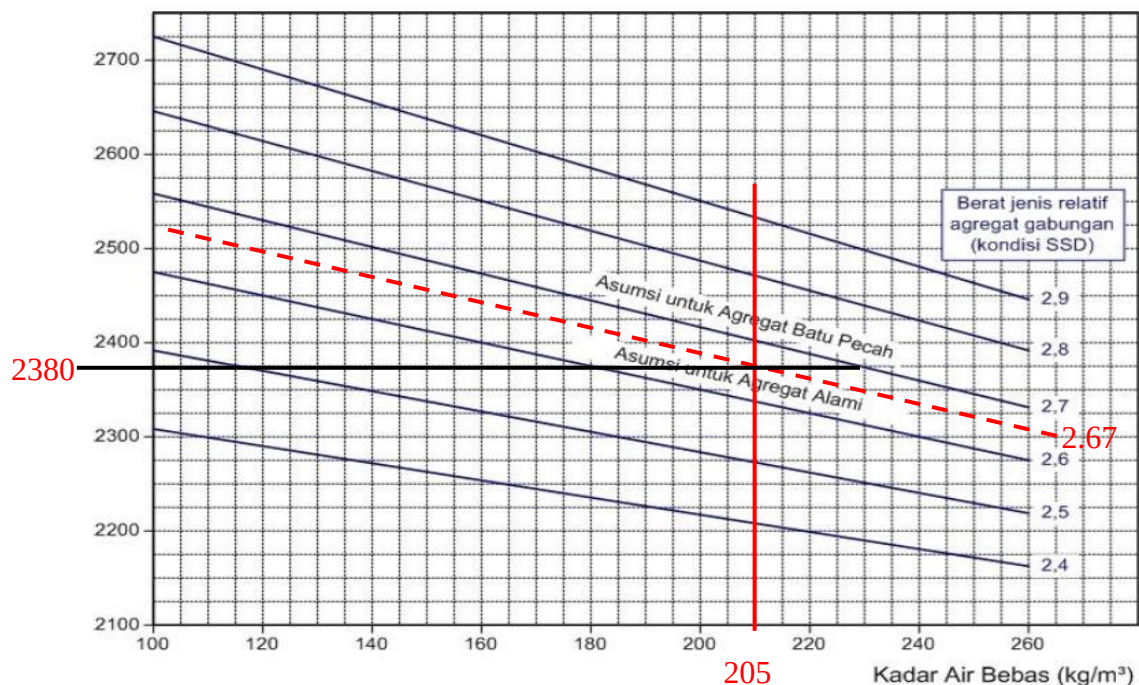
$$= 57,75\%$$

13. Menentukan berat jenis gabungan

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis gabungan} &= (42,25 \times \text{bj agregat halus}) + ((100-42,25) \times \text{bj} \\ &\quad \text{agregat kasar}) \\ &= (42,25 \times 2.732) + (57,75 \times 2.618) \\ &= 2,67 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat volume beton

- Buat kurva baru menggunakan berat jenis agregat gabungan sebesar 2,67.
- Tarik garis vertikal ke atas dari kadar air 205 kg/m³ hingga memotong kurva yang baru dibuat pada langkah (a). Dari titik perpotongan tersebut, tarik garis horizontal ke kiri sampai Anda mendapatkan perkiraan nilai berat isi beton sebesar 2380 kg/m³.



Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber : SNI 2834-2000)

15. Menentukan komposisi agregat dalam campuran

$$\text{a. Kadar agregat gabungan} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air}$$

$$= 2380 - 410 - 205$$

$$= 1765 \text{ kg/m}^3$$

c. Kadar agregat halus = persen agregat halus x kadar agregat

$$= 42,25\% \times 1765$$

$$= 745,713 \text{ kg/m}^3$$

d. Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan - kadar agregat halus

$$= 1765 - 745,713$$

$$= 1019,29 \text{ kg/m}^3$$

16. Proporsi campuran per 1 m³ beton

Berdasarkan hasil perencanaan mix design, proporsi material untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

Air = 205 kg

Semen = 410 kg

Agregat Halus = 745,71 kg

Agregat Kasar = 1019,29 kg

17. Proporsi campuran beton untuk 1 m³ dengan mempertimbangkan angka penyusutan sebesar 25% adalah sebagai berikut.

Air = 256,25 lt

Semen = 512,50 kg

Agregat Halus = 932,141 kg

Agregat Kasar = 1274,11 kg

18. Menghitung Berat Volume Kawat

$$78,5/7850 = 0,01 \text{ atau } 1\%$$

19. Penyesuaian proporsi volume agregat kasar dan halus dalam campuran beton

Penting untuk memperhitungkan volume serat dalam campuran beton. Jika tidak, total volume akan melebihi desain 1 m³. Contohnya, 78,5 kg serat baja memiliki volume sekitar 0,01 m³, sehingga volume agregat harus dikurangi untuk menjaga total campuran tetap 1 m³.

a. Konversi ke Volume

Massa material dikonversi ke volume (m³) untuk dasar perhitungan yang akurat.

Volume Pasir Awal

$$V_{\text{pasir}} = \frac{932.141 \text{ kg}}{2732 \text{ kg/m}^3} = 0,3412 \text{ m}^3$$

Volume Kerikil Awal

$$V_{\text{kerikil}} = \frac{1274.109 \text{ kg}}{2618 \text{ kg/m}^3} = 0,4867 \text{ m}^3$$

Volume Serat Kawat

$$V_{\text{serat}} = \frac{78.5 \text{ kg}}{7850 \text{ kg/m}^3} = 0,01 \text{ m}^3$$

b. Tentukan Proporsi Volume Agregat

Hitung persentase volume pasir & kerikil..

Total Volume Agregat Awal

$$0,3412 \text{ m}^3 + 0,4867 \text{ m}^3 = 0,8279 \text{ m}^3$$

Proporsi Pasir

$$\frac{0,3412 \text{ kg}}{0,8279 \text{ kg/m}^3} = 41,21\%$$

Proporsi Kerikil

$$\frac{0,4867 \text{ kg}}{0,8279 \text{ kg/m}^3} = 58,79\%$$

c. Sesuaikan Volume Agregat

Volume serat kawat (0,01 m³) harus dikurangkan dari total volume agregat untuk menjaga volume total beton tetap 1 m³.

Volume Total Agregat Baru

$$0,8279 \text{ m}^3 - 0,01 \text{ m}^3 = 0,8179 \text{ m}^3$$

d. Massa Akhir

Menghitung massa baru untuk pasir dan kerikil dengan mengaplikasikan proporsi awal pada volume agregat yang sudah disesuaikan.

Massa Pasir Baru

$$\text{Massa} = (0,8179 \text{ m}^3 \times 41,21\%) \times 2732 \text{ kg/m}^3 = 920,44 \text{ kg}$$

Massa Kerikil Baru

$$\text{Massa} = (0,8179 \text{ m}^3 \times 58,79\%) \times 2618 \text{ kg/m}^3 = 1259,48 \text{ kg}$$

20. Penyesuaian komposisi campuran beton per 1 m³ dilakukan dengan mempertimbangkan penambahan kawat baja galvanis sebesar 78,5 kg (setara 1% *volume fraction*) sebagai bahan tambah.

$$\text{Air} = 235,75 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Semen} = 512,50 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat Halus} = 920,44 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat Kasar} = 1259,48 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kawat} = 78,5 \text{ kg/m}^3$$

21. Komposisi campuran beton dan kebutuhan serat kawat.

Penelitian ini menggunakan lima variasi campuran, masing-masing terdiri atas 6 silinder dan 2 balok beton, dengan total 30 silinder dan 10 balok. Kebutuhan material untuk seluruh benda uji dirinci sebagai berikut.

a. Perhitungan Volume Benda Uji

Volume silinder (1 buah)

$$\begin{aligned} V &= 1 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 1 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume silinder (30 buah)

$$\begin{aligned} V &= 30 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 30 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,159 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume balok (10 buah)

$$\begin{aligned} V &= 1 \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \\ &= 1 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,60 \\ &= 0,0135 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume balok (10 buah)

$$\begin{aligned} V &= 10 \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \\ &= 10 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,60 \\ &= 0,135 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{kebutuhan}} = 0,159 + 0,135 = 0,294 \text{ m}^3$$

b. Kebutuhan Material Utama Beton

Berdasarkan volume total tersebut, kebutuhan material beton dihitung proporsional untuk semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan serat kawat baja, sehingga komposisi campuran per 1 m³ dapat ditentukan tepat.

$$\begin{aligned}\text{Air} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,294 \times 256,25 \text{ kg} \\ &= 75,349 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,294 \times 512,50 \text{ kg} \\ &= 150,697 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat Halus} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,294 \times 932,141 \text{ kg} \\ &= 274,059 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat Kasar} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,294 \times 1274,109 \text{ kg} \\ &= 374,588 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Kebutuhan serat kawat pada setiap tahap pencampuran

Perhitungan kebutuhan serat kawat dilakukan berdasarkan berat tiap benda uji agar proporsinya konsisten pada setiap sampel. Dengan cara ini, total kebutuhan serat dapat ditentukan secara lebih akurat dan merata pada seluruh variasi pengujian. Proporsi campuran untuk benda uji berbentuk silinder disajikan sebagai berikut.

a. Proporsi campuran balok

$$\begin{aligned}\text{Untuk 1 silinder} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,0053 \times 78,5 \text{ kg} \\ &= 0,416 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk 6 silinder} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,0318 \times 78,5 \text{ kg} \\ &= 2,497 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk 24 silinder} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,1272 \times 78,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$= 9,988 \text{ kg}$$

b. Proporsi campuran balok

$$\begin{aligned} \text{Untuk 1 balok} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,0135 \times 78,5 \text{ kg} \\ &= 1,060 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk 2 balok} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,027 \times 78,5 \text{ kg} \\ &= 2,120 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk 8 balok} &= V_{\text{kebutuhan}} \times V_{\text{total}} \\ &= 0,108 \times 78,5 \text{ kg} \\ &= 8,478 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Total Kebutuhan kawat untuk seluruh benda uji

$$\begin{aligned} V_{\text{kebutuhan}} &= 9,988 + 8,478 \\ &= 18,466 \end{aligned}$$

22. Rekapitulasi Kebutuhan Material

Kebutuhan material utama beton dan variasi serat kawat dihitung berdasarkan volume total benda uji, kemudian disajikan secara ringkas pada tabel 5.1 dan tabel 5.2. Rekapitulasi tersebut menjadi acuan dalam proses pencampuran (*mixing*) beton pada pelaksanaan penelitian.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton Metode SNI 2834-2000					
No.	Uraian	Nilai		Satuan	
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (Silinder/Kubus) (f'c)	25		Mpa	
2	Deviasi Standar (s)	7		Mpa	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		Mpa	
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	37		Mpa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Ditetapkan	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Ditetapkan	
	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Ditetapkan	
7	Faktor air semen bebas	0.5		Tabel 2 dan grafik 1 dan 2	
	Faktor air semen maksimum	0,60		Tabel 4;5; atau 6	
8	Faktor air semen digunakan	0.5		Fas minimum	
9	Slump	60-180		Mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20		Mm	
11	Kadar Air Bebas	205,00		Kg/m ³	
12	Kadar Semen	410,000		Kg/m ³	
13	Kadar Semen Maksimum			Kg/m ³	
14	Kadar Semen Minimum	275		Kg/m ³	
15	Kadar Semen digunakan	410.000		Kg/m ³	
16	Faktor Air Semen disesuaikan				
17	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		Daerah gradasi	
18	Berat Jenis Agregat Halus	2,7322		Kg/m ³	
	Berat Jenis Agregat Kasar	2,6178		Kg/m ³	
19	Persen Agregat Halus	42,25		%	
20	Berat Jenis relatif Agregat (gabungan) SSD	2,67		Gram	
21	Berat Isi Beton	2380		Kg/m ³	
22	Kadar Agregat Gabungan	1765.00		Kg/m ³	
23	Kadar agregat halus	745,713		Kg/m ³	
24	Kadar Agregat Kasar	1019,29		Kg/m ³	
		Semen (kg)	Air (kg)	Agregat	
				Halus(kg)	Kasar(kg)
25	Proporsi campuran teoritis (Agregat SSD)				
	Setiap m3	410,000	205,00	745,71	1019,29
	setiap campuran uji	2,17	1,09	3,95	5,40
26	Proporsi campuran dengan angka penyusutan	25 %			
	setiap m3	512,500	256,250	932,141	1274,109
	setiap campuran uji	2,717	1,358	4,942	6,755
27	Proporsi campuran dengan serat kawat				
	setiap m3	512,500	256,250	920,44	1259,48

Tabel 5.13 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Serat Kawat

Kadar Serat Kawat			Air (Kg)	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kirikil (Kg)
Variasi	%	Kg				
BN	-	-	15,07	30,14	54,82	74,93
BL1	1%	4,62	15,07	30,14	53,90	73,64
BL2	1%	4,62	15,07	30,14	53,90	73,64
BG1	1%	4,62	15,07	30,14	53,90	73,64
BG2	1%	4,62	15,07	30,14	53,90	73,64
Jumlah		18,47	75,35	150,70	270,42	369,49

Dalam penelitian ini digunakan empat variasi bentuk serat kawat galvanis dengan kadar tetap sebesar 1% dari berat beton, disertai satu campuran beton normal sebagai kontrol. Oleh karena itu, dilakukan lima kali proses pencampuran (*mixing*). Setiap proses pencampuran menghasilkan enam benda uji silinder beton, yang terdiri atas tiga silinder untuk pengujian kuat tekan dan tiga silinder untuk pengujian tarik belah, serta dua benda uji balok beton untuk pengujian kuat lentur.

5.3 Hasil Uji Coba Benda Uji

Pengujian pada benda uji dilakukan untuk mengevaluasi ketepatan perencanaan campuran beton yang telah disusun. Pada tahap ini, digunakan 3 buah silinder beton yang diuji pada umur 3 hari. Nilai kuat tekan yang diperoleh kemudian dikonversi ke umur rujukan 28 hari. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan ditampilkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Uji Beton Normal pada Usia 3 Hari

NO	Kode Sampel	Diameter	Tinggi	Umur	Beban Maksimum	Konversi 28 Hari		Kuat Tekan rata-rata
		(mm)	(mm)	hari		(kN)	(MPa)	
1	TT	15,05	30,22	3	246,74	353,5	34,7	36,9921
2	TT	15,20	30,05	3	270,32	379,6	37,2	
3	TT	15,40	30,05	3	291,01	398,1	39,1	

Berikut contoh perhitungan:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{beban maks} \times 1000}{0.25 \times \pi \times d^2} \\
 &= \frac{353.5 \times 1000}{17789.46 \times \frac{1}{0.4}} \\
 &= 34,7 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

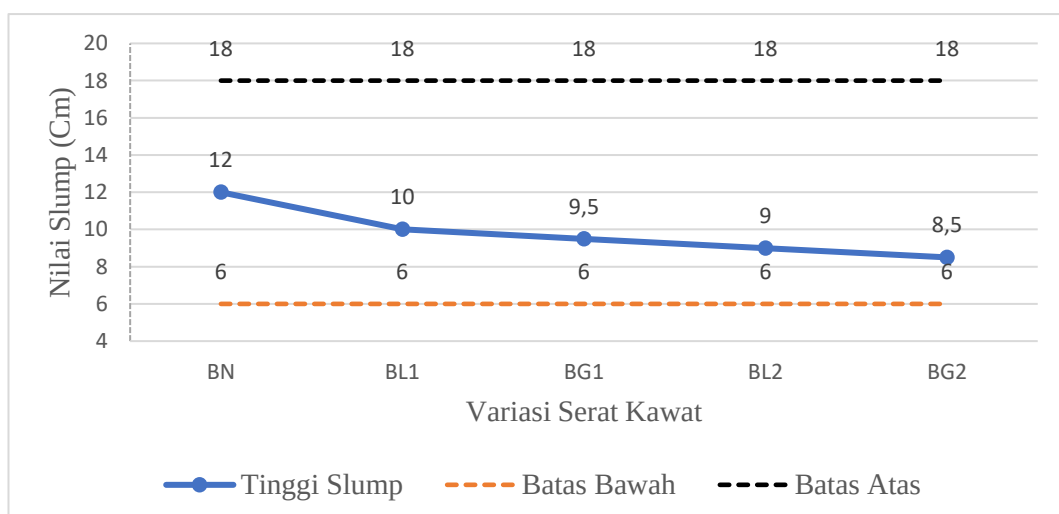
5.4 Hasil Uji Laboratorium Terhadap Benda Uji

5.4.1 Pengujian *Slump* Beton

Nilai *slump* digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) dari beton segar. Semakin tinggi nilai *slump*, maka campuran beton segar akan semakin mudah dikerjakan. Adapun nilai *slump* yang direncanakan dalam penelitian ini berada pada kisaran 60–180 mm. Rekapitulasi hasil pengujian *slump* ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slump*

5.1.3 Benda Uji	Tinggi <i>Slump</i>	Batas Bawah	Batas Atas	Keterangan Syarat <i>Slump</i> (60-180 mm)
	Cm	Cm	Cm	
BN	12	6	18	Memenuhi
BL1	10	6	18	Memenuhi
BG1	9,5	6	18	Memenuhi
BL2	9	6	18	Memenuhi
BG2	8.5	6	18	Memenuhi



Gambar 5.10 Grafik Nilai Slump Berdasarkan Variasi Campuran Beton

Berdasarkan Tabel 5.15 dan Gambar 5.10, hasil uji *slump* dari setiap variasi campuran beton menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh telah berada dalam rentang target *slump*, yaitu 60–180 mm. Adapun contoh pelaksanaan pengujian slump ditunjukkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Proses Pengujian Slump Beton

5.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada usia 28 hari sesuai dengan standar SNI 1974:2011 dan ASTM C39, menggunakan 15 benda uji silinder berukuran 150 mm × 300 mm. Sebelum pengujian, benda uji dikeringkan, kemudian permukaannya dilapisi (*capping*) dengan belerang agar rata. Selanjutnya, benda uji diletakkan pada *Compression Testing Machine* (CTM), di mana beban diberikan secara bertahap dengan laju konstan hingga benda uji runtuh. Nilai beban maksimum yang tercatat saat keruntuhan menjadi indikator kuat tekan beton.

Nilai kuat tekan beton ditentukan berdasarkan beban maksimum yang tercatat pada saat benda uji hancur, dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = luas penampang silinder beton ($\pi D^2/4$) (mm²)

Contoh perhitungan

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton} &= \frac{\text{beban maks} \times 1000}{0.25 \times \pi \times d^2} \\ &= \frac{485,53 \times 1000}{17577,37} \\ &= 27,62 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan dengan metode yang sama dilakukan pada seluruh benda uji, dan hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan beton disajikan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi	Kode Sampel	Diameter	Tinggi	Berat	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan rata-rata
		(mm)	(mm)	(kg)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
BN	TK-01	149	332	12,43	17530,37	451,17	25,74	26,12
	TK-02	150	303	12,53	17577,34	485,53	27,62	
	TK-03	149	357	12,71	17483,47	437,27	25,01	
BL 1	TK-01	148	304	12,50	17273,18	479,71	27,77	28,83
	TK-02	149	320	12,58	17436,62	467,99	26,84	
	TK-03	148	330	12,60	17203,36	548,49	31,88	
BG 1	TK-01	150	308	12,32	17553,85	517,56	29,48	29,03
	TK-02	149	290	12,33	17506,91	554,93	31,70	
	TK-03	149	315	12,34	17436,62	451,77	25,91	
BL 2	TK-01	150	334	12,99	17553,85	511,41	29,13	29,56
	TK-02	150	311	12,87	17600,84	463,21	26,32	
	TK-03	149	340	12,81	17506,91	581,86	33,24	
BG 2	TK-01	149	325	12,78	17413,23	451,17	25,91	30,51
	TK-02	149	310	12,70	17506,91	625,38	35,72	
	TK-03	149	370	12,90	17413,23	520,62	29,90	

Ket:

TK = Kuat Tekan

BN = Beton Normal

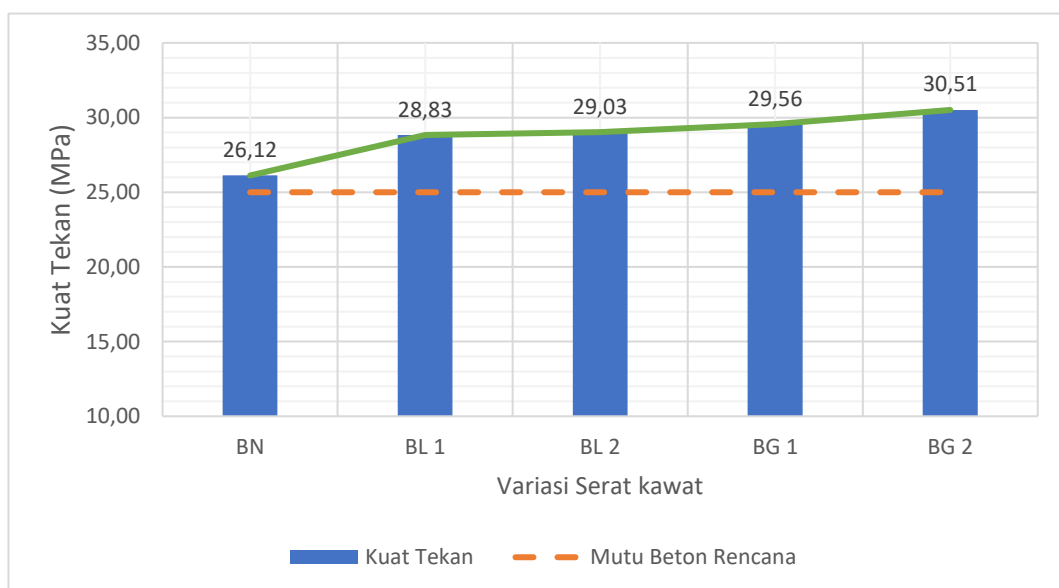
BL1 = Beton Kawat Lurus

BG1 = Beton Gelombang

BL2= Beton Kawat Lurus Kait 90⁰BG2 = Beton Gelombang Kait 90⁰

Tabel 5.17 Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton

Variasi	Kuat Tekan rata-rata	Persentase Penurunan dan Peningkatan
	(MPa)	(%)
BN	26,12	0,00%
BL 1	28,83	10,37%
BL 2	29,56	13,17%
BG 1	29,03	11,13%
BG 2	30,51	16,79%

**Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Kuat Tekan antara Beton Normal dan Beton Variasi Kawat**

Berdasarkan data pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.12, kuat tekan beton normal (BN) tercatat sebesar 26,12 MPa, sedikit lebih tinggi dari kuat tekan rencana 25 MPa. Setelah penambahan serat kawat galvanis 1%, seluruh variasi mengalami peningkatan. Pada serat tanpa kait (BL1 dan BG1), kuat tekan meningkat menjadi 28,83 MPa (+10,37%) dan 29,03 MPa (+11,13%), sedangkan pada serat berkait (BL2 dan BG2), peningkatan lebih besar terjadi dengan nilai 29,56 MPa (+13,17%) dan 30,51 MPa (+16,79%). Hasil ini menegaskan bahwa keberadaan kait berperan penting dalam meningkatkan kapasitas tekan beton, dengan variasi bergelombang berkait (BG2) sebagai konfigurasi paling optimal.

Fenomena peningkatan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme *mechanical interlock*. Serat tanpa kait (BL1 dan BG1) hanya mampu menahan retak mikro

dengan ikatan terbatas sehingga lebih mudah tercabut, sedangkan serat berkait (BL2 dan BG2) membentuk penjangkaran lebih kuat karena ujung serat terkunci pada matriks beton. Efektivitas ini semakin tinggi pada BG2 karena lekukan sepanjang badan serat memperbesar bidang kontak dan meningkatkan tahanan cabut (*pull-out resistance*). Kombinasi efek kait dan lekukan membuat distribusi tegangan lebih merata, kohesi internal meningkat, daktilitas beton bertambah, dan kapasitas tekan mampu dipertahankan lebih lama sebelum mengalami keruntuhan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan (Karmila Achmad dan Sunarno, 2018) yang melaporkan peningkatan kuat tekan pada beton dengan penambahan serat galvanis, serta (Pitaloka, 2021) yang menunjukkan peningkatan kuat tekan dan modulus elastisitas dengan penggunaan serat baja dari limbah ban bekas. (Sufyan Affandi dkk., 2023) juga menemukan bahwa penambahan serat baja 1,3% dapat meningkatkan mutu beton dengan kuat tekan melampaui target rencana. (Song & Hwang, 2004) yang melaporkan bahwa penambahan serat baja meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, serta ketangguhan lentur pada beton mutu tinggi. Ulasan literatur oleh (Hoang dkk., 2017) menunjukkan bahwa peningkatan kinerja mekanis beton serat baja sangat dipengaruhi oleh kandungan serat dan rasio aspek-serat, dan bahwa distribusi serat dalam campuran merupakan faktor penting tambahan.

Secara teoretis, temuan ini konsisten dengan (ACI 544, 1996) yang menegaskan bahwa geometri serat menentukan daya lekat dan ketahanan cabut dalam matriks beton. (Hoseini, 2022) menyebut bahwa serat bergelombang efektif meningkatkan *fracture toughness* dan menunda propagasi retak, sedangkan (Wang et al., 2023) menambahkan bahwa serat *hooked* dan *wavy* lebih unggul dibandingkan serat lurus. Namun, (Xu et al., 2024) menunjukkan bahwa meskipun serat baja memperbaiki sifat mekanik beton secara keseluruhan, kontribusinya terhadap kuat tekan relatif lebih kecil dibandingkan pada kuat tarik dan lentur. Hal ini sejalan dengan (Abdallah, 2018) yang menegaskan bahwa pengaruh utama serat lebih dominan pada perilaku pasca-retak, khususnya pada kapasitas tarik dan lentur, sementara peningkatan kuat tekan cenderung moderat.

Dengan demikian, meskipun sebagian besar literatur menekankan bahwa serat lebih berpengaruh pada sifat tarik dan lentur, penelitian ini membuktikan

bahwa penambahan serat kawat galvanis 1% dengan variasi bergelombang berkait (BG2) juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan geometri serat yang tepat merupakan faktor kunci dalam optimalisasi kinerja beton berserat.

Hasil pengujian Gambar 5.13 hingga Gambar 5.15 memperlihatkan mesin uji yang digunakan serta kondisi benda uji setelah proses pengujian.



Gambar 5.13 Mesin Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 5. 14 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan Beton

5.4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 15 silinder, dimana setiap variasi terdiri atas 3 buah silinder. Pada pengujian tarik belah, benda uji silinder diletakkan secara horizontal pada mesin CTM, kemudian diberikan beban tekan hingga benda uji mengalami keruntuhan dan terbelah menjadi dua bagian. Beban maksimum yang tercatat digunakan untuk menghitung kuat tarik belah beton sesuai dengan persamaan standar. Berikut disajikan contoh perhitungan kuat tarik belah beton normal dengan kode benda uji.

$$\begin{aligned}
 F'_{ct} &= \frac{2p}{\pi DL} \\
 &= \frac{2 \times 215}{\pi \times 14.8 \times 30.7} \\
 &= 3,01 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan dengan metode yang sama dilakukan pada benda uji lainnya. Hasil rekapitulasi pengujian kuat tarik belah beton secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Beton

Variasi	Kode Sampel	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan rata-rata
		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
BN	TB-01	149,00	303,00	141833,48	189	2,67	2,61
	TB-02	150,00	305,00	143727,86	177	2,46	
	TB-03	152,00	307,00	146599,28	198	2,70	
BL 1	TB-01	148,00	307,00	142741,40	215	3,01	3,14
	TB-02	148,50	303,00	141357,53	230	3,25	
	TB-03	149,00	305,00	142769,68	225	3,15	
BG 1	TB-01	151,00	308,00	146109,19	225	3,08	3,16
	TB-02	155,00	287,00	139753,75	228	3,26	
	TB-03	149,50	306,00	143718,44	225	3,13	
BL 2	TB-01	155,00	301,00	146571,01	235	3,21	3,22
	TB-02	151,20	307,00	145827,70	237	3,25	
	TB-03	151,00	303,00	143737,29	231	3,21	
BG 2	TB-01	147,40	303,00	140310,44	238	3,39	3,33
	TB-02	149,00	303,00	145827,70	239	3,37	
	TB-03	149,10	304,00	143737,29	230	3,23	

Ket:

TB = Tarik Belah

BN = Beton Normal

BL1 = Beton Kawat Lurus

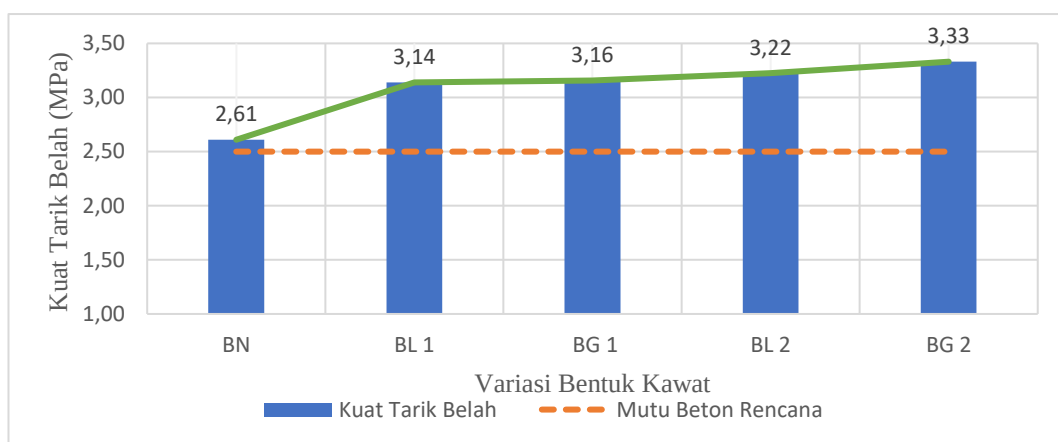
BG1 = Beton Gelombang

BL2 = Beton Kawat Lurus Kait 90°

BG2 = Beton Gelombang Kait 90°

Tabel 5.19 Persentase Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

Variasi	Kuat Tarik rata-rata	Persentase Peningkatan
	(MPa)	(%)
BN	2,61	0,00%
BL1	3,14	20,30%
BG1	3,16	21,01%
BL2	3,22	23,53%
BG2	3,33	27,64%

**Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah antara Beton Normal dan Beton Variasi Kawat**

Berdasarkan data pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.13, hasil pengujian kuat tarik belah beton normal (BN) sebesar 2,61 MPa atau sekitar 10% dari kuat tekannya (26,12 MPa). Dengan penambahan serat kawat galvanis 1%, seluruh variasi menunjukkan peningkatan. Variasi BL1 mencapai 3,14 MPa (+20,30%), BG1 sebesar 3,16 MPa (+21,01%), BL2 sebesar 3,22 MPa (+23,53%), dan BG2 memperoleh hasil tertinggi sebesar 3,33 MPa (+27,64%). Hasil ini menegaskan bahwa bentuk serat bergelombang berkait (BG2) paling efektif dalam meningkatkan kuat tarik belah beton.

Fenomena peningkatan tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme *mechanical interlock*. Serat tanpa kait (BL1 dan BG1) berfungsi sebagai *crack bridging* yang menahan retak mikro, tetapi ikatannya dengan pasta semen masih terbatas sehingga serat relatif mudah tercabut. Sebaliknya, serat berkait (BL2 dan BG2) menghasilkan penjangkaran yang lebih kuat karena ujung serat terkunci di dalam matriks beton, sehingga mampu menahan beban tarik lebih besar. Kondisi

ini semakin optimal pada serat bergelombang berkait (BG2), karena selain memiliki kait pada ujungnya, lekukan sepanjang serat juga meningkatkan daya ikat mekanis. Kombinasi efek lekukan dan kait inilah yang menjadikan BG2 paling unggul dalam meningkatkan ketahanan beton terhadap beban tarik belah.

Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu, di mana (Karmila Achmad dan Sunarno, 2018) melaporkan bahwa serat kawat galvanis berbentuk linting lebih efektif dibandingkan *crimped* dalam meningkatkan kekuatan beton. (Faiz Sulthan, 2019) menegaskan bahwa bentuk serat baja memengaruhi sifat mekanik beton, dengan tipe bergelombang direkomendasikan sebagai yang paling seimbang antara kekuatan dan *workability*. (Pitaloka, 2021) menunjukkan bahwa serat baja dari limbah ban bekas dapat meningkatkan kuat tekan sekaligus memberikan kontribusi pada kuat tarik belah beton. Selain itu, (Asyrofi Miranda Putra dkk., 2020) melaporkan bahwa serat baja mampu meningkatkan kapasitas lentur dan memperbaiki pola retak, sedangkan (Sufyan Affandi dkk., 2023) menegaskan bahwa penambahan serat baja 1,3% meningkatkan mutu beton secara keseluruhan yang turut mendukung peningkatan sifat tarik belah.

Secara teoritis, hasil penelitian ini konsisten dengan (ACI 544, 1996) yang menyatakan bahwa geometri serat memengaruhi kualitas ikatan dan ketahanan cabut (*pull-out resistance*). Penelitian (Abdallah, 2018) serta (Hoseini, 2022) juga memperlihatkan bahwa serat bergelombang maupun berkait efektif dalam meningkatkan kuat tarik belah, kuat lentur, serta ketangguhan retak (*fracture toughness*). Hal serupa dilaporkan oleh (Wang et al., 2023), yang menemukan bahwa bentuk serat *hooked* dan *wavy* menghasilkan peningkatan signifikan pada sifat tarik dan lentur beton.

Secara umum, literatur menegaskan bahwa pengaruh serat lebih dominan pada sifat tarik dan lentur dibandingkan kuat tekan. (Afroughsabet, Biolzi, & Ozbakkaloglu, 2016) menekankan bahwa kontribusi serat paling nyata terlihat pada perilaku pasca retak, terutama pada sifat tarik dan lentur. Ulasan terbaru oleh (Zhao et al., 2023) memperkuat pandangan ini dengan menegaskan bahwa bentuk dan jenis serat baja, khususnya tipe *hooked* dan *wavy*, memiliki dampak terbesar pada kuat tarik dan lentur, sedangkan pengaruhnya terhadap kuat tekan relatif moderat.

Dengan demikian, meskipun berbagai literatur menekankan bahwa pengaruh serat lebih besar pada sifat tarik dan lentur dibandingkan tekan, penelitian ini membuktikan bahwa penambahan serat kawat galvanis 1% dengan variasi bentuk BG2 secara konsisten memberikan peningkatan signifikan pada kuat tarik belah beton

Hasil pengujian kuat tarik belah serta kondisi benda uji setelah pengujian ditampilkan pada Gambar 5.16 hingga Gambar 5.18.



Gambar 5.16 Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Beton



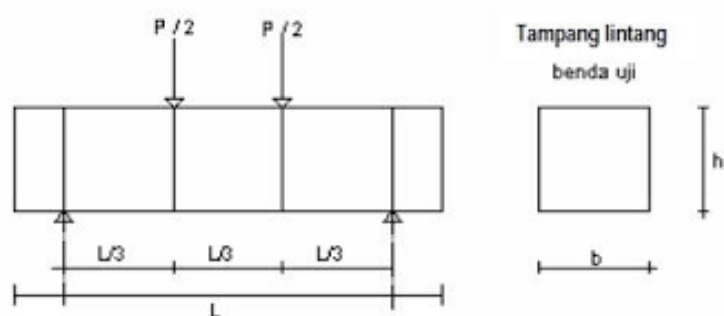
Gambar 5. 17 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 5.18 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

5.4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Tujuan pengujian kuat lentur beton adalah untuk mengetahui kapasitas maksimum balok beton dalam menahan beban lentur yang timbul akibat mekanisme tegangan internal, yaitu distribusi tegangan yang berasal dari resultan gaya tekan dan gaya tarik pada penampang beton. Kedua gaya tersebut bekerja sejajar tetapi berlawanan arah, serta dipisahkan oleh jarak tertentu sehingga menghasilkan momen tahanan dalam. Nilai maksimum momen tahanan ini didefinisikan sebagai kuat lentur beton. Ilustrasi pengujian kuat lentur ditunjukkan pada Gambar 5.19.

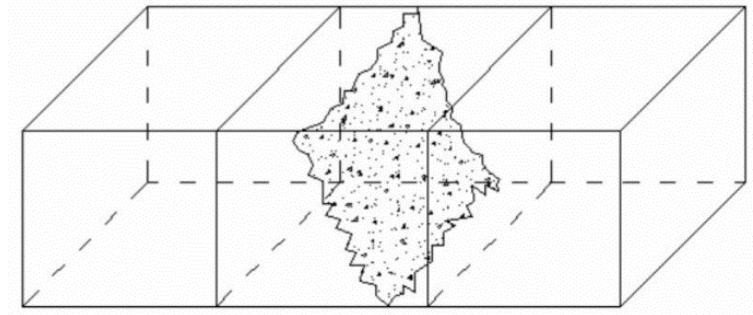


Gambar 5.19 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton

(Sumber : SNI 4431:2011)

Dalam pengujian kuat lentur dengan metode dua titik pembebanan, perhitungan nilai kuat lentur dibedakan menjadi tiga kategori sesuai dengan pola

kerusakan yang terjadi pada benda uji. Pola retak serta rumus perhitungan ditunjukkan pada Gambar 5.20, Gambar 5.21, dan Gambar 5.22.

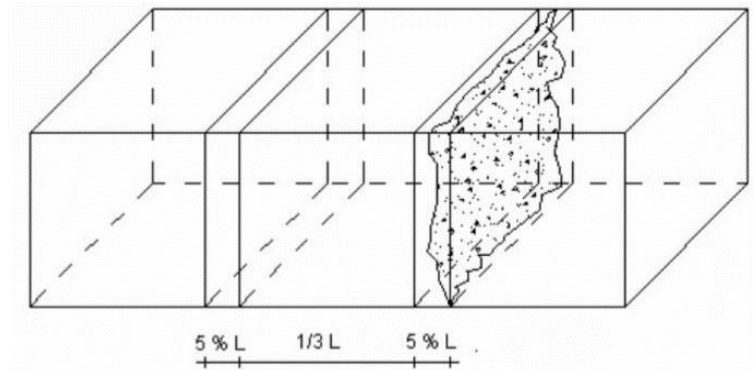


Gambar 5.20 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (a)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Gambar 5.18 memperlihatkan kerusakan yang terjadi ketika patah pada benda uji balok berada di daerah pusat, yakni pada 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah. Pada kondisi ini, perhitungan kuat lentur beton menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_1 = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

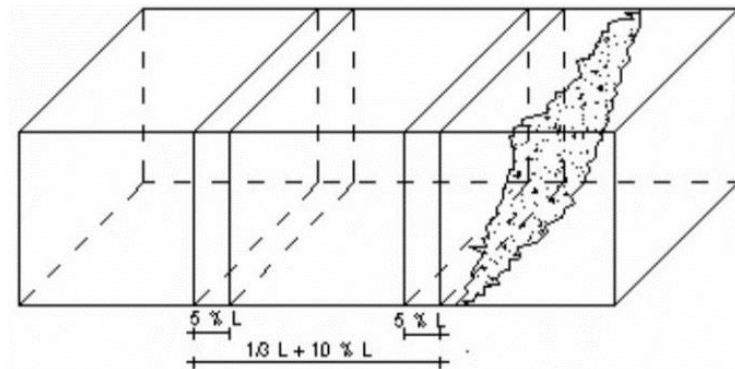


Gambar 5.21 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (b)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Gambar 5.19 memperlihatkan pola kerusakan benda uji apabila patah terjadi di luar pusat (1/3 bentang tengah), dengan jarak dari titik pusat ke titik patah kurang dari 5% bentang pembebanan. Pada kondisi demikian, perhitungan kuat lentur beton menggunakan Persamaan (2)

$$\sigma_1 = \frac{P \times a}{b \times h^2}$$



Gambar 5.22 Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (c)

(Sumber : SNI 4431:2011)

Gambar 5.20 memperlihatkan kasus patah yang terjadi di luar pusat ($1/3$ jarak titik perletakan bagian tengah) dengan jarak titik patah terhadap titik pembebanan lebih dari 5% dari bentang, hasil uji dianggap tidak sah sehingga tidak dipergunakan.

dengan pengertian:

σ_1 : kuat lentur benda uji (MPa)

P : beban maksimum yang terbaca pada mesin uji (dalam ton, dibaca hingga tiga angka di belakang koma)

L : jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h : tinggi tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a : jarak rata-rata antara bidang patah dengan tumpuan luar terdekat, diukur pada empat titik di bagian sudut bentang (mm)

Berikut disajikan contoh perhitungan kuat tarik belah beton normal dengan kode benda uji.

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{P \times L}{b \times h^2} \\ \sigma_1 &= \frac{3320 \times 9.81 \times 450}{153 \times 153^2} \\ &= 4,09 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan kuat lentur balok ditunjukkan pada Tabel 5.21. Umumnya patah terjadi di tengah bentang dengan retakan menjalar dari bawah ke atas sesuai karakteristik beton normal menurut SNI 4431:2011. Pada sampel dengan

serat, pola patah yang muncul relatif sama dan tetap termasuk dalam kategori pola (a), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Kategori Patah

Variasi	Kode Sampel	Jarak Patah			Jarak Patah Rata-Rata	Kategori Patah Pola (A)	Satuan
		1	2	3			
BN	KL-01	23,5	21,5	21	22,0	Memenuhi	cm
	KL-02	21,5	20,5	20,3	20,8	Memenuhi	cm
BL1	KL-01	22,5	22,7	21	22,1	Memenuhi	cm
	KL-02	20	20,1	19,3	19,8	Memenuhi	cm
BG1	KL-01	26	27,5	25,9	26,5	Memenuhi	cm
	KL-02	18	19,8	19,9	19,2	Memenuhi	cm
BL2	KL-01	17,5	19	17,5	18,0	Memenuhi	cm
	KL-02	23,1	22	21,9	22,3	Memenuhi	cm
BG2	KL-01	19,5	20	21,5	20,3	Memenuhi	cm
	KL-02	22,5	25,5	26,9	25,0	Memenuhi	cm

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur

Variasi	Kode Sampel	Panjang	Tinggi	Lebar	Berat	Berat Volume	Beban Maksimum	Kuat Lentur	Kuat Tekan rata-rata
		(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg/m ³)	(kN)	(MPa)	(MPa)
BN	KL-01	600	155	152,2	32	2261	2830	3,42	3,46
	KL-02	600	150	153,6	32	2315	2735	3,49	
BL1	KL-01	600	153	153	33,3	2371	3320	4,09	4,04
	KL-02	598	153	152	32,4	2330	3220	3,99	
BL2	KL-01	600	151,6	153,1	32,6	2341	4035	5,06	4,89
	KL-02	600	150	154,4	32,6	2346	3705	4,71	
BG1	KL-01	599	151	151,1	32,8	2400	3285	4,21	4,49
	KL-02	597	150	152,66	32	2341	3710	4,77	
BG2	KL-01	600	151	154	32,7	2344	4868	6,12	6,21
	KL-02	600	153	153,55	32,6	2313	5135	6,31	

Ket:

KL = Kuat Lentur

BN = Beton Normal

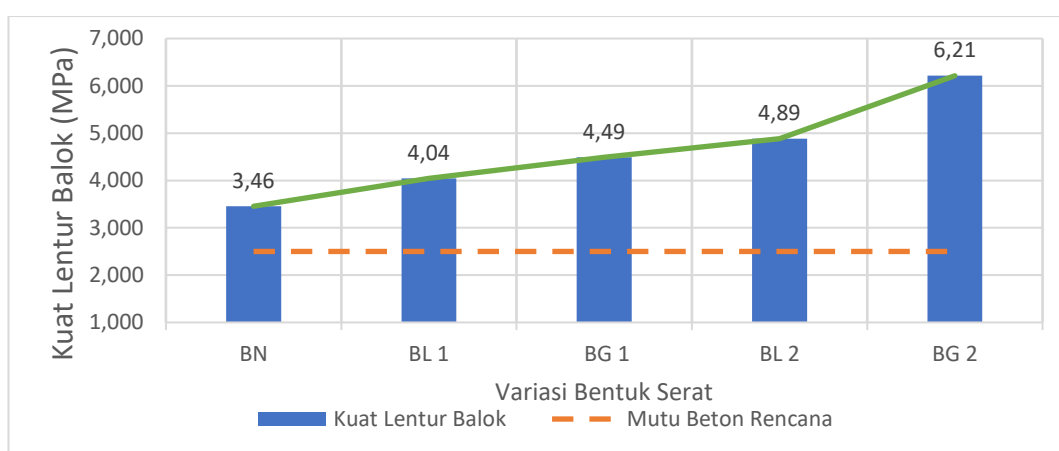
BL1 = Beton Kawat Lurus

BG1 = Beton Gelombang

BL2= Beton Kawat Lurus Kait 90⁰BG2 = Beton Gelombang Kait 90⁰

Tabel 5.22 Persentase Peningkatan

Variasi	Kuat Tarik rata-rata	Persentase Peningkatan
	(MPa)	(%)
BN	3,46	0%
BL 1	4,04	17,03%
BG 1	4,49	29,92%
BL 2	4,89	41,39%
BG 2	6,21	79,83%



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Kuat Lentur Beton Antara Beton Normal Dan Beton Variasi Bentuk Kawat

Berdasarkan data pada Tabel 5.122 dan Gambar 5.23, Hasil pengujian kuat lentur menunjukkan kuat lentur beton normal (BN) sebesar 3,46 MPa atau 13,24% dari kuat tekan (26,12 MPa), masih sesuai dengan rentang empiris *ACI 318-19* (10%–15%). Setelah penambahan 1% serat kawat galvanis, kuat lentur meningkat pada semua variasi, yakni BL1 sebesar 4,04 MPa (+17,03%), BG1 sebesar 4,49 MPa (+29,92%), BL2 sebesar 4,89 MPa (+41,39%), dan BG2 sebagai hasil tertinggi mencapai 6,21 MPa (+79,83%). Nilai BG2 setara dengan 23,78% dari kuat tekan dan melampaui batas empiris *ACI 318-19*, sehingga bentuk bergelombang berkait dapat dinyatakan sebagai variasi paling efektif dalam meningkatkan kapasitas lentur beton.

Fenomena peningkatan tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme *mechanical interlock* antara serat dan pasta semen. Pada pembebanan lentur, serat berperan sebagai *crack bridging* yang menahan sekaligus memperlambat propagasi

retak di zona tarik beton. Serat tanpa kait (BL1 dan BG1) masih mampu menahan retak awal, namun ikatannya dengan matriks beton relatif lemah sehingga mudah tercabut. Sebaliknya, serat berkait (BL2 dan BG2) membentuk penjangkaran lebih kuat karena ujung serat terkunci dalam beton, sehingga kapasitas lentur meningkat. Efektivitas tersebut semakin optimal pada serat bergelombang berkait (BG2), karena lekukan sepanjang badan serat menambah ikatan mekanis. Kombinasi lekukan dan kait inilah yang menjadikan BG2 paling efektif dalam memperkuat kohesi, meningkatkan daktilitas, serta mengurangi kecenderungan keruntuhan getas pada pembebanan lentur.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, di mana (Karmila Achmad dan Sunarno, 2018) menyatakan bahwa serat kawat galvanis berbentuk linting lebih efektif dibanding *crimped*. (Pitaloka, 2021) menunjukkan bahwa serat baja dari limbah ban bekas dapat meningkatkan kuat lentur hingga 7,41 MPa. (Asyrofi Miranda Putra dkk., 2020) melaporkan bahwa serat baja pada balok beton bertulang meningkatkan kekakuan sekaligus memperbaiki sifat getas. Selanjutnya, (Faiz Sulthan, 2019) menegaskan bahwa bentuk serat memengaruhi sifat mekanik beton, dengan tipe bergelombang direkomendasikan sebagai yang paling seimbang. Penelitian (Sufyan Affandi dkk., 2023) turut menegaskan bahwa penambahan serat baja dapat meningkatkan mutu beton, meskipun fokus utama penelitian mereka adalah pada kuat tekan.

Secara teoretis, hasil penelitian ini sejalan dengan (ACI 544, 1996) yang menegaskan bahwa geometri serat memengaruhi daya lekat dan ketahanan cabut (*pull-out resistance*), di mana serat non-lurus seperti *hooked* maupun *wavy* terbukti lebih efektif menahan retak dibandingkan serat lurus. (Hoseini, 2022) juga melaporkan bahwa serat bergelombang mampu meningkatkan ketangguhan retak (*fracture toughness*) serta menunda propagasi retak, sementara (Wang et al., 2023) menemukan bahwa serat *hooked* dan *wavy* memberikan kinerja tarik dan lentur lebih tinggi dibanding serat lurus.

Literatur lain menegaskan bahwa kontribusi serat lebih dominan pada sifat tarik dan lentur dibandingkan pada kuat tekan. (Afroughsabet, Biolzi, & Ozbakkaloglu, 2016) menekankan bahwa pengaruh terbesar serat terlihat pada

perilaku pasca retak, sedangkan (Abdallah, 2018) menunjukkan bahwa serat *hooked end* mampu meningkatkan kuat lentur secara signifikan meskipun pengaruhnya pada kuat tekan terbatas. Ulasan terbaru (Zhao et al., 2023) memperkuat pandangan ini dengan menegaskan bahwa bentuk serat baja, khususnya tipe *hooked* dan *wavy*, memiliki dampak paling besar pada kuat tarik dan lentur, sementara efeknya terhadap kuat tekan relatif moderat.

Dengan demikian, penambahan serat kawat galvanis 1% dengan variasi bentuk BG2 terbukti paling efektif karena mampu mengoptimalkan *mechanical interlock*, meningkatkan ketahanan cabut, memperlambat propagasi retak, serta menghasilkan beton yang lebih daktil dengan kuat lentur sebesar 6,21 MPa yang melampaui batas empiris *ACI 318-19*.

Hasil pengujian kuat lentur beton serta kondisi benda uji setelah pengujian ditampilkan pada Gambar 5.24 hingga Gambar 5.26.



Gambar 5.24 Pengujian Kuat Lentur Pada Beton



Gambar 5. 25 Kondisi Benda Uji Sebelum Pengujian Kuat Lentur



Gambar 5.26 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Lentur

5.5 Perbandingan Kebutuhan dan Biaya Material antara Beton Normal dan Beton Berserat

Perbandingan kebutuhan dan biaya material menunjukkan bahwa beton normal hanya memerlukan semen, agregat halus, agregat kasar, dan air sehingga biayanya lebih rendah. Beton berserat membutuhkan tambahan serat kawat galvanis 1% dari berat volume beton, sehingga kebutuhan material dan biaya per m³ meningkat, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.23

Tabel 5.23 Rekapitulasi Kebutuhan dan Biaya Material

TANPA SERAT							
No	Jenis Material	Satuan	Volume (kg / liter)	Kebutuhan (kg / liter)	Harga Satuan (Rp)	Harga Satuan (Rp/kg)	Jumlah Harga (Rp)
1	Semen Portland (PCC)	zak (40)	40	512.5	55,000	1375	704,688
2	Pasir Halus	m ³	2732.24	932.14	250,000	91.5	85,291
3	Kerikil / Split 1–2 cm	m ³	2617.8	1274.11	300,000	114.6	146,013
4	Air Bersih	liter	1	256.25	0	0	0
TOTAL							935,991
DENGAN SERAT							
No	Jenis Material	Satuan	Volume (kg / liter)	Kebutuhan (kg / liter)	Harga Satuan (Rp)	Harga Satuan (Rp/kg)	Jumlah Harga (Rp)
1	Semen Portland (PCC)	zak (40)	40	512.5	55,000	1375	704,688
2	Pasir Halus	m ³	2732.24	920.44	250,000	91.5	84,220
3	Kerikil / Split 1–2 cm	m ³	2617.8	1259.48	300,000	114.6	144,336
4	Air Bersih	liter	1	256.25	0	0	0
5	Serat Kawat Galvanis 1 %	kg	78.5	78.5	5,000	5,000	392,500
TOTAL							1,325,745
Selisih Biaya (Tambahan Serat Kawat Galvanis)							389,754

Dari Tabel 5.23 terlihat bahwa beton normal membutuhkan biaya material sebesar Rp935.991, sedangkan beton berserat meningkat menjadi Rp1.325.745. Penambahan serat kawat galvanis menambah biaya sebesar Rp389.754 atau sekitar 41,64 % lebih tinggi dibandingkan beton normal. Namun, kenaikan biaya ini sebanding dengan peningkatan sifat mekanis, yaitu kuat tekan naik sebesar 16,79%, kuat tarik belah meningkat 27,64%, dan kuat lentur melonjak hingga 79,83%. Dengan demikian, meskipun lebih mahal, beton berserat tetap lebih unggul dari segi kinerja struktural.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis Pengaruh Bentuk Kawat Baja Galvanis terhadap Sifat Mekanis Beton

Pengaruh bentuk serat kawat baja galvanis terhadap peningkatan sifat mekanis beton terjadi melalui interaksi mikrostruktur antara serat dan matriks semen. Serat bekerja sebagai *crack arrester* dan *crack bridging* yang efektivitasnya bergantung pada kekuatan ikatan mekanis dan gesekan antarpermukaan. Pada serat lurus (BL1), peningkatan kekuatan terbatas karena lekatan hanya mengandalkan adhesi dan friksi sederhana. Serat lurus berkait (BL2) memperbaiki hal ini dengan menambah efek jangkar (*anchorage effect*) yang meningkatkan transfer tegangan dan menunda terjadinya retak. Serat bergelombang (BG1) memperluas area kontak serta menambah friksi, menghasilkan distribusi tegangan lebih merata dan ketahanan terhadap retak yang lebih baik. Kombinasi bentuk bergelombang berkait (BG2) memberikan performa paling optimal karena memadukan efek gesekan, adhesi, dan jangkar mekanis yang kuat, menciptakan *mechanical interlock* dengan *bond stress* tinggi. Hal ini membuat BG2 paling efektif dalam meningkatkan kuat tekan, tarik, dan lentur, sekaligus meningkatkan daktilitas serta ketahanan pasca retak beton.

2. Identifikasi Bentuk Serat Kawat Paling Optimal

Berdasarkan hasil pengujian, bentuk serat kawat baja galvanis paling optimal adalah variasi BG2, yakni serat bergelombang dengan kait 90°. Bentuk ini menghasilkan peningkatan tertinggi pada seluruh sifat mekanis beton, dengan kuat tekan 30,51 MPa, kuat tarik belah 3,33 MPa, dan kuat lentur 6,21 MPa.

Kombinasi gelombang dan kait pada BG2 menciptakan ikatan mekanis yang kuat dengan pasta semen, meningkatkan tahanan cabut serta kemampuan serat menjembatani retakan. Konfigurasi tersebut menjadikan BG2 paling efektif dalam memperbaiki kekuatan dan daktilitas beton dibanding variasi lainnya. Namun, peningkatan performa ini disertai konsekuensi biaya, di mana penggunaan BG2 menambah biaya material sekitar Rp 389.754 per m³ atau 41,64% dibanding beton normal, sehingga terdapat kompromi antara peningkatan kekuatan dan efisiensi ekonomi.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang bisa disampaikan agar penelitian kedepannya bisa dilakukan dengan lebih baik. Adapun saran sebagai berikut:

1. Untuk menjaga *workability* beton berserat dan mendapatkan hasil optimal, disarankan memakai *superplasticizer* serta memastikan pencampuran dan pemadatan merata.
2. Penelitian lanjutan disarankan memvariasikan parameter, seperti dosis serat (0,5%, 1,5%) dan rasio aspek (panjang/diameter), untuk menemukan kombinasi geometri serat yang paling optimal.
3. Penggunaan sistem serat hibrida (*Hybrid Fiber Reinforced Concrete*) dapat menjadi arah penelitian yang potensial. Kombinasi serat baja makro dan serat mikro sintetis (misalnya polipropilena) berpeluang menghasilkan beton komposit dengan kinerja lebih unggul, di mana serat makro mengendalikan retak besar dan serat mikro menahan retak awal.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih sistematis terkait pemanfaatan serat baja dari sumber daur ulang, seperti *Recycled Tire Steel Fibers* (RTSF) dari ban bekas.
5. Analisis durabilitas jangka panjang serta biaya siklus hidup (*Life-Cycle Cost Analysis/LCCA*) penting dilakukan untuk mengevaluasi manfaat ekonomi penggunaan serat galvanis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, S. (2018). Effect of hooked-end steel fibers on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 187, 730–742.
- Achmad, K. (2018). Kekuatan beton serat kawat galvanis. *Jurnal Teknologi Terpadu (JTT)*, 6(2), 96–104.
- ACI Committee. (1985). *Cement and concrete terminology*. American Concrete Institute.
- ACI Committee. (2008). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary (ACI 318R-19)*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 544. (1993). Guide for specifying, mixing, placing and finishing steel fibre reinforced concrete (ACI 544.3R-93). *ACI Materials Journal*, 90(1), 94–101.
- ACI Committee 544. (1996). *State-of-the-art report on fiber reinforced concrete (ACI 544.1R-96, reapproved 2009)*. American Concrete Institute.
- Affandi, S., Mahardana, Z. B., Affandi, H. A., Sahdana, O. L., Dewi, P. C., Astifah, Y., & Mawardianingrum, S. (2023). Meningkatkan kualitas kuat tekan beton menggunakan bahan modifikasi serat baja. *Jurnal Tekno Global*, 12(2), 95–100.
- Afroughsabet, V., Biolzi, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). High-performance fiber-reinforced concrete: A review. *Journal of Materials Science*, 51(17), 6517–6551.
- Ahmad, H., Hashim, M., & Fozzi, N. (2022). A BRIEF REVIEW OF STEEL FIBER SELF-COMPACTING CONCRETE IN RIBBED SLAB. *ASEAN Engineering Journal*.
- American Concrete Institute. (2019). *318-19: Building code requirements for structural concrete and commentary*. American Concrete Institute.
- Anggraeni, S. D., Noorhidana, V. A., Irianti, L., & Isneini, M. (2022). Analisis perbandingan pengaruh campuran kawat bendrat dan serat baja pada self compacting concrete (SCC). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(2), 485061.

- As'ad, S. (2008). Teknologi beton serat. Dalam *Potret Hasil Karya Iptek, 32 Tahun UNS Mengabdi Bangsa*. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Azis, A., Parung, H., & Irmawaty, R. (2016). Studi tarik belah beton dengan penambahan dramix steel fiber. *Naskah Publikasi*, 1–11. Universitas Hasanuddin.
- Bagus, K., Purwanto, E., & Bayzoni, B. (2018). Pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap kapasitas kuat tekan dan kuat lentur. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 6(2), 199–208.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *Metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (SNI 1968:1990)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan nomor 200 (0,0075 mm) (SNI 4142:1996)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1997). *Metode pengujian kuat lentur normal dengan dua titik pembebanan (SNI 03-4431-1997)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 2834:2000)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland (SNI 2049:2004)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus (SNI 1970:2008)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011a). *Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium (SNI 2493:2011)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011b). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 1974:2011)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011c). *SNI 4431:2011 – Tata cara pengujian kuat lentur beton dengan dua titik pembebanan*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder (SNI 2491:2014)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SNI 1969:2016)*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019)*. BSN.
- Hussain, M., & Arfath, S. (2015). TECHNOLOGY A STUDY ON STRENGTH OF CONCRETE BY PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH FLY ASH IN ADDITION WITH STEEL FIBER AND COCONUT FIBER.
- Hoang, A., & Fehling, E. (2017). Influence of steel fiber content and aspect ratio on the uniaxial tensile and compressive behavior of ultra high performance concrete. *Consktruction and Building Materials*, 153, 790-806.

- Hoseini, S., Sohrabi, M., Mousavi, S., & Ghasemi, M. (2022). Effects of Coarse Aggregate and Wavy Steel Fiber Volumes on the Critical Stress Intensity Factors of Modes I and III Cracks in Self-Compacting Concrete Using ENDB Specimens. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*.
- Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., & Bier, T. (2015). Mechanical properties of steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC). *Construction and Building Materials*, 98, 325-333.
- Jang, S., & Yun, H. (2018). Combined effects of steel fiber and coarse aggregate size on the compressive and flexural toughness of high-strength concrete. *Composite Structures*, 185, 203-211.
- Kurniawan, D. (2021). Analisis beton serat dengan kawat bendrat dan substitusi agregat kasar dengan limbah plastik. *Ensiklopedia of Journal*, 3(2), 1–9.
- Kumar, S., & Asgar, A. (2020). Spontaneous Resolution of Sub-Acute Subdural Haematoma. , 3.
- Larsen, I., & Thorstensen, R. (2020). The influence of steel fibres on compressive and tensile strength of ultra high performance concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 256, 119459.
- Li, H., Li, X., Fu, J., Zhu, N., Chen, D., Wang, Y., & Ding, S. (2023). Experimental study on compressive behavior and failure characteristics of imitation steel fiber concrete under uniaxial load. *Construction and Building Materials*, 391, 131932.
- Liu, G., Bai, Z., Liu, W., & He, Y. (2024). Research on compression failure characteristics and damage constitutive model of steel fiber-reinforced concrete with 2% copper-coated fibers under impact load. *Materials*, 17(2), 456.
- Megasari, S. W., Yanti, G., & Zainuri, Z. (2016). Karakteristik beton dengan penambahan limbah serat nylon dan polimer concrete. *Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 2(1), 24–33.
- Neville, A. M. (1999). *Properties of concrete* (4th ed.). Pearson Education Limited.
- Paganggi, W. R., Makmur, A., & Rachmansyah, R. (2021). Pengaruh penambahan serat polypropylene terhadap kuat tekan dan nilai permeabilitas pada beton berpori. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 135–142.
- Pitaloka, O. S. (2020). Pengaruh penambahan limbah serat baja terhadap kekuatan dan modulus elastisitas beton. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 5(2), 32–39.
- Puwanto, E. (2011). Pengaruh prosentase penambahan serat terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung*, 15(2), 139–161.

- Putra, A. M., Noorhidana, V. A., & Isneini, M. (2023). Pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang pada beton mutu normal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(2), 367–384.
- Song, P., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18, 669-673.
- Saifudin, A. (2015). *Pengaruh dosis, aspek rasio, dan distribusi serat terhadap kuat lentur dan kuat tarik belah beton berserat baja* (Tesis, Universitas Diponegoro).
- Salman, B., & Hassan, R. (2023). Comparison between the effects of straight and hook steel fibers on fresh and hardened characteristics of concrete. *E3S Web of Conferences*, 388, 02011.
- Soesyono, B. S., & Basuki, S. T. (2014). *Tinjauan kuat lentur pelat beton bertulang baja dengan penambahan kawat yang dipasang menyilang* (Disertasi Doktor, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Soroushian, P., & Bayasi, Z. (1987). *Concept of fiber reinforced concrete*. Michigan State University Report.
- Suhendro, B. (1991). Pengaruh fiber kawat pada sifat-sifat beton. Dalam *Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Aspek*. Universitas Gadjah Mada.
- Suhendro, B. (2000). *Beton fiber: Konsep, aplikasi, dan permasalahannya*. Universitas Gadjah Mada.
- Sulthan, F. (2019). Pengaruh tipe bentuk serat baja terhadap sifat fisik dan mekanik beton berserat baja memadat sendiri. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 8(1), 29–35.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi beton*. Nafiri.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Wang, X., Xu, B., Luan, K., Mu, R., & Chen, J. (2023). Optimization of the shape of hooked-end steel fiber based on pulling out and reinforcing cementitious composites. *Materials*, 17(3), 678.
- Zhao, C., Wang, Z., Zhu, Z., Guo, Q., Wu, X., & Zhao, R. (2023). Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview. *Construction and Building Materials*, 389, 131584.
- Xu, R., Li, J., Li, W., & Zhang, W. (2024). Experimental and Numerical Study of Bonding Capacity of Interface between Ultra-High Performance Concrete and Steel Tube. *Structural Durability & Health Monitoring*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uui.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2760531385/Perpus./10/Dir.Perpus/VII/2025

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Hadiqroa Putra Mokoginta
Nomor Mahasiswa : 19511273
Pembimbing : Elvis Saputra, S.T., M. T
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah : PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KAWAT BAJA GALVANIS
DENGAN BERBAGAI VARIASI BENTUK TERHADAP SIFAT
MEKANIS BETON

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **20 (Dua Puluh) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 9/24/2025

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

Gambar L-1.1 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi

Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 029/Ka.Lab/60/LBKT/IX/2025

Bismillahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

NIK : 165111301

Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : **Hadiqroa Putra Mokoginta**

N I M : 19511273

Program Studi : S1 Teknik Sipil

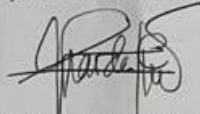
Dosen Pembimbing TA : Elvis Saputra, S. T., M. T.

Instansi : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"Pengaruh Bentuk Serat Kawat Baja Galvanis Terhadap Sifat Mekanis Beton"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya".

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Diperiksa oleh :
Kepala Laboratorium BKT,



Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 09 September 2025

Di data oleh :
PLP/Teknisi



Daru Salam, A.Md.

Gambar L-2.1 Surat Bebas Tanggungan Laboratorium

Lampiran 3 Rekapitulasi Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

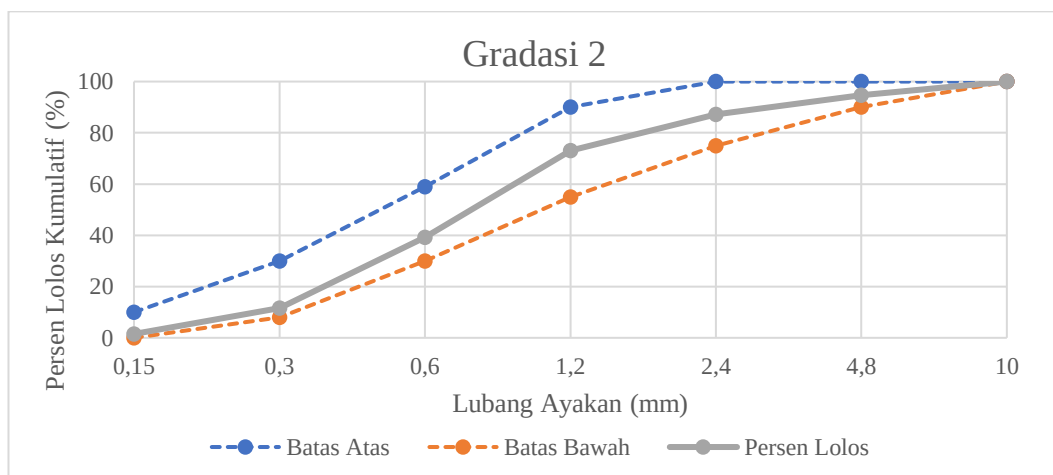
Tabel L-3.1 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

PROGO			
Agregat Halus			
Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	482	485	484
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	961	965	963
Berat piknometer berisi air, gram (B)	647	648	648
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.591	2.650	2.621
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2.688	2.732	2.710
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.869	2.887	2.878
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3.7344%	3.0928%	3.41 %

Tabel L-3.2 Pemeriksaan Gradasi Saringan Serta Nilai Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel 1

Asal Pasir		Progo		
Keperluan		Tugas Akhir S1		
Jumlah Sampel		2		
Sampel		1		
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	105	5.27	5.27	94.73
2,40	151	7.57	12.84	87.16
1,20	281	14.09	26.93	73.07
0,60	675	33.85	60.78	39.22
0,30	551	27.63	88.42	11.58
0,15	201	10.08	98.50	1.50
Sisa	30	1.505	100.000	0
Jumlah	1994	100	292.728	307.272
			MHB =	2.927

MHB =2.927
Gradasi =II (Agak Kasar)

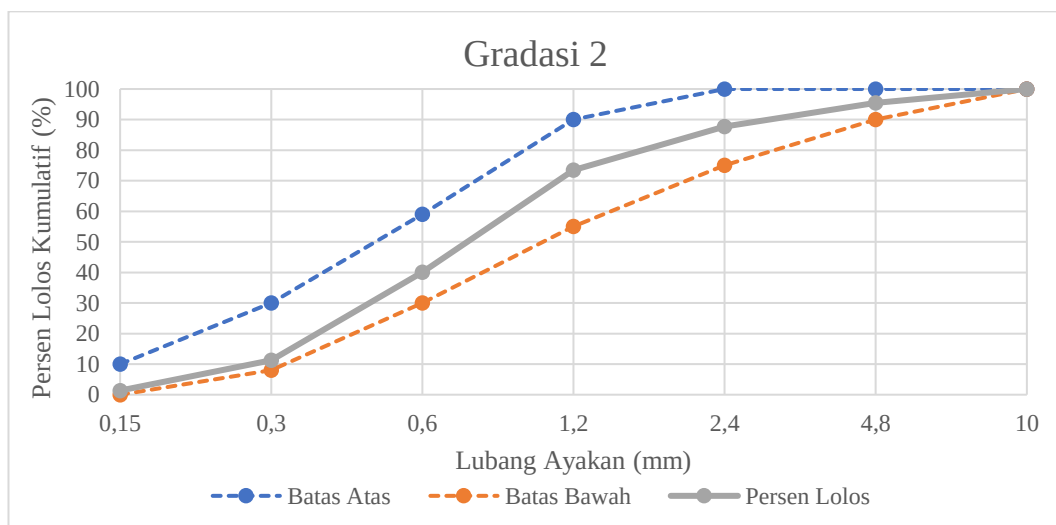


Gambar L-3.1 Grafik Gradasi 2 Sampel 1

Tabel L-3.3 Pemeriksaan Gradasi Saringan Serta Nilai Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel 2

Asal Pasir	Progo			
Keperluan	Tugas Akhir S1			
Jumlah Sampel	2			
Sampel	2			
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	91	4.55	4.55	95.45
2,40	155	7.74	12.29	87.71
1,20	286	14.29	26.57	73.43
0,60	669	33.42	59.99	40.01
0,30	575	28.72	88.71	11.29
0,15	199	9.94	98.65	1.35
Sisa	27	1.349	100.000	0
Jumlah	2002	100	290.759	309.241
			MHB =	2.908

MHB =2.908
Gradasi =II (Agak Kasar)



Gambar L-3.2 Grafik Gradasi 2 Sampel 2

Tabel L-3.4 Pemeriksaan Berat Isi Gembur Dan Padat Agregat Halus

Berat Volume Gembur Agregat Halus			
Uraian	Hasil Pengamatan		Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	10547	10982	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18577	19605	gram
Berat Agregat (W3)	8030	8623	gram
Diameter Tabung (d)	15.20	15.20	cm
Tinggi Tabung (t)	30.1	30.1	cm
Volume Tabung (V)	5462	5462	cm ³
Berat Volume Gembur	1.470	1.579	gram/cm ³

Tabel L-3.5 Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Halus

Berat Volume Padat Agregat Halus			
Uraian	Hasil Pengamatan		Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	10787	10787	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19389	20120	gram
Berat Agregat (W3)	8602	9333	gram
Diameter Tabung (d)	14.83	15.10	cm
Tinggi Tabung (t)	30.6	30.38	cm
Volume Tabung (V)	5286	5440	cm ³
Berat Volume Padat	1.627	1.715	gram/cm ³

Tabel L-3.6 Pemeriksaan Butiran Halus Yang Lolos Saringan No.200

PROGO		
Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	480	481
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 ($\frac{W1-W2}{W1}$)	4.00	3.80
Rata-Rata Persentase Lolos Saringan No.200	3.90	

Lampiran 4 Rekapitulasi Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

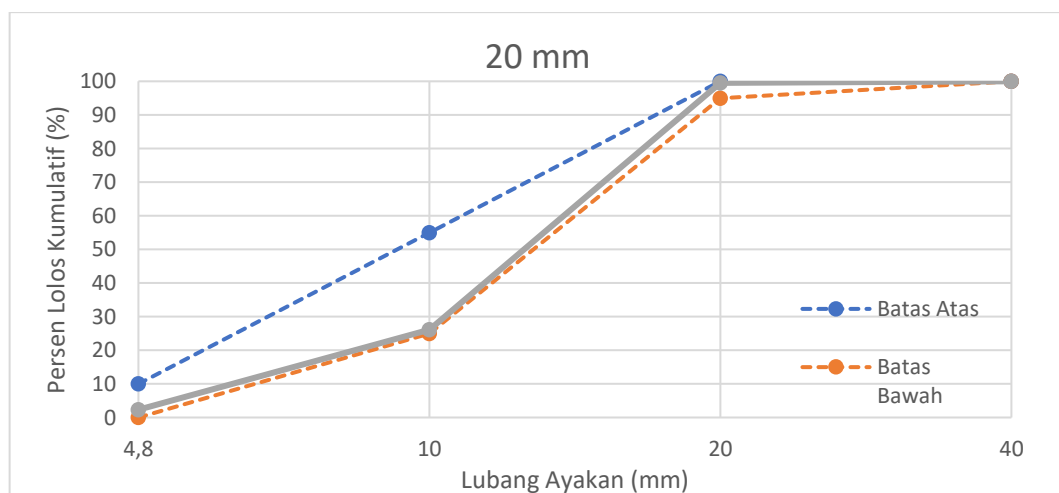
Tabel L-4.1 Pemeriksaan Gradasi Saringan Serta Nilai Modulus Halus Butir Agregat Kasar

PROGO			
Agregat Kasar			
Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk), gram	4812	4820	4816
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3070	3090	3080
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.493	2.524	2.508
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.591	2.618	2.604
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.762	2.786	2.774
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3.91%	3.73%	3.82%

Tabel L-4.2 Pemeriksaan Gradasi Saringan Dan Modulus Kehalusan Butir Pada Agregat Kasar Sampel 1

Asal Pasir		Progo		
Keperluan		Tugas Akhir S1		
Jumlah Sampel		2		
Sampel		1		
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.00	0.00	100.00
20,00	25	0.50	0.50	99.50
10,00	3670	73.40	73.90	26.10
4,80	1189	23.78	97.68	2.32
2,40	55	1.10	98.78	1.22
1,20	61	1.22	100.00	0.00
0,60	0	0.00	100.00	0.00
0,30	0	0.00	100.00	0.00
0,15	0	0.00	100.00	0.00
Sisa	0	0.00	100.00	0.00
Jumlah	5000	100	670.86	229.14
			MHB =	6.7086

MHB = 6.7086
Gradasi = 20 mm



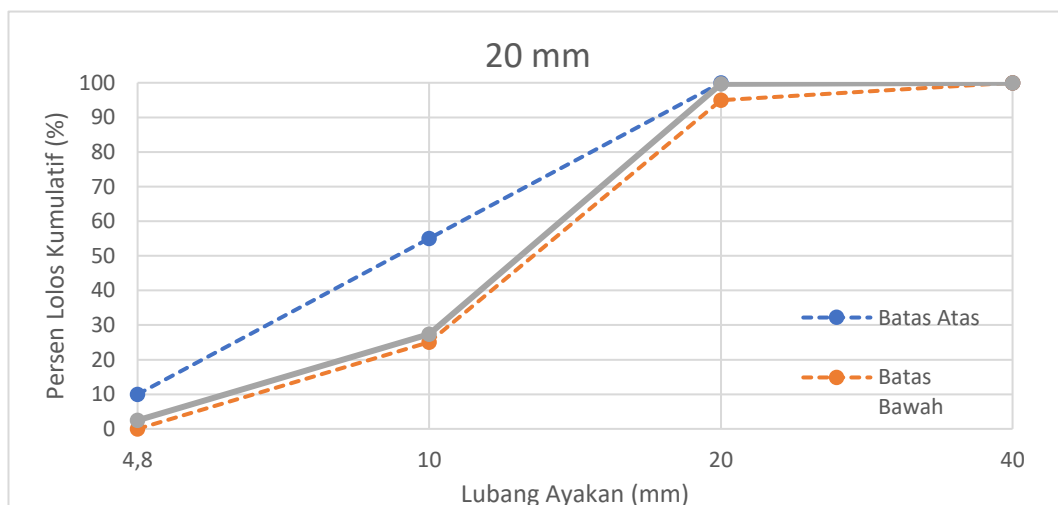
Gambar L-4.1 Grafik Gradasi 2 Sampel 1

**Tabel L-4.3 Pemeriksaan Gradasi Saringan Dan Modulus Kehalusan Butir
Pada Agregat Kasar Sampel 2**

Asal Pasir		Progo		
Keperluan		Tugas Akhir S1		
Jumlah Sampel		2		
Sampel		2		
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.00	0.00	100.00
20,00	15	0.30	0.30	99.70
10,00	3618	72.35	72.65	27.35
4,80	1244	24.88	97.52	2.48
2,40	63	1.26	98.78	1.22
1,20	0	0.00	98.78	1.22
0,60	0	0.00	98.78	1.22
0,30	0	0.00	98.78	1.22
0,15	0	0.00	98.78	1.22
Sisa	61	1.22	100.00	0.00
Jumlah	5001	100	664.36713	235.63
			MHB =	6.6436713

MHB = 6.7086

Gradasi = 20 mm



Gambar L-4.2 Grafik Gradasi 2 Sampel 1

Tabel L-4.4 Pemeriksaan Berat Isi Gembur Dan Padat Agregat Kasar

Berat Volume Gembur Agregat Kasar			
Uraian	Hasil Pengamatan		Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	11004	10684	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17958	17612	gram
Berat Agregat (W3)	6954	6928	gram
Diameter Tabung (d)	15.20	15.20	cm
Tinggi Tabung (t)	30.10	30.10	cm
Volume Tabung (V)	5462	5462	cm ³
Berat Volume Gembur	1.273	1.268	gram/cm ₃

Tabel L-4.5 Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Kasar

Berat Volume Padat Agregat Kasar			
Uraian	Hasil Pengamatan		Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	11004	10684	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18797	18423	gram
Berat Agregat (W3)	7793	7739	gram
Diameter Tabung (d)	15.03	15.30	cm
Tinggi Tabung (t)	30.4	30.4	cm
Volume Tabung (V)	5394	5589	cm ³
Berat Volume Padat	1.445	1.385	gram/cm ₃

Lampiran 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Tekan Beton

Tabel L-5.1 Beton Normal

UJI DESAK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	16/7/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BN
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Diameter	14.94	14.96	14.92	cm
Tinggi	33.15	30.25	35.70	cm
Berat	12.433	12.532	12.71	kg
Luas permukaan	175.30	175.77	174.83	cm ²
	17530.37	17577.34	17483.47	mm ²
Berat Volume	2.14	2.36	2.04	gr/cm ³
	2139.45	2356.90	2036.02	kg/m ³
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Beban Maksimum	451.17	485.53	437.27	KN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	25.74	27.62	25.01	Mpa
Rata-rata	26.12			Mpa

FORMULAR BENDA UJI

1. KUAT TEKAN

Model benda uji	BN			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.94	14.96	14.92	cm
Tinggi	33.155	30.25	37.7	cm
Berat	12.433	12.532	12.708	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	451.17	485.53	437.27	MPa

Gambar L-5.1 Hasil Kuat Tekan Sementara

Tabel L-5.2 Variasi Beton Berserat Lurus

UJI DESAK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	17/07/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BL 1
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Diameter	14.83	14.9	14.8	cm
Tinggi	30.35	32.00	33	cm
Berat	12.50	12.58	12.60	kg
Luas permukaan	172.73	174.37	172.03	cm ²
	17273.18	17436.62	17203.36	mm ²
Berat Volume	2.38	2.25	2.22	gr/cm ³
	2384.78	2254.77	2218.73	kg/m ³
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Beban Maksimum	479.71	467.99	548.5	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	27.77	26.84	31.88	Mpa
Rata-rata	28.83			Mpa

FORMULAR BENDA UJI

1. KUAT TEKAN

Model benda uji	BL1			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f'c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.83	14.9	14.80	cm
Tinggi	30.35	32	33	cm
Berat	12502	12501	12596	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	479.71	467.99	548.49	MPa

Gambar L-5.2 Hasil Kuat Tekan Sementara

Tabel L-5.3 Variasi Beton Berserat Bergelombang

UJI DESAK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	21/07/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BG 1
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Diameter	14.95	14.93	14.9	cm
Tinggi	30.80	29.00	31.5	cm
Berat	12.32	12.33	12.34	kg
Luas permukaan	175.54	175.07	174.37	cm ²
	17553.85	17506.91	17436.62	mm ²
Berat Volume	2.28	2.43	2.25	gr/cm ³
	2279.26	2428.20	2245.96	kg/m ³
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Beban Maksimum	517.56	554.93	451.77	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	29.48	31.70	25.91	Mpa
Rata-rata	29.03			Mpa

FORMULAR BENDA UJI

1. KUAT TEKAN

Model benda uji	861			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.95	14.93	14.90	cm
Tinggi	30.8	29	31.5	cm
Berat	12.323	12.328	12.336	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	517.56	554.93	451.77	MPa

Gambar L-5.3 Hasil Kuat Tekan Sementara

Tabel L-5.4 Variasi Beton Berserat Lurus 90°

UJI DESAK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	18/07/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BL 2
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Diameter	14.95	14.97	14.93	cm
Tinggi	33.40	31.10	34	cm
Berat	12.99	12.87	12.81	kg
Luas permukaan	175.54	176.01	175.07	cm ²
	17553.85	17600.84	17506.91	mm ²
Berat Volume	2.22	2.35	2.15	gr/cm ³
	2215.42	2350.26	2151.76	kg/m ³
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Beban Maksimum	511.41	463.2	581.9	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	29.13	26.32	33.24	Mpa
Rata-rata	29.56			Mpa

FORMULAR BENDA UJI

1. KUAT TEKAN

Model benda uji	BL2			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.93	14.97	14.93	cm
Tinggi	33.4	31.1	34	cm
Berat	12068	12745	12008	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	511.41	463.21	581.86	MPa

Gambar L-5.4 Hasil Kuat Tekan Sementara

Tabel L-5.5 Variasi Beton Berserat Bergelombang 90°

UJI DESAK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	22/07/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BG 2
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Diameter	14.89	14.93	14.89	cm
Tinggi	32.50	31	37.00	cm
Berat	12.78	12.70	12.90	kg
Luas permukaan	174.13	175.07	174.13	cm ²
	17413.23	17506.91	17413.23	mm ²
Berat Volume	2.26	2.34	2.00	gr/cm ³
	2257.70	2340.09	2002.67	kg/m ³
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TK-01	TK-02	TK-03	
Beban Maksimum	451.17	625.4	520.62	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	25.91	35.72	29.90	Mpa
Rata-rata	30.51			Mpa

FORMULAR BENDA UJI

1. KUAT TEKAN

Model benda uji	Bg2			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, $f_c =$	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.89	14.93	14.89	cm
Tinggi	32.5	31	37	cm
Berat	12.777	12.700	12.903	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	451.17	625.38	520.62	MPa

Gambar L-5.5 Hasil Kuat Tekan Sementara

Lampiran 6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Tarik Beton

Tabel L-6.1 Beton Normal

UJI TARIK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA		Tanggal Uji :	16/7/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BN
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Diameter	14.9	15	15.2	cm
Tinggi	30.300	30.50	30.70	cm
Berat	12.455	12.485	12.491	kg
Luas permukaan	1418.33	1437.28	1465.99	cm ²
	141833.48	143727.86	146599.28	mm ²
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Beban Maksimum	189.0	177.0	198.0	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	2.67	2.46	2.70	Mpa
Rata-rata	2.61			Mpa

2. KUAT TARIK BELAH

Model benda uji	BN			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f'c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.9	15	15.2	cm
Tinggi	30.3	30.3	30.4	cm
Berat	12455	12485	12491	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	189	177	198	MPa

Gambar L-6.1 Hasil Kuat Tarik Sementara

Tabel L-6.2 Variasi Beton Berserat Lurus

UJI TARIK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA		Tanggal Uji :	17/7/2022
f'_c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BL 1
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Diameter	14.8	14.85	14.9	cm
Tinggi	30.70	30.30	30.50	cm
Berat	12.66	12.99	12.925	kg
Luas permukaan	1427.41	1413.58	1427.70	cm ²
	142741.40	141357.53	142769.68	mm ²
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Beban Maksimum	215	230	225	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	3.01	3.25	3.15	Mpa
Rata-rata	3.14			Mpa

2. KUAT TARIK BELAH

Model benda uji	BL1			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.8	14.85	14.90	cm
Tinggi	30.7	30.3	30.5	cm
Berat	12955	12985	12900	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	189-215	205-230	195-225	MPa

Gambar L-6.2 Hasil Kuat Tarik Sementara

Tabel L-6.3 Variasi Beton Berserat Bergelombang

UJI TARIK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA		Tanggal Uji :	21/7/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BG 1
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Diameter	15.1	15.5	14.95	cm
Tinggi	30.80	28.70	30.60	cm
Berat	12.66	12.99	12.925	kg
Luas permukaan	1461.09	1397.54	1437.18	cm ²
	146109.19	139753.75	143718.44	mm ²
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Beban Maksimum	225.0	228.0	225.0	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	3.08	3.26	3.13	Mpa
Rata-rata	3.16			Mpa

2. KUAT TARIK BELAH

Model benda uji	Btu			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	15.1	15.5	14.95	cm
Tinggi	30.8	28.7	30.6	cm
Berat	12196	12220	12232	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	192.225	190.220	192.225	MPa

Gambar L-6.3 Hasil Kuat Tarik Sementara

Tabel L-6.4 Variasi Beton Berserat Lurus 90°

UJI TARIK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA		Tanggal Uji :	18/7/2025
f'c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BL 2
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Diameter	15.5	15.12	15.1	cm
Tinggi	30.1	30.70	30.30	cm
Berat	12.625	12.99	12.925	kg
Luas permukaan	1465.71	1458.28	1437.37	cm ²
	146571.01	145827.70	143737.29	mm ²
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Beban Maksimum	235	237	231	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	3.21	3.25	3.21	Mpa
Rata-rata	3.22			Mpa

2. KUAT TARIK BELAH				
Model benda uji	BL2			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f'c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	15.5	15	15.1	cm
Tinggi	30.1	30.7	30.3	cm
Berat	12625	12728	12726	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	201-235	 -237 195	200-231	MPa

Gambar L-6.4 Hasil Kuat Tarik Sementara

Tabel L-6.5 Variasi Beton Berserat Bergelombang 90°

UJI TARIK SILINDER BETON				
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA		Tanggal Uji :	22/7/2025
f _c rencana :	25	Mpa	Variasi :	BG 2
Dimensi Benda Uji Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Diameter	14.74	14.9	14.91	cm
Tinggi	30.30	30.30	30.40	cm
Berat	12.66	12.99	12.925	kg
Luas permukaan	1403.10	1418.33	1423.97	cm ²
	140310.44	141833.48	142397.09	mm ²
Hasil Uji Desak Silinder				
Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	TB-01	TB-02	TB-03	
Beban Maksimum	238.0	239.0	230.0	kN
Lama Pengujian				detik
Kuat Desak	3.39	3.37	3.23	Mpa
Rata-rata	3.33			Mpa

2. KUAT TARIK BELAH				
Model benda uji	Bg 2			
Benda uji	Silinder			
Mutu beton rencana, f _c =	25	Mpa		
Umur Beton	28	Hari		
Dimensi Benda Uji :				
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Diameter	14.79	14.90	14.91	cm
Tinggi	31.3	30.3	30.1	cm
Berat	12.673	12.633	12.611	Kg
Lama Pengujian				detik
Beban Maksimum	190.238	190.239	189.230	MPa

Gambar L-6.5 Hasil Kuat Tarik Sementara

Lampiran 7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sementara Kuat Lentur Beton

Tabel L-7.1 Beton Normal

UJI KUAT LENTUR BETON			
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA	Tanggal Uji :	11/8/2025
f'c rencana :	25 Mpa	Variasi :	BN
Dimensi Benda Uji Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Lebar Benda Uji	152.2	153.6	mm
Tinggi Benda Uji	155	150	mm
Panjang Benda Uji	600	600	mm
Berat Benda Uji	32	32	kg
Berat Volume	2261	2315	kg/m ³
Panjang Bentang	450	450	mm
Jarak P1 ke tumpuan 1	150	150	mm
Jarak P2 ke tumpuan 2	150	150	mm
Jarak P1-P2	150	150	mm
Hasil Uji Kuat Lentur Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Beban retak pertama	0	0	kgf
Beban Maksimum	2830	2735	kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan	22	20.8	mm
Lebar Tampang Patah (b)	151.25	152.5166667	mm
Tinggi Tampang Patah (h)	153.5666667	152.4	mm
Kuat Lentur	3.4166	3.4935	Mpa
Rata-rata	3.41		Mpa

BN

Uji Lentur Balok Beton

umur	28 hari			
Mutu beton rencana, $f_c =$	25 Mpa			
model benda uji	BN			
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Lebar Benda Uji	152.2	153.6		mm
Tinggi Benda Uji	155	170		mm
Panjang Benda Uji	600	600		mm
Berat Benda Uji	32	32		kg
Berat Volume				kg/m ³
Panjang Bentang				mm
Jarak Beban ke Tumpuan Beban Maksimum				mm
Beban Maksimum	2830	2735		kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan				mm
Lebar Tampang Patah (b)				mm
Tinggi Tampang Patah (h)				mm
Kuat Lentur				Mpa

<p>Datar L</p> <p>1) 151.5</p> <p>150.75</p> <p>151.6</p>	<p>T</p> <p>155.2</p> <p>154</p> <p>151</p>	<p>L</p> <p>2) 153</p> <p>152.7</p> <p>153</p>	<p>T</p> <p>150.25</p> <p>150.5</p> <p>149.9</p>
<p>Jarak</p> <p>31</p> <p>29</p> <p>28.3</p>	<p>Patah</p> <p>27.5</p> <p>26.5</p> <p>27</p>	<p>Jarak</p> <p>28</p> <p>27</p> <p>26</p>	<p>Patah</p> <p>27</p> <p>27.3</p> <p>27.2</p>
<p>Berat</p> <p>14877</p> <p>16832</p>		<p>Berat</p> <p>14266</p> <p>17272</p>	

Gambar L-7.1 Hasil Kuat Lentur Sementara

Tabel L-7.2 Variasi Beton Berserat Lurus

UJI KUAT LENTUR BETON			
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA	Tanggal Uji :	11/8/2025
f'c rencana :	25 Mpa	Variasi :	BL1
Dimensi Benda Uji Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Lebar Benda Uji	153	152	mm
Tinggi Benda Uji	153	153	mm
Panjang Benda Uji	600	598	mm
Berat Benda Uji	33.3	32.4	kg
Berat Volume	2371	2330	kg/m ³
Panjang Bentang	450	450	mm
Jarak P1 ke tumpuan 1	150	150	mm
Jarak P2 ke tumpuan 2	150	150	mm
Jarak P1-P2	150	150	mm
Hasil Uji Kuat Lentur Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Beban retak pertama	0	0	kgf
Beban Maksimum	3320	3220	kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan	62.7	19.8	mm
Lebar Tampang Patah (b)	153.3	152.6	mm
Tinggi Tampang Patah (h)	154.35	151.1	mm
Kuat Lentur	4.0921	3.9949	Mpa
Rata-rata	4.04		Mpa

BL1

Uji Lentur Balok Beton

umur	28 hari			
Mutu beton rencana, $f_c =$	25 Mpa			
model benda uji	BL1			
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Lebar Benda Uji	153	152		mm
Tinggi Benda Uji	153	153		mm
Panjang Benda Uji	600	598		mm
Berat Benda Uji	33.3	32.4		kg
Berat Volume				kg/m ³
Panjang Bentang				mm
Jarak Beban ke Tumpuan Beban Maksimum	3320	3220		mm
Beban Maksimum				kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan				mm
Lebar Tampang Patah (b)	153.3			mm
Tinggi Tampang Patah (h)	154.55			mm
Kuat Lentur				Mpa

1) Paban

30	26
30.2	29.5
28.5	26.5

2) Lebar Tinggi

152	159
153	150.5
152.6	148.0

Berat: 13620
18157

Jarak Paban

27.5	23.4
27.6	29.3
26.0	25.3

Gambar L-7.2 Hasil Kuat Lentur Sementara

Tabel L-7.3 Variasi Beton Berserat Bergelombang

UJI KUAT LENTUR BETON			
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA	Tanggal Uji :	11/8/2025
f'c rencana :	25 Mpa	Variasi :	BG1
Dimensi Benda Uji Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Lebar Benda Uji	151.1	152.66	mm
Tinggi Benda Uji	151	150	mm
Panjang Benda Uji	599	597	mm
Berat Benda Uji	32.8	32	kg
Berat Volume	2400	2341	kg/m ³
Panjang Bentang	450	450	mm
Jarak P1 ke tumpuan 1	150	150	mm
Jarak P2 ke tumpuan 2	150	150	mm
Jarak P1-P2	150	150	mm
Hasil Uji Kuat Lentur Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Beban retak pertama	0	0	kgf
Beban Maksimum	3285	3710	kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan	26.5	18.8	mm
Lebar Tampang Patah (b)	156.1	154.1	mm
Tinggi Tampang Patah (h)	154	150.7	mm
Kuat Lentur	4.2092	4.7681	Mpa
Rata-rata	4.49		Mpa

B61

Uji Lentur Balok Beton

umur	28 hari			
Mutu beton rencana, $f_c =$	25 Mpa			
model benda uji	B61			
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Lebar Benda Uji	131.1	152.66		mm
Tinggi Benda Uji	131	130		mm
Panjang Benda Uji	399	397		mm
Berat Benda Uji	32.0	32		kg
Berat Volume				kg/m ³
Panjang Bentang				mm
Jarak Beban ke Tumpuan Beban Maksimum				mm
Beban Maksimum	3205	3210		kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan				mm
Lebar Tampang Patah (b)	136.1			mm
Tinggi Tampang Patah (h)	154			mm
Kuat Lentur				Mpa

Patah
 1) 33.5 | 31.3
 36 | 31
 33.4 | 31.7
 Berat
 17076
 14826

2) lebar | Tinggi
 154 | 156.25
 154.1 | 151.1
 154.15 | 149.8
 Patah
 26 | 25.5
 26.5 | 27.3
 27.5 | 27.9

Gambar L-7.3 Hasil Kuat Lentur Sementara

Tabel L-7.4 Variasi Beton Berserat Lurus 90°

UJI KUAT LENTUR BETON			
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA	Tanggal Uji :	11/8/2025
f'c rencana :	25 Mpa	Variasi :	BL2
Dimensi Benda Uji Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Lebar Benda Uji	153.1	154.4	mm
Tinggi Benda Uji	151.6	150	mm
Panjang Benda Uji	600	600	mm
Berat Benda Uji	32.6	32.6	kg
Berat Volume	2341	2346	kg/m ³
Panjang Bentang	450	450	mm
Jarak P1 ke tumpuan 1	150	150	mm
Jarak P2 ke tumpuan 2	150	150	mm
Jarak P1-P2	150	150	mm
Hasil Uji Kuat Lentur Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Beban retak pertama	0	0	kgf
Beban Maksimum	4035	3705	kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan	18.0	22.3	mm
Lebar Tampang Patah (b)	154.3	154.5	mm
Tinggi Tampang Patah (h)	151.6	150.0	mm
Kuat Lentur	5.0623	4.7080	Mpa
Rata-rata	4.89		Mpa

BL2

Uji Lentur Balok Beton

umur	28 hari			
Mutu beton rencana, $f'_c =$	25 Mpa			
model benda uji	BL2			
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Lebar Benda Uji	133.1	134.4		mm
Tinggi Benda Uji	131.6	130		mm
Panjang Benda Uji	600	600		mm
Berat Benda Uji	32.6	32.6		kg
Berat Volume				kg/m ³
Panjang Bentang				mm
Jarak Beban ke Tumpuan Beban Maksimum				mm
Beban Maksimum	4035	3705		kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan				mm
Lebar Tampang Patah (b)				mm
Tinggi Tampang Patah (h)				mm
Kuat Lentur				Mpa

1) L T

132 131

133 131.3

132.6 130.0

Jarak Patah

27.5 28.4

27.6 29.3

26.0 25.3

Berat

13.620

13.157

2) Lebar Tinggi

133.1 130.4

134.4 130.6

134 130

Jarak Beban

30.6

29.5

29.4

Berat

13.620

13.157

Gambar L-7.4 Hasil Kuat Lentur Sementara

Tabel L-7.5 Variasi Beton Berserat Bergelombang 90°

UJI KUAT LENTUR BETON			
Pembuat :	HADIQROA PUTRA MOKOGINTA	Tanggal Uji :	11/8/2025
f'c rencana :	25 Mpa	Variasi :	BG2
Dimensi Benda Uji Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Lebar Benda Uji	154	153.55	mm
Tinggi Benda Uji	151	153	mm
Panjang Benda Uji	600	600	mm
Berat Benda Uji	32.7	32.6	kg
Berat Volume	2344	2313	kg/m ³
Panjang Bentang	450	450	mm
Jarak P1 ke tumpuan 1	150	150	mm
Jarak P2 ke tumpuan 2	150	150	mm
Jarak P1-P2	150	150	mm
Hasil Uji Kuat Lentur Balok			
Uraian	Hasil Pengamatan		
	KL-01	KL-02	Satuan
Beban retak pertama	0	0	kgf
Beban Maksimum	4868	5135	kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan	20.3	25.0	mm
Lebar Tampang Patah (b)	153.3	153.7	mm
Tinggi Tampang Patah (h)	150.75	153.6	mm
Kuat Lentur	6.1201	6.3065	Mpa
Rata-rata	6.21		Mpa

BL 2

Uji Lentur Balok Beton

umur	28 hari			
Mutu beton rencana, $f_c =$	25 Mpa			
model benda uji	BL 2			
Uraian	Silinder 1	Silinder 2	Silinder 3	Satuan
Lebar Benda Uji	154	153.55		mm
Tinggi Benda Uji	151	153		mm
Panjang Benda Uji	600	600		mm
Berat Benda Uji	32.7	32.6		kg
Berat Volume				kg/m ³
Panjang Bentang				mm
Jarak Beban ke Tumpuan Beban Maksimum				mm
Beban Maksimum	9869	5135		kgf
Jarak Bidang Patah ke Tumpuan				mm
Lebar Tampang Patah (b)	153.3	153.2		mm
Tinggi Tampang Patah (h)	130.75	153.55		mm
Kuat Lentur				Mpa

9869 5135

Pasaran
Pasaran (1) 9290 (2) 9320

Jarak Pasaran
(1) 27
23.5
29

(2) 30
33
34.4

Pasaran
(1) 15066
17219

(2) 18520
14509

Gambar L-7.5 Hasil Kuat Lentur Sementara

Lampiran 8 Dokumentasi Slump Test



Gambar L-8.1 Hasil Pengujian Slump Test



Gambar L-8.2 Hasil Pengujian Slump Test

Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-9.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-9.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Lampiran 10 Dokumentasi Pengujian Kuat Tarik



Gambar L-10.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik



Gambar L-10.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik

Lampiran 11 Dokumentasi Pengujian Kuat Lentur



Gambar L-11.1 Hasil Pengujian Kuat Lentur



Gambar L-11.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur



Gambar L-11.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur



Gambar L-11.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur