



LAPORAN TUGAS AKHIR

**PENGARUH PERBEDAAN PANJANG SERAT NILON
TERHADAP KUAT LENTUR BETON**

Oleh :

Andiena Puspita Rahmadanti (40030522650160)

Prilly Moressa Hapsari (40030522650008)

Diajukan sebagai
salah satu syarat dalam menyelesaikan Sarjana Terapan
Program Studi Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur
Universitas Diponegoro

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
TAHUN 2026**



LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGARUH PERBEDAAN PANJANG SERAT NILON TERHADAP KUAT LENTUR BETON

Oleh :

Andiena Puspita Rahmadanti	40030522650160
Prilly Moressa Hapsari	40030522650008

Laporan ini telah diperbaiki dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi saat pelaksanaan ujian tugas akhir pada tanggal 16 Juli 2026

Semarang, 21 Juli 2026

Mahasiswa I

Andiena Puspita Rahmadanti
NIM.40030522650160

Mahasiswa II

Prilly Moressa Hapsari
NIM.40030522650008

Penguji I

Ir. Hanggoro Iskandar P. W., S.T., M.T.
NIP.199305012024061001

Menyetujui,

Penguji II

Ir. Tri Susanto, S.T., M.T.
NIP.199106162024061001

Penguji III

Dr. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP.198512092012122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

Dr. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP.198512092012122001

ABSTRAK

Serat nilon menjadi salah satu material tambahan yang berpotensi meningkatkan performa beton, terutama dalam kuat lentur pada konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi panjang serat nilon terhadap kuat lentur beton mutu $f_c' 25$ MPa serta menganalisis dampaknya terhadap harga satuan beton. Campuran beton terdiri atas beton normal (BN) sebagai kontrol dan beton dengan variasi panjang serat nilon V1, V2, dan V3. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Hasil penelitian membuktikan bahwa perbedaan panjang serat nilon berpengaruh terhadap sifat mekanis beton, baik kuat tekan maupun kuat lentur. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 3 sebesar 30.51 MPa, sedangkan nilai kuat lentur tertinggi dicapai oleh variasi 3 sebesar 5.77 MPa. Berdasarkan analisis biaya, harga satuan beton normal sebesar Rp 965.114,66/m³, sedangkan beton serat masing-masing sebesar Rp 1.939.404,14/m³ (V1), Rp 1.736.734,64/m³ (V2), dan Rp 1.533.935,39/m³ (V3). Dengan demikian, penggunaan serat nilon dapat memberikan peningkatan kinerja beton, namun diikuti oleh kenaikan biaya produksi dibandingkan beton normal.

Kata kunci: *rigid pavement*, kuat lentur, beton, serat nilon.

ABSTRACT

Nylon fibres improve concrete performance and enhance flexural strength in rigid pavement construction. Study to examine the effect of nylon fibre lengths on the flexural strength of concrete with a strength class of f_c' 25 MPa and its impact on unit price. The concrete mixtures comprised normal concrete (BN) as the control and concrete with varying nylon fibre lengths (V1, V2, and V3). Tests were conducted on the compressive and flexural strength of the samples at 7 and 28 days. Nylon fibre length affects concrete's mechanical properties, including compressive and flexural strength. Variation 3 had the highest compressive strength at 30.51 MPa and flexural strength at 5.77 MPa. The cost analysis revealed that the unit price of normal concrete was Rp 965.114,66/m³, whereas the unit prices for fibre-reinforced concrete were Rp 1.939.404,14/m³ (V1), Rp 1.736.734,64/m³ (V2), and Rp 1.533.935,39/m³ (V3), respectively. Consequently, the utilisation of nylon fibres has the potential to enhance the performance of concrete, though it should be noted that this is accompanied by a concomitant increase in production costs when compared to conventional concrete.

Keywords: rigid pavement, flexural strength, concrete, nylon fiber.

KATA PENGANTAR

Salam dan bahagia,

Penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan pertolongan yang senantiasa menyertai setiap tahapan penyusunan, sehingga Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Perbedaan Panjang Serat Nilon terhadap Kuat Lentur Beton" dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Universitas Diponegoro, sekaligus sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.).

Setiap tahapan dalam penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir ini memberikan banyak pembelajaran yang tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan perhatian berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ir. Tri Susanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing pertama atas kesediaan, perhatian, dan kesabaran dalam membimbing penulis sejak pelaksanaan penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Setiap saran, masukan, dan pengalaman yang beliau berikan tidak hanya membantu penyusunan penelitian ini, tetapi juga menjadi pembelajaran yang bermanfaat bagi penulis selama menempuh pendidikan. Merupakan suatu kehormatan bagi penulis dapat menjadi mahasiswa bimbingan beliau.
2. Asri Nurdiana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua serta Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, yang senantiasa memberikan waktu, perhatian, serta masukan yang membangun selama setiap tahapan penelitian. Penulis sangat menghargai setiap saran dan evaluasi yang beliau berikan karena telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir

ini dengan lebih baik. Bagi penulis, memperoleh kesempatan menjadi mahasiswa bimbingan beliau merupakan suatu kehormatan sekaligus pengalaman akademik yang akan selalu dikenang.

3. Seluruh Bapak dan Ibu dosen, serta seluruh staff Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan, wawasan, serta pengalaman selama menjalani proses pendidikan di Universitas Diponegoro. Setiap ilmu dan nilai yang diberikan menjadi bekal berharga bagi penulis, baik dalam penyusunan Tugas Akhir maupun untuk pengembangan diri di dunia profesional.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
1.6. Identifikasi Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Perkerasan Kaku.....	8
2.2. Beton Serat	9
2.3. Serat Nilon	10
2.4. Semen Gresik Portland Composite Cement (PCC).....	11
2.5. Air	13
2.6. Agregat Halus.....	13
2.7. Agregat Kasar.....	14
2.8. Kuat Lentur	15
2.9. Penelitian Terdahulu	17

2.10. GAP Penelitian.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. Desain Penelitian.....	20
3.2. Alat-Alat Kerja.....	22
3.3. Bahan-Bahan Kerja	28
3.4. Pengujian Agregat Halus.....	30
3.4.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	30
3.4.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	35
3.4.3. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	39
3.5. Pengujian Agregat Kasar.....	42
3.5.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	42
3.5.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar	45
3.5.3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	47
3.6. Pengujian Berat Jenis Nilon.....	51
3.7. Mix Desain.....	54
3.8. Benda Uji	58
3.8.1. Jumlah dan Jenis Benda Uji	59
3.8.2. Pembuatan Benda Uji.....	60
3.9. Pengujian Beton	63
3.9.1. Pengujian <i>Slump</i>	63
3.9.2. Pengujian Kuat Tekan	64
3.9.3. Pengujian Kuat Lentur	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	68
4.1. Hasil Umum	68
4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus	68
4.2.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	69
4.2.2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.....	70
4.2.3. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus.....	74
4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar	77

4.3.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	77
4.3.2. Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar	79
4.3.3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	81
4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Benang Nilon.....	82
4.5. Perencanaan Mix Desain.....	84
4.6. Hasil Pengujian Beton.....	92
4.6.1. Hasil Uji <i>Slump</i>	92
4.6.2. Uji Kuat Tekan.....	94
4.6.3. Uji Kuat Lentur	99
4.7. Analisa Biaya	101
4.8. Pembahasan.....	106
BAB V PENUTUP	108
5.1. Kesimpulan	108
5.2. Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi Semen PCC.....	12
Tabel 2.2.	Tabel Gradasi Butiran Agregat HalusTabel Gradasi Butiran Agregat Halus	14
Tabel 2.3.	Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1.	Berat Minimal Agregat Halus	31
Tabel 3.2.	Nomor Ayakan untuk Pengujian Agregat Halus	39
Tabel 3.3.	Berat Minimal Agregat Kasar Kering Oven	42
Tabel 3.4.	Berat Benda Uji Minimal.....	47
Tabel 3.5.	Kadar Air Pencampur berdasarkan Slump dan Dimensi Maksimum Agregat Kasar	55
Tabel 3.6.	Rasio Air dan Semen (w/c)	56
Tabel 3.7.	Volume untuk Agregat Kasar per m ³	57
Tabel 3.8.	Asumsi Bobot Beton Segar	58
Tabel 3.9.	Dimensi Cetakan.....	59
Tabel 3.10.	Jenis dan Ukuran Benda Uji.....	59
Tabel 3.11.	Waktu Toleransi yang Diizinkan	65
Tabel 3.12.	Hasil Uji Kuat Lentur 28 Hari.....	99
Tabel 4.1.	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	70
Tabel 4.2.	Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	74
Tabel 4.3.	Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Halus.....	75
Tabel 4.4.	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	79
Tabel 4.5.	Data dan Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar	80
Tabel 4.6.	Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	82
Tabel 4.7.	Hasil Uji Berat Jenis Benang Nilon	83
Tabel 4.8.	Standar Pengendalian Mutu Beton untuk $f'c \leq 35$ MPa	84

Tabel 4.9.	Rekapitulasi Ketentuan Mix Desain	88
Tabel 4.10.	Kebutuhan Material Beton Segar per m ³	89
Tabel 4.11.	Kebutuhan Material Variasi Beton Normal	90
Tabel 4.12.	Kebutuhan Material Variasi Beton Serat	91
Tabel 4.13.	Kebutuhan Material Keseluruhan Benda Uji	91
Tabel 4.14.	Hasil <i>Slump Test</i>	92
Tabel 4.15.	Hasil Uji Kuat Tekan 7 Hari	95
Tabel 4.16.	Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari	96
Tabel 4.17.	Job Mix Design Beton per m ³	102
Tabel 4.18.	Analisa Upah Tenaga Kerja untuk Beton Serat	103
Tabel 4.19.	Analisa Biaya Material untuk Beton Normal.....	103
Tabel 4.20.	Analisa Biaya Material untuk Beton Serat.....	104
Tabel 4.21	Jumlah Biaya setiap Variasi	104
Tabel 4.22.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Bagan Alir Penelitian	21
Gambar 3.2.	Timbangan Digital.....	22
Gambar 3.3.	Saringan.....	22
Gambar 3.4.	Sieve Shaker.....	22
Gambar 3.5.	Oven	23
Gambar 3.6.	Kerucut Abrams	23
Gambar 3.7.	Cetakan Silinder Beton	23
Gambar 3.8.	Cetakan Balok Beton.....	24
Gambar 3.9.	Mixer Beton.....	24
Gambar 3.10.	Compression Testing Machine.....	24
Gambar 3.11.	Mesin Uji Kuat Lentur	25
Gambar 3.12.	Piknometer 1000 ml	25
Gambar 3.13.	Piknometer 500 ml	25
Gambar 3.14.	Gelas Ukur 500 ml	26
Gambar 3.15.	Pan Baja.....	26
Gambar 3.16.	Meteran.....	26
Gambar 3.17.	Sendok Semen	27
Gambar 3.18.	Tongkat Besi	27
Gambar 3.19.	Palu Karet.....	27
Gambar 3.20.	Bak Perendaman Benda Uji	28
Gambar 3.21.	Bejana Baja	28
Gambar 3.22.	Air Bersih	28
Gambar 3.23.	Semen Gresik PCC.....	29
Gambar 3.24.	Agregat Kasar.....	29
Gambar 3.25.	Pasir Muntilan	30

Gambar 3.26.	Benang Nilon	30
Gambar 3.27.	Penyiapan Agregat Halus Kering Oven untuk Uji Kadar Lumpur ...	32
Gambar 3.28.	Pengisian Agregat Halus di Gelas Ukur.....	32
Gambar 3.29.	Pengisian Air ke dalam Gelas Ukur	32
Gambar 3.30.	Penuangan Air yang Ada di dalam Gelas Ukur	33
Gambar 3.31.	Pemindahan Agregat yang Tertinggal di Saringan ke Wadah	33
Gambar 3.32.	Pengovenan Agregat Halus Kadar Lumpur	34
Gambar 3.33.	Penimbangan Agregat Halus Hasil Kadar Lumpur.....	34
Gambar 3.34.	Pengisian Agregat Halus ke dalam Kerucut.....	35
Gambar 3.35.	Pemadatan Agregat Halus dengan Batang Penumbuk	35
Gambar 3.36.	Pengangkatan Kerucut	36
Gambar 3.37.	Pengisian Air ke dalam Piknometer	36
Gambar 3.38.	Penyiapan Agregat Halus untuk Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air.....	36
Gambar 3.39.	Pengisian Agregat Halus ke dalam Piknometer	37
Gambar 3.40.	Penambahan Air Hingga Batas Pembacaan	37
Gambar 3.41.	Penimbangan Berat Piknometer, Air, dan Agregat Halus.....	37
Gambar 3.42.	Pengovenan Agregat Halus Uji Berat Jenis	38
Gambar 3.43.	Penimbangan Hasil Oven Berat Jenis Agregat Halus	38
Gambar 3.44.	Penyiapan Agregat Halus untuk Pengujian Analisis Saringan.....	40
Gambar 3.45.	Pengisian Agregat Halus ke dalam Saringan	40
Gambar 3.46.	Proses Penyaringan Agregat Halus Menggunakan Sieve Shaker	41
Gambar 3.47.	Penimbangan Agregat Halus yang Tertinggal pada Setiap Saringan	41
Gambar 3.48.	Penyiapan Agregat Kasar Kering Oven untuk Pengujian Kadar Lumpur.....	43
Gambar 3.49.	Pencucian Agregat Kasar	43
Gambar 3.50.	Pengovenan Agregat Kasar Kadar Lumpur	44
Gambar 3.51.	Penimbangan Agregat Kasar Hasil Kadar Lumpur.....	44
Gambar 3.52.	Penimbangan Bejana untuk Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	45

Gambar 3.53.	Pengisian Agregat Kasar ke dalam Bejana	45
Gambar 3.54.	Penimbangan Agregat Kasar dan Bejana	46
Gambar 3.55.	Penyiapan Agregat Kasar untuk Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air.....	48
Gambar 3.56.	Perendaman Agregat Kasar	48
Gambar 3.57.	Proses Menghilangkan Air pada Permukaan Agregat Kasar	49
Gambar 3.58.	Penimbangan Agregat Kasar Kering Permukaan.....	49
Gambar 3.59.	Penimbangan Agregat Kasar di dalam Air.....	50
Gambar 3.60.	Pengovenan Agregat Kasar Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air	50
Gambar 3.61.	Penimbangan Hasil Kering Oven Agregat Kasar.....	50
Gambar 3.62.	Penyiapan Benang Nilon sebanyak 5 Gram.....	52
Gambar 3.63.	Pengisian Air pada Piknometer dan Penimbangan Beratnya	52
Gambar 3.64.	Pengisian Benang Nilon ke dalam Piknometer	52
Gambar 3.65.	Penimbangan Benang Nilon Basah	53
Gambar 3.66.	Pengovenan Benang Nilon	53
Gambar 3.67.	Penimbangan Benang Nilon Kering Oven	53
Gambar 3.68.	Penimbangan Material.....	61
Gambar 3.69.	Pengadukan Campuran Beton	61
Gambar 3.70.	Pemadatan Campuran Beton	62
Gambar 3.71.	Perendaman Benda Uji.....	63
Gambar 3.72.	Pengujian Kuat Tekan	65
Gambar 4.1.	Grafik Zona Agregat Halus	77
Gambar 4.2.	Hasil Uji Slump Beton Normal	93
Gambar 4.3.	Hasil Uji Slump Beton Serat	94
Gambar 4.4.	Gambar Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari.....	96
Gambar 4.5.	Grafik Uji Kuat Tekan 28 Hari	98
Gambar 4.6.	Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari dan 28 Hari.....	98
Gambar 4.7.	Grafik Uji Kuat Lentur 28 Hari	100

Gambar 4.8.	Grafik Komparasi Uji Kuat Tekan dan Uji Kuat Lentur 28 Hari....	101
Gambar 4.9.	Grafik Analisa Biaya.....	105

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Lembar Asistensi
- Lampiran 2. Lembar Logbook Laboratorium
- Lampiran 3. Lembar Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus
- Lampiran 4. Lembar Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- Lampiran 5. Lembar Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus
- Lampiran 6. Lembar Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar
- Lampiran 7. Lembar Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar
- Lampiran 8. Lembar Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- Lampiran 9. Hasil Pengujian Laboratorium Uji Kuat Tekan 7 Hari
- Lampiran 10. Hasil Pengujian Laboratorium Uji Kuat Tekan 28 Hari
- Lampiran 11. Hasil Pengujian Laboratorium Uji Kuat Lentur 28 Hari

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejalan dengan kemajuan penyediaan infrastruktur menuntut penggunaan material konstruksi yang tidak hanya memiliki kapasitas dalam menerima beban struktural, tetapi mampu mempertahankan ketahanan sepanjang umur layan akibat pengaruh berbagai kondisi pembebanan lalu lintas. Salah satu jenis konstruksi jalan yang banyak diterapkan adalah perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu sistem perkerasan yang mengaplikasikan pelat beton semen menjadi komponen struktural utama untuk menerima dan mendistribusikan beban yang ditimbulkan oleh kendaraan. Penggunaan beton pada perkerasan kaku didasarkan pada sejumlah keunggulan yang dimilikinya, seperti memiliki kekuatan tekan yang tinggi untuk menahan beban lalu lintas, mampu mempertahankan kinerjanya pada berbagai kondisi cuaca, memberikan masa pelayanan yang jangka panjang dengan pemeliharaan relatif lebih mudah dibandingkan sistem perkerasan lainnya. Selain itu, material penyusun beton mudah diperoleh dan dapat dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi di lapangan. Namun demikian, beton juga memiliki kelemahan, khususnya pada kemampuan tarik dan lenturnya yang relatif rendah dibandingkan kuat tekannya. Beton hanya memiliki kuat tarik dan lentur sekitar 8%–15% dari kuat tekannya (Aryanti R. & Walujodjati E., 2022). Rendahnya kemampuan beton dalam menahan gaya lentur menyebabkan beton mudah mengalami retak ketika menerima pembebanan berulang. Keretakan pada *rigid pavement* umumnya terjadi karena adanya tegangan tarik lentur yang berkembang di bagian bawah plat beton sebagai respon terhadap beban lalu lintas kendaraan. Apabila retak berkembang secara terus-menerus tanpa adanya kemampuan beton untuk menghambat perambatan retak tersebut, maka dapat terjadi

kerusakan struktural yang berpengaruh terhadap kenyamanan, keamanan, serta umur layan perkerasan jalan.

Pentingnya kemampuan lentur beton pada konstruksi jalan juga tercermin dalam 03/M/BM/2024 oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2024). Dalam pedoman tersebut disebutkan bahwa desain perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan parameter kuat lentur beton (*flexural strength* atau *modulus of rupture*) sebagai salah satu dasar utama perencanaan. Hal ini disebabkan karena pelat beton jalan menerima beban lalu lintas berat dan berulang dalam jangka panjang sehingga kemampuan beton dalam menahan tegangan lentur menjadi faktor yang sangat penting. Semakin tinggi kemampuan lentur beton, maka semakin baik pula ketahanan pelat beton terhadap retak dan kerusakan akibat pembebanan kendaraan.

Penambahan serat (*fiber*) ke dalam campuran beton menjadi salah satu pendekatan yang banyak difungsikan untuk menaikkan kapasitas lentur beton. Penggunaan serat pada beton telah banyak dikembangkan karena terbukti mampu meningkatkan ketangguhan (*toughness*), daktilitas, serta kuat lentur dan kuat tarik beton. Di antara berbagai jenis serat tersebut, serat nilon menjadi salah satu material yang cukup potensial karena memiliki kuat tarik tinggi, sifat elastis yang baik, ringan, serta tahan terhadap lingkungan alkali pada beton. Serat nilon diketahui mampu meningkatkan berbagai sifat mekanis beton, seperti kuat lentur (Pratama & Hisyam, 2016). Di samping meningkatkan kemampuan lentur, penambahan serat nilon juga berkontribusi terhadap peningkatan kekedapan beton, ketahanan saat menerima benturan mendadak, kemampuan untuk meregang sebelum hancur, keandalannya dalam menghadapi beban yang datang terus-menerus, serta ketahanan terhadap abrasi (Sumardi dkk., 2023). Penambahan serat nilon juga berperan dalam mengurangi retak akibat susut, menghambat perkembangan retak, dan membantu melindungi tulangan dari risiko korosi. Dengan adanya serat nilon, beton masih memiliki kemampuan untuk menahan beban meskipun telah mengalami retak awal sehingga perilaku keruntuhannya menjadi lebih daktil dibandingkan beton normal.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serat nilon mampu menaikkan sifat mekanis beton, khususnya kuat lentur, penambahan 1% serat nilon mampu meningkatkan kuat lentur beton sebesar 24,94% (Mubeen dkk., 2024). Penelitian lain oleh Bheel dkk. (2021) menunjukkan peningkatan kuat lentur hingga 11,04% pada beton dengan campuran serat nilon dan *jute fiber*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gunawan dkk. (2015) pada beton ringan membuktikan bahwa penambahan serat nilon sebagai material tambahan mampu memperbaiki kinerja mekanis beton. Sebagian besar riset mengenai serat nilon pada beton lebih berfokus pada variasi kadar atau persentase serat yang digunakan. Penelitian mengenai pengaruh perbedaan panjang serat nilon terhadap kuat lentur beton masih relatif terbatas, khususnya pada beton mutu f'_c 25 MPa yang umum digunakan pada konstruksi *rigid pavement* untuk jalan dengan lalu lintas ringan hingga sedang. Padahal, panjang serat dapat mempengaruhi kemampuan ikatan antara serat dan matriks beton serta efektivitas mekanisme *bridging* dalam menghambat perambatan retak.

Pemilihan mutu beton f'_c 25 MPa pada penelitian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan aplikatif dalam konstruksi *rigid pavement*. Penelitian yang dilakukan oleh Wisnumurti dkk. (2024) menyatakan bahwa mutu beton f'_c 25 MPa pada *rigid pavement* memiliki kemampuan pengendalian retak yang lebih bagus dibandingkan mutu beton rendah f'_c 15 MPa, serta dianggap ekonomis dibandingkan mutu beton tinggi f'_c 35 MPa. Selain itu, berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2024), perkerasan kaku dirancang untuk menahan beban lalu lintas melalui kekuatan padat beton sehingga mutu beton normal seperti f'_c 25 MPa masih banyak diaplikasikan pada jalan dengan lalu lintas rendah hingga menengah. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi panjang serat nilon sebagai bahan tambah terhadap kekuatan lentur beton mutu f'_c 25 MPa pada konstruksi *rigid pavement*. Melalui penelitian ini, diperoleh informasi mengenai karakteristik kuat lentur beton pada setiap variasi panjang serat nilon serta pengaruhnya terhadap harga satuan beton. Selain aspek teknis, penggunaan serat

nilon sebagai bahan tambah beton juga berpengaruh terhadap biaya campuran beton. Penambahan serat nilon menambah kebutuhan material sehingga menghasilkan harga satuan yang berbeda dibandingkan beton normal. Di sisi lain, peningkatan sifat mekanis yang dihasilkan memberikan nilai tambah pada kinerja beton. Oleh karena itu, variasi panjang serat nilon tidak hanya memengaruhi kuat lentur beton, tetapi juga menghasilkan perbedaan harga satuan beton mutu $f_c' 25 \text{ MPa}$ yang dapat disandingkan terhadap beton tanpa serat. Informasi dari penelitian diharapkan dapat menambah referensi mengenai pemanfaatan serat nilon sebagai bahan tambah beton dan memberikan alternatif pengembangan material perkerasan kaku yang memiliki kinerja mekanis dan durabilitas yang lebih baik.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan serat nilon menjadi bahan tambah pada campuran beton terhadap peningkatan sifat mekanis, dengan penekanan pada peningkatan kuat lentur. Di samping itu, penelitian ini dirancang untuk mencapai beberapa sasaran sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh penambahan serat nilon terhadap nilai kuat tekan beton dengan mutu rencana $f_c' 25 \text{ Mpa}$.
2. Membandingkan nilai kuat lentur beton yang menggunakan serat nilon dengan variasi panjang 10 mm, 20 mm, dan 30 mm.
3. Menganalisis pengaruh penggunaan serat nilon dengan variasi panjang 10 mm, 20 mm, dan 30 mm terhadap biaya pembuatan.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang bermanfaat, di antaranya sebagai berikut.

1. Menyediakan informasi mengenai pengaruh variasi panjang serat nilon terhadap kuat lentur beton mutu $f_c' = 25$ MPa sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan beton yang digunakan pada konstruksi *rigid pavement*.
2. Menyajikan data mengenai perubahan harga satuan beton akibat penambahan variasi panjang serat nilon sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dari aspek teknis dan ekonomis.
3. Menambah referensi mengenai pemanfaatan serat nilon sebagai bahan tambah pada beton, khususnya yang berkaitan dengan pengaruh panjang serat terhadap sifat mekanis beton.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengembangan penelitian mengenai beton serat, baik melalui penggunaan jenis serat, panjang serat, maupun mutu beton yang berbeda.

1.4. Perumusan Masalah

Uraian pada bagian latar belakang menjadi dasar dalam penyusunan rumusan masalah penelitian. Oleh karena itu, beberapa permasalahan yang akan dianalisis dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat nilon terhadap nilai kuat tekan beton yang dirancang dengan mutu $f_c' = 25$ MPa?
2. Bagaimana pengaruh variasi panjang serat nilon 10 mm, 20 mm, dan 30 mm terhadap nilai kuat lentur beton dengan mutu rencana $f_c' = 25$ MPa?
3. Bagaimana pengaruh variasi panjang serat nilon 10 mm, 20 mm, dan 30 mm pada beton mutu $f_c' = 25$ MPa terhadap kebutuhan biaya dalam proses pembuatannya?

1.5. Batasan Masalah

Agar sistematis dan tidak terlalu meluas, maka penelitian ini diperlukan memiliki batasan-batasan permasalahan, berikut batasan masalahnya:

1. Penambahan serat nilon hanya menggunakan persentase 1% dari berat semen.
2. Penambahan serat nilon menggunakan variasi panjang 10 mm, 20 mm, dan 30 mm.
3. Serat yang digunakan pada penelitian ini berupa benang *nylon multifilament twine* komersial merek ARIDA dengan spesifikasi 210D/9L diameter 0,6 mm. Penelitian ini tidak mencakup identifikasi atau pengujian terhadap komposisi maupun persentase kandungan nilon pada benang yang digunakan, sehingga karakteristik material mengacu pada spesifikasi produk dari produsen.
4. Perhitungan *mix design* yang digunakan untuk menghitung material penyusun beton pada penelitian ini, yaitu SNI 7656:2012. Penyesuaian volume akibat penambahan benang nilon pada penelitian ini dilakukan dengan mengurangi sebagian volume agregat halus.
5. Penelitian ini mengabaikan pengaruh perubahan kadar air material akibat kondisi penyimpanan di luar ruangan terhadap karakteristik beton. Material yang disimpan di luar ruangan hanya dilindungi menggunakan terpal selama pelaksanaan penelitian, karena keterbatasan tempat.
6. Ruang lingkup penelitian ini hanya mencakup analisis pengaruh penambahan serat nilon terhadap kuat lentur beton pada umur pengujian 28 hari.
7. Pengujian kekuatan tekan dilakukan sebagai verifikasi terhadap pencapaian kuat tekan beton dibandingkan dengan mutu rencana yang telah ditetapkan.

1.6. Identifikasi Masalah

Beton memiliki kuat tarik maupun kuat lentur relatif lebih kecil, yaitu hanya sekitar 8% - 15% dari kekuatan tekannya sehingga dapat menimbulkan permasalahan dalam struktural bangunan. Pada saat kuat lentur rendah, beton tidak dapat menahan gaya tarik retak awal. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan sebagai alternatif untuk memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut melalui analisis pengaruh penambahan serat nilon terhadap kuat lentur beton dengan menggunakan metode penelitian eksperimental kuantitatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Kaku

Pada konstruksi perkerasan kaku, plat beton beroperasi menjadi unsur utama yang mendapat beban lalu lintas, kemudian menyalurkan ke lapisan pendukung (Basuki, 2020). Sistem perkerasan ini dapat menggunakan plat beton bersambung maupun tidak bersambung, baik yang dilengkapi tulangan maupun tanpa tulangan, dengan lapis pondasi bawah atau tanah dasar sebagai media pendukungnya. Perkerasan kaku diklasifikasikan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2024) menjadi tiga tipe, yaitu Perkerasan Beton Polos dengan Sambungan (PBPS), Perkerasan Beton Bertulang dengan Sambungan (PBBS), dan Perkerasan Beton Bertulang Menerus (PBBM). PBPS merupakan perkerasan beton tanpa tulangan memanjang yang menggunakan sambungan untuk mengendalikan retak. PBBS menggunakan tulangan untuk mengurangi lebar retak yang terjadi di antara sambungan, sedangkan PBBM menggunakan tulangan memanjang secara kontinu tanpa sambungan melintang sehingga retak yang terjadi dapat dikendalikan oleh tulangan.

Perkerasan kaku memiliki beberapa keunggulan, antara lain umur pelayanan atau masa pakai yang panjang, kebutuhan pemeliharaan yang relatif rendah, ketahanan yang baik terhadap deformasi permanen, serta kemampuan menahan beban lalu lintas berat. Meskipun memiliki berbagai keunggulan, beton sebagai material utama pada perkerasan kaku memiliki keterbatasan, terutama pada kemampuan menahan gaya tarik dan lentur yang relatif rendah sehingga rentan mengalami retak akibat pembebanan berulang dari lalu lintas kendaraan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai inovasi telah dilakukan guna meningkatkan sifat mekanis beton,

khususnya dalam meningkatkan ketahanan terhadap retak dan gaya lentur. Upaya untuk meningkatkan kinerja beton dapat dilakukan melalui penggunaan serat menjadi material tambahan dalam adukan beton. Kehadiran serat dapat meningkatkan ketangguhan, daktilitas, kemampuan menyerap energi, serta menghambat propagasi retak pada beton (Pratiwi dkk., 2016). Penambahan serat menghasilkan *fiber reinforced concrete* atau beton serat, yang hingga saat ini banyak dimanfaatkan serta terus dikembangkan melalui berbagai penelitian karena dinilai mampu meningkatkan performa konstruksi, khususnya pada perkerasan kaku (*rigid pavement*).

2.2. Beton Serat

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) merupakan pengembangan material beton yang memanfaatkan serat sebagai bahan tambahan dalam campurannya. Penggunaan serat tersebut dimaksud untuk meningkatkan sifat mekanis beton, khususnya dalam meningkatkan kuat tarik, kuat lentur, daktilitas, serta ketahanan terhadap terjadinya retak (Pratiwi dkk., 2016). Penambahan serat dilakukan karena beton memiliki kelemahan pada kemampuan menahan tegangan tarik dan lentur, sehingga mudah mengalami retak ketika menerima pembebanan. Distribusi serat secara acak pada matriks beton berfungsi menghambat perambatan retak (*crack bridging*) sehingga beton menjadi lebih tangguh dan tidak mudah mengalami keruntuhan secara tiba-tiba. Penggunaan beton serat pada konstruksi *rigid pavement* dinilai mampu meningkatkan kemampuan pelat beton dalam menahan beban lalu lintas berulang yang menimbulkan tegangan tarik lentur pada bagian bawah pelat beton.

Berbagai jenis serat telah digunakan dalam campuran beton, baik serat alami maupun serat sintetis (Lumingkewas, 2023). Penggunaan serat sintetis cukup banyak dikembangkan karena memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan beton dan mampu meningkatkan performa beton secara mekanis. Di antara berbagai jenis serat sintetis yang tersedia, serat nilon (*nylon fiber*) menjadi salah satu material yang

banyak dipakai menjadi material tambahan pada adukan beton karena memiliki karakteristik ringan dan elastis, serta mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap keretakan maupun pembebanan lentur. Pembahasan mengenai sifat dan karakteristik serat nilon akan diuraikan lebih lanjut pada subbab berikutnya.

2.3. Serat Nilon

Serat nilon merupakan nama umum untuk material *polyamide* yang memiliki karakteristik kuat, elastis, tahan gesekan, serta stabil secara dimensi (Sumardi dkk., 2023). Serat ini memiliki struktur berserat dengan rantai molekul yang panjang sehingga memberikan sifat mekanis yang baik. Karakteristik lain yang dimiliki serat nilon adalah ketahanannya terhadap air, temperatur tinggi, dan jamur, disertai sifat material yang tidak mudah kusut. Namun, serat nilon memiliki beberapa keterbatasan, seperti cenderung mengalami degradasi apabila terpapar sinar ultraviolet dalam jangka waktu tertentu serta memiliki sifat mudah meleleh ketika terbakar. Dalam aplikasinya pada beton, penambahan serat nilon terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap beban tumbukan serta memperbaiki kekuatan material. Setelah retak awal terbentuk, serat nilon berperan dalam mempertahankan kapasitas beton untuk menahan beban, bahkan berpotensi meningkatkan kapasitas tersebut. Mekanisme ini memberikan kontribusi terhadap peningkatan kinerja struktural beton, terutama pada kondisi pasca-retak (Kabit dkk., 2024).

Pada campuran beton, serat nilon berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap benturan, memperlambat perkembangan retak, serta mempertahankan kapasitas beban setelah terjadinya retak awal (Pratama & Hisyam, 2016). Namun, serat nilon memiliki permukaan yang relatif licin sehingga kinerjanya dalam beton dipengaruhi oleh karakteristik ikatan antara serat dan matriks beton. Ketahanan beton terhadap perkembangan retak dapat ditingkatkan melalui penyebaran serat nilon secara acak di dalam matriks beton. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan

daktilitas beton, tetapi juga memperbaiki kapasitasnya dalam menahan beban. Dengan karakteristik tersebut, penggunaan serat nilon berpotensi menjadi alternatif bahan tambah pada beton *rigid pavement* yang menerima pembebanan kendaraan secara berulang.

Serat nilon yang digunakan sebagai bahan tambah pada beton tersedia dalam berbagai bentuk, salah satunya berupa benang *nylon multifilament*. Benang nilon umumnya dibuat dari filamen poliamida (*polyamide*), seperti *nylon 6* atau *nylon 6.6*, yang memiliki kuat tarik tinggi, elastisitas yang baik, serta ketahanan terhadap abrasi sehingga sesuai digunakan sebagai material penguat. Pada beberapa produk komersial, benang nilon juga dapat dilengkapi dengan lapisan tambahan berupa *bonding resin*, pelumas, atau zat pewarna untuk meningkatkan performa penggunaannya, sehingga komposisi materialnya tidak selalu dinyatakan sebagai 100% nilon (Coats Group, 2024; Bonlon Thread, 2024). Pada penelitian ini, serat yang digunakan berupa benang *nylon multifilament twine* komersial merek ARIDA dengan spesifikasi 21D/9L. Penelitian ini tidak mencakup identifikasi atau pengujian terhadap komposisi maupun persentase kandungan nilon pada benang yang digunakan, sehingga karakteristik material mengacu pada spesifikasi produk dari produsen. Kekuatan beton juga ditentukan oleh material penyusunnya seperti agregat halus berperan sebagai bahan pengisi yang memberikan efek terhadap *workability*, kepadatan, dan kekuatan beton.

2.4. Semen Gresik Portland Composite Cement (PCC)

Portland Composite Cement (PCC) termasuk dalam kelompok semen hidrolis yang diproduksi dengan menggiling klinker semen portland bersama gypsum serta satu atau lebih material anorganik. Berdasarkan SNI 7064:2014, penambahan bahan anorganik tersebut berkisar antara 6% hingga 35% dari total massa semen. Material tambahan yang digunakan umumnya memiliki sifat pozzolanik, yaitu tidak mampu

berfungsi sebagai bahan pengikat secara mandiri, tetapi dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida serta air pada temperatur normal sehingga menghasilkan senyawa yang bersifat sementasi (*cementitious*). Reaksi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan durabilitas beton seiring bertambahnya umur pengerasan. Penambahan bahan-bahan tersebut bertujuan untuk meningkatkan karakteristik tertentu pada semen sehingga memiliki kemampuan *workability* yang baik, panas hidrasi lebih rendah, serta lebih ramah lingkungan dibandingkan *Ordinary Portland Cement* (OPC). Salah satu produk PCC yang umum digunakan di Indonesia adalah semen PCC produksi PT Semen Gresik.

Secara kimia, semen PCC tersusun atas Kalsium Oksida (CaO), Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), dan Besi Oksida (Fe_2O_3). PCC menunjukkan waktu ikat yang relatif stabil dan mampu mendukung pencapaian kuat tekan beton sesuai mutu rencana pada umur 28 hari. Karakteristik tersebut menyebabkan semen ini banyak dipilih untuk aplikasi beton struktural, pekerjaan pasangan bata, plesteran, serta berbagai jenis konstruksi umum. Secara fisik, semen PCC berbentuk bubuk halus berwarna abu-abu dengan berat jenis sekitar 3,05–3,15 dan berat isi sekitar 1250–1450 kg/m³. Kelebihan PCC antara lain mudah dikerjakan, retak akibat panas hidrasi lebih kecil, serta lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Namun, PCC memiliki perkembangan kuat awal yang sedikit lebih lambat dibandingkan OPC karena adanya bahan tambahan mineral pada komposisinya.

Tabel 2.1. Komposisi Semen PCC

Senyawa	Presentase (%)
Kalsium Oksida (CaO)	55-65
Silica (SiO_2)	20-30
Alumina (Al_2O_3)	4-10
Besi Oksida (Fe_2O_3)	1-6
Magnesium Oxide (MgO)	0-5

Sumber: SNI 7064:2014

2.5. Air

Proses pembentukan beton tidak terlepas dari peran air sebagai salah satu material penyusunnya. Air mendukung proses pencampuran sekaligus memungkinkan terjadinya reaksi hidrasi pada semen yang menghasilkan ikatan dengan agregat. Keberadaan air dalam campuran beton memengaruhi *workability*, besarnya nilai susut beton, berlangsungnya reaksi hidrasi semen yang berkontribusi terhadap perkembangan kekuatan beton, serta efektivitas curing untuk memperoleh mutu beton yang optimal.

Mutu air yang layak dipakai untuk campuran beton menjadi faktor yang harus dicermati karena berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan. Pada umumnya, air yang dipakai untuk pembuatan beton harus berupa air bersih, layak minum, dan tidak memiliki bau. Berdasarkan SNI S 04:1989, air tersebut juga tidak diperkenankan mengandung partikel yang berpotensi merusak beton, seperti garam, alkali, asam, minyak, bahan organik, maupun bahan lainnya yang dapat mengganggu proses pembentukan dan kinerja beton.

2.6. Agregat Halus

Agregat halus termasuk material granular yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan penyusun beton dalam berbagai pekerjaan konstruksi. Kepadatan campuran beton dipengaruhi oleh keberadaan agregat halus yang berperan mengisi rongga di antara agregat kasar. Fungsi tersebut memungkinkan terbentuknya beton dengan kekuatan yang lebih baik. Berdasarkan SNI 03-6882:2002 tentang Spesifikasi Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, agregat halus merupakan material berbutir dengan ukuran maksimum 4,75 mm, yang seluruh partikelnya dapat melewati saringan No. 4.

Menurut SNI S-04:1989, membatasi kadar lumpur maksimum sebesar 5% karena keberadaan lumpur yang berlebihan dapat menghalangi proses ikatan antara pasta

semen dan agregat, yang pada akhirnya menurunkan mutu beton. Jika kadar lumpur melampaui batas tersebut, agregat halus perlu dibersihkan melalui proses pencucian hingga memenuhi ketentuan standar. Selain itu, gradasi agregat halus juga perlu diperhatikan karena distribusi ukuran butiran pasir akan mempengaruhi *workability*, kepadatan, dan kekuatan beton. Terdapat beberapa jenis golongan gradasi agregat halus yang disesuaikan dengan ukuran butirannya. Selain agregat halus, campuran beton juga menggunakan agregat kasar sebagai material utama pembentuk kerangka beton.

Tabel 2.2. Tabel Gradasi Butiran Agregat Halus

Ukuran Agregat	Daerah I (Pasir Kasar)		Daerah II (Pasir Sedang)		Daerah III (Pasir Agak Halus)		Daerah IV (Pasir Halus)	
	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
9,5	100	100	100	100	100	100	100	100
4,75	90	100	90	100	90	100	95	100
2,38	60	95	75	100	85	100	96	100
1,19	30	70	55	90	75	100	90	100
0,59	15	34	35	59	60	79	80	100
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50
0,15	0	10	0	10	0	10	0	10

Sumber: SNI 03-2834-2000

2.7. Agregat Kasar

Dalam komponen beton, agregat kasar merupakan komponen penyusun utama yang bekerja bersama agregat halus untuk membentuk struktur beton. Material berbentuk butiran granular ini berfungsi sebagai kerangka beton sehingga memberikan kontribusi terhadap kekuatan, kestabilan, dan ketahanan beton dalam menerima berbagai jenis pembebanan. Oleh sebab itu, agregat kasar yang dipakai harus memenuhi spesifikasi agar mutu beton yang dihasilkan sesuai dengan rencana.

Ketentuan mengenai agregat kasar dijelaskan dalam SNI 03-2834:2000 serta SNI ASTM C33 mengenai spesifikasi agregat untuk beton.

Berdasarkan ukuran butirnya, material diklasifikasikan sebagai agregat kasar apabila tertinggal pada saringan Nomor 4. Pada pelaksanaan pekerjaan beton struktural, dimensi maksimal agregat yang umum digunakan adalah 19 mm (3/4 inci). Pemilihan ukuran tersebut perlu disesuaikan dengan dimensi elemen struktur dan jarak antar tulangan agar campuran beton dapat mengalir dengan baik saat pengecoran serta mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi.

Kebersihan agregat kasar juga menjadi faktor penting yang menentukan kualitas beton. Keberadaan lumpur, tanah, maupun bahan organik dalam jumlah yang berlebihan dapat menghalangi proses ikatan antara pasta semen dengan agregat dan akan berakibat penurunan mutu beton.

Gradasi agregat kasar juga menjadi faktor penting karena mempengaruhi *workability*, kepadatan, serta rongga dalam campuran beton. Distribusi ukuran butir yang sesuai akan menghasilkan susunan agregat yang lebih seragam sehingga mendukung terbentuknya beton dengan homogenitas dan kekuatan yang optimal. Pembentukan beton yang padat dan kuat tidak terlepas dari peran semen sebagai bahan pengikat utama dalam campuran. Reaksi hidrasi yang terjadi pada semen memungkinkan terbentuknya ikatan antara agregat, sehingga beton dapat mengeras dengan baik. Penelitian ini dipilih Semen Gresik jenis Portland Composite Cement (PCC) karena karakteristiknya yang memiliki panas hidrasi relatif rendah, daya lekat yang baik, serta mampu menghasilkan campuran beton dengan tingkat *workability* yang sesuai.

2.8. Kuat Lentur

Salah satu sifat mekanis beton yang penting untuk dievaluasi adalah kuat lentur, yaitu besarnya tegangan tarik maksimal pada benda uji ketika pembebanan lentur diberikan

hingga beton mengalami keruntuhan. Pengujian kuat lentur sangat penting terutama pada elemen struktur yang dominan menerima gaya lentur seperti pelat lantai (*slab*), balok, maupun perkerasan kaku (*rigid pavement*). Pada konstruksi perkerasan beton semen, parameter kuat lentur menjadi salah satu dasar utama dalam perencanaan tebal perkerasan karena pelat beton menerima beban kendaraan secara berulang dan kontinu.

Di Indonesia, tahapan dan metode pembebanan dua titik berdasarkan SNI 4431:2011 dan ASTM C78, pembebanan dilakukan melalui dua titik yang diposisikan pada jarak yang sama dari kedua tumpuan. Konfigurasi pembebanan tersebut menghasilkan daerah momen lentur maksimum di tengah bentang sehingga bagian tersebut menjadi zona kritis selama pengujian. Metode ini dianggap mampu menghasilkan distribusi tegangan lentur yang lebih merata dan lebih representatif terhadap kondisi pembebanan aktual pada elemen struktur. Sementara itu, ASTM C293 menggunakan pembebanan satu titik di tengah bentang, sehingga tegangan maksimum hanya terpusat pada satu titik pembebanan. Pengujian kuat lentur dilaksanakan dengan menempatkan benda uji di atas dua tumpuan, kemudian memberikan beban secara bertahap hingga terbentuk retak awal yang diikuti oleh terjadinya keruntuhan pada benda uji.

Kuat lentur ditentukan oleh mutu beton dan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain, seperti jenis agregat, faktor air-semen, metode perawatan (*curing*), serta penambahan bahan aditif berupa serat. Penambahan serat pada beton diketahui mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan retak akibat tegangan tarik lentur. Serat bekerja dengan mekanisme *bridging effect*, yaitu menghambat perambatan retak sehingga beton menjadi lebih daktil dan tidak mudah mengalami keruntuhan getas. Penelitian ini menggunakan pengujian kuat lentur untuk menganalisis pengaruh variasi panjang serat nilon terhadap nilai kuat lentur beton dengan mutu rencana $f_c' 25$ MPa. Penggunaan serat nilon diharapkan mampu meningkatkan kapasitas lentur beton melalui peningkatan ketangguhan (*toughness*) dan kemampuan beton dalam menahan propagasi retak akibat pembebanan lentur.

2.9. Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menjadi pijakan dalam penyusunan penelitian ini. Penelitian-penelitian tersebut dimanfaatkan sebagai sumber rujukan ilmiah sekaligus sebagai dasar perbandingan untuk memperkuat analisis dan pembahasan yang disajikan. Ringkasan mengenai nama peneliti, metodologi yang diterapkan, variasi campuran, serta hasil akhir dari studi empiris sebelumnya dapat dicermati pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu

Peneliti (1)	Metode Penelitian (2)	Variasi (3)	Hasil Penelitian (4)
Kabit dkk. (2024)	Eksperimen menggunakan variabel bebas berupa serat nilon.	Komposisi serat nilon 0%, 0,3%, 0,6%, dan 0,9% terhadap berat semen	Kuat tekan pada umur 7 hari paling optimal pada variasi 0%, yaitu 11,25 MPa. Umur 28 hari paling tinggi variasi 0,9%, yaitu 15,07 MPa.
Ningrum dkk. (2024)	Mutu rencana f'_{cr} 30 MPa dengan nilon diameter 0,6 mm, panjang 8 cm.	Nilon 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5%	Hasil kuat tekan optimal yaitu variasi 1,25% sebesar 26,22 MPa.
Mubeen dkk. (2024)	Penambahan serat nilon bekas pancing dengan panjang serat 25 mm dan tebal 0,6 mm.	variasi 0%, nylon 1%, 2%, 3%, baja 1%, 2%,3%, nilon dan baja 1%, 2%, dan 3%.	Kuat lentur optimal saat ditambah nilon saja terjadi di variasi 1%, yaitu 4,29 MPa. Kuat tekan paling optimum dengan penambahan nilon saja terjadi di 1%, yaitu 20,63 MPa.
Sumardi dkk. (2023)	Percobaan penambahan serat nilon pada beton. Pengujian di umur beton 14 hari dan 28 hari.	variasi sebesar 0% dan 5% dari berat semen.	Hasil pengujian kuat tekan beton kontrol dan beton serat pada umur 14 hari, yaitu 6,30 MPa dan 5,31 MPa. Sementara pada umur 28 hari sebesar 4,60 MPa dan 5,01 MPa. Kuat lentur beton normal pada umur 14 hari dan 28 hari masing-masing sebesar 2,18 MPa dan 2,63 MPa, sedangkan beton serat yaitu 2,22 MPa dan 2,68 MPa.
Manurung dkk. (2023)	Beton f'_{cr} 25 MPa dengan serbuk kaca 20% dan variasi serat. Curing beton menggunakan air tawar dan air laut.	Variasi serat 0%, 0,5%, dan 1%.	Kuat tekan beton optimum terjadi pada variasi serat 1% dan serbuk kaca 20% dengan curing air bersih.
Pebbriani (2021)	Pengujian kuat tekan yang dilaksanakan	Variasi nilon yang digunakan yaitu	Kuat tekan umur 28 hari paling optimum pada variasi beton kertas +

Peneliti (1)	Metode Penelitian (2)	Variasi (3)	Hasil Penelitian (4)
	pada umur 28 hari.	0%, 0,75%, 1%, 1,25%, 2%, 2,25%, dan 2,5% terhadap jumlah semen.	serat nilon 2%, yaitu sebesar 53,94 kg/cm ² . Namun, pada variasi 2,25% mengalami penurunan.
Bheel dkk. (2021)	Eksperimental di laboratorium dan pengujian di umur 28 hari dan 90 hari	Variasi serat nilon dan rami sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dengan volume yang sama.	Nilai kuat lentur tertinggi terjadi pada umur 28 hari dan 90 hari dengan variasi serat nilon dan rami 1%, yaitu 5,38 MPa dan 5,85 MPa. Sedangkan kuat lentur terendah pada variasi 2% dengan nilai 4,45 MPa dan 4,97 MPa.
Nani (2020)	Studi eksperimental balok beton SCC.	serat nilon diameter 0,65 mm dan 0,35 mm dengan panjang 15 mm dan 20 mm, sebanyak 0,5% dan 1% dari berat semen.	Kuat lentur optimal terjadi pada variasi beton dengan penambahan serat nilon 1%, diameter 0,65 mm dengan panjang 20 mm sebesar 5,295 MPa.
Agus (2019)	Eksperimental di laboratorium dan pengujian kuat tekan	persentase nilon 0%, 1%, 1,5%, 2%.	Hasil kuat tekan beton di umur 28 hari paling optimum terjadi pada variasi 1%, yaitu 196,2 kg/cm ² .
Suhana & Sugriana (2016)	Beton f'cr 22,5 MPa menggunakan serat monofilament diameter 1,0 mm dengan panjang 4 cm.	variasi sebesar 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%	Nilai kuat tekan optimal di variasi 0,3% sebesar 298,4 kg/cm ² . Sedangkan untuk kuat lentur optimum yaitu 0,5% sebesar 84,33 kg/cm ² .
Pratama & Hisyam (2016)	Beton dari bubuk kertas, menggunakan penambahan variasi serat nilon diameter 0,8 mm dengan panjang 40 mm.	Variasi serat 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, 1% dari berat semen.	Hasil uji kuat tekan di umur 28 hari pada masing-masing variasi secara berturut-turut sebesar 0,561 MPa, 0,584 MPa, 0,708 MPa, 0,704 MPa, dan 0,918 MPa.
Gunawan dkk. (2015)	Eksperimen dengan benda uji sebanyak 3 buah setiap variasi penambahan serat.	Variasi serat sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%.	Hasil kuat tekan di umur 28 hari paling optimum pada variasi 1%, yaitu 13,94 MPa.

2.10. GAP Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan serat nilon menjadi bahan tambahan dalam adukan beton dengan tujuan mengoptimalkan kuat lentur. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan serat nilon memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan lentur beton. Temuan penelitian Sumardi dkk. (2023),

melaporkan bahwa beton yang mengandung serat nilon memiliki kuat lentur tertinggi daripada beton normal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bheel dkk. (2021), menyimpulkan bahwa penambahan serat sebesar 1% menghasilkan kuat lentur yang paling optimal daripada variasi dengan kadar serat yang lain.

Selain berfokus untuk menaikkan kuat lentur beton, penelitian ini juga harus memperhatikan kuat tekan rencana beton tersebut. Walaupun ada tambahan bahan lain pada campuran beton, sebisa mungkin untuk mempertahankan kuat tekannya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Manurung dkk. (2023), menunjukkan bahwa penambahan serat dengan kadar 1% memberikan pencapaian kekuatan tekan beton yang paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal itu diperkuat oleh Agus (2019) dan Mubeen dkk. (2024), penambahan serat dengan persentase 1% menghasilkan kuat tekan yang optimum, dikarenakan dengan penambahan serat di atas persentase 1% justru akan membuat kuat tekannya turun. Jadi, penelitian ini menggunakan persentase penambahan serat nilon sebesar 1%, untuk mempertahankan kuat tekannya. Sedangkan untuk pembandingnya menggunakan perbedaan panjang serat, karena dari penelitian terdahulu belum ada yang fokus terhadap pengaruh panjang serat.

BAB III

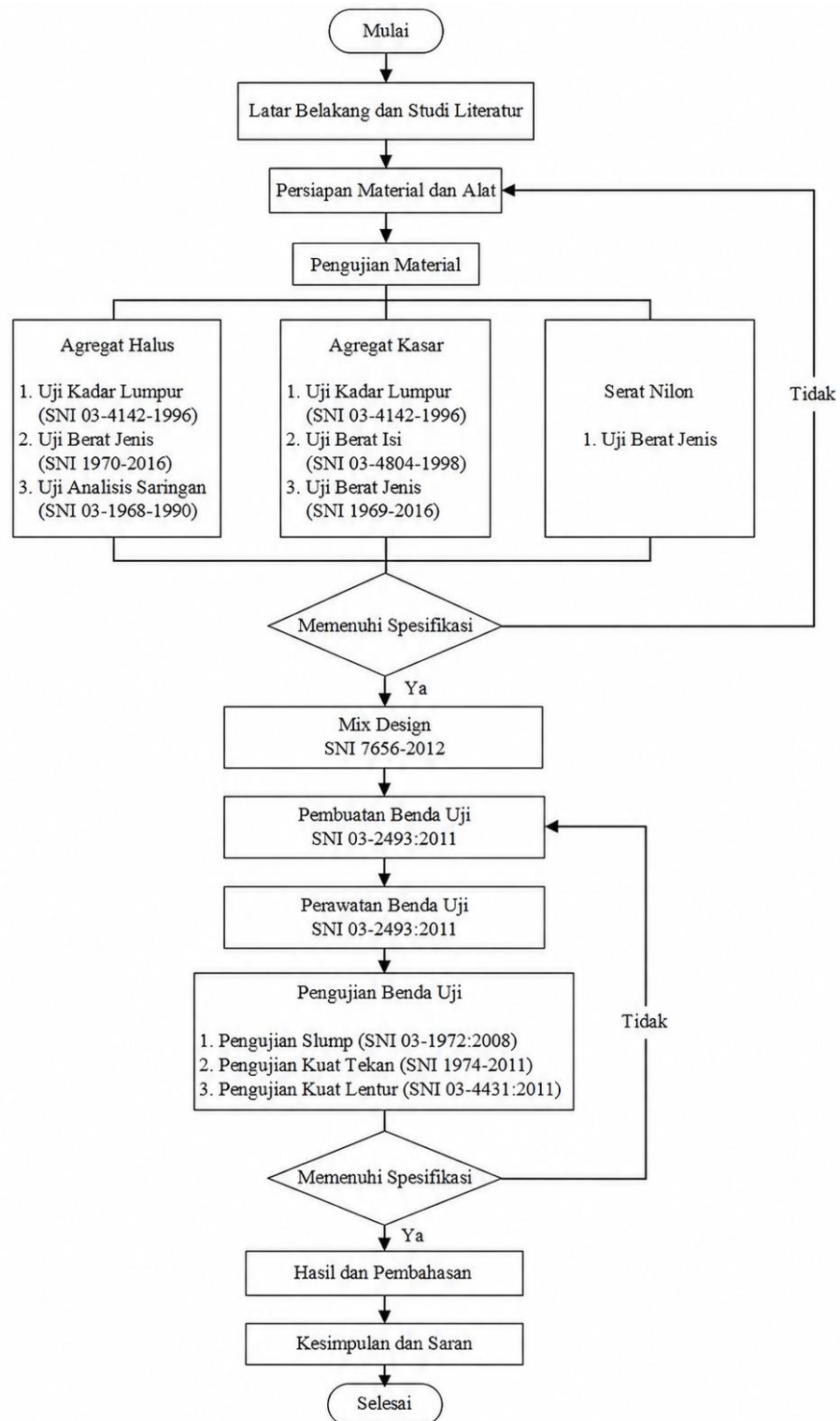
METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental melalui uji coba maupun pengamatan yang dilakukan di laboratorium yang bersifat kuantitatif. Pembuatan benda uji menggunakan mutu rencana f_c' 25 MPa, dengan penambahan serat dalam jumlah yang sama pada setiap variasi beton serat. Mengacu pada penelitian Nani (2020); Pebbriani (2021) penggunaan serat nilon yaitu sebesar 1% dari berat semen. Selain itu, ketentuan tebal serat yaitu 0,6 mm, karena dengan tebal segitu dinyatakan sudah mampu meningkatkan kuat lenturnya. Akan tetapi, digunakan perbedaan panjang serat benang nilon sebagai variabel bebasnya, yaitu 10 mm, 20 mm, dan 30 mm.

Serat dengan panjang 10 mm dipilih untuk mewakili serat pendek yang cenderung lebih mudah untuk terdistribusikan. Variasi panjang 20 mm sebagai panjang menengah sebagai penyeimbang antara proses pencampuran beton dan kemampuan penyaluran tegangan antar bidang retak. Ukuran ini juga menggunakan acuan penelitian oleh Nani (2020), yang mengatakan bahwa panjang serat 20% mampu menghasilkan kuat lentur paling optimum. Sedangkan, panjang serat 30 mm untuk mewakili serat yang lebih panjang dari panjang serat optimum.

Sementara itu, pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat lentur untuk mengetahui pengaruh panjang serat dan kuat tekan untuk memastikan mutu beton mencapai target. Sehingga melalui hasil dari pengujian tersebut dapat diperoleh perbandingan kuat lentur pada beton serat nilon dengan perbedaan variasi panjang dibandingkan dengan beton normal. Untuk mengatur keberjalanan penelitian ini secara sistematis, maka disusun bagan alir penelitian pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.2. Alat-Alat Kerja

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan berbagai peralatan yang terdiri atas:

1. Timbangan bentuk digital dengan beban maksimal 100 kg.



Gambar 3.2. Timbangan Digital

2. Saringan dengan ukuran diameter paling besar 3/8" hingga pan paling kecil.



Gambar 3.3. Saringan

3. *Sieve Shaker* untuk memisahkan ukuran agregat menggunakan getaran mekanis.



Gambar 3.4. *Sieve Shaker*

4. Oven yang temperature suhunya mencapai 110°C .



Gambar 3.5. Oven

5. Kerucut abrams material terbuat dari baja untuk mengukur nilai *slump* dengan ukuran lubang atas serta bawah berdiameter 100 mm dan 200 mm, dan tinggi 300 mm.



Gambar 3.6. Kerucut Abrams

6. Cetakan silinder beton yang terbuat dari baja dengan dimensi 150 x 300 mm.



Gambar 3.7. Cetakan Silinder Beton

7. Cetakan balok beton terbuat dari baja yang berdimensi 100 x 100 x 400 mm.



Gambar 3.8. Cetakan Balok Beton

8. Mixer Beton digunakan untuk mencampur material beton.



Gambar 3.9. Mixer Beton

9. Mesin untuk uji kuat tekan digunakan untuk mengukur dan mengetahui kekuatan sampel uji beton.



Gambar 3.10. *Compression Testing Machine*

10. *Flexural testing machine* untuk mengukur kekuatan beton menahan beban tekukan hingga retak.



Gambar 3.11. Mesin Uji Kuat Lentur

11. Piknometer berukuran 1000 ml dan 500 ml, untuk pengujian berat jenis material

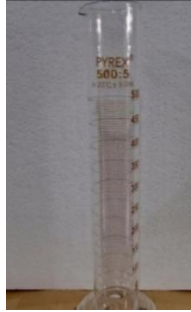


Gambar 3.12. Piknometer 1000 ml



Gambar 3.13. Piknometer 500 ml

12. Gelas ukur yang digunakan adalah ukuran 500 ml sebagai takaran untuk pengujian kadar lumpur agregat halus.



Gambar 3.14. Gelas Ukur 500 ml

13. Pan yang terbuat dari baja sebagai tempat untuk meletakkan campuran beton segar yang akan diuji *slump*.



Gambar 3.15. Pan Baja

14. Meteran digunakan sebagai alat untuk mengukur hasil nilai *slump*.



Gambar 3.16. Meteran

15. Sendok semen berfungsi untuk memasukkan adukan beton ke dalam cetakan.



Gambar 3.17. Sendok Semen

16. Tongkat besi untuk pengujian *slump* dan pemadatan campuran beton segar.



Gambar 3.18. Tongkat Besi

17. Palu terbuat dari karet untuk pemadatan adukan beton melalui cara memukul setiap sisi cetakan beton.



Gambar 3.19. Palu Karet

18. Bak perendaman yang terbuat dari terpal digunakan untuk perawatan beton atau *curing* selama 28 hari



Gambar 3.20. Bak Perendaman Benda Uji

19. Bejana baja yang digunakan sebagai wadah pengujian agregat



Gambar 3.21. Bejana Baja

3.3. Bahan-Bahan Kerja

1. Air

Ciri air yang layak menjadi campuran beton yaitu air jernih tidak keruh.



Gambar 3.22. Air Bersih

2. Semen

Penelitian ini memakai semen jenis PCC yang berasal dari Gresik, Jawa Tengah. Menggunakan semen ini permukaan beton menjadi lebih halus dan tahan retak.



Gambar 3.23. Semen Gresik PCC

3. Agregat Kasar

Penelitian ini menggunakan ukuran maksimum *split* sebesar 19 mm, atau yang tertahan di nomor 4 hingga nomor 1/2". Berasal dari hasil tambang, daerah Kabupaten Batang, Jawa Tengah.



Gambar 3.24. Agregat Kasar

4. Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai dari gunung merapi daerah asal Muntilan, Jawa Tengah. Agregat ini memiliki butiran yang tajam dan keras.



Gambar 3.25. Pasir Muntilan

5. Benang Nilon

Benang nilon yang dipotong dengan variasi panjang 10 mm, 20 mm dan 30 mm.



Gambar 3.26. Benang Nilon

3.4. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai menjadi komponen penyusun beton, harus melalui beberapa pengujian untuk memastikan bahwa agregat ini telah memenuhi persyaratan. Adapun pengujian yang dilaksanakan terdiri atas kadar lumpur, berat jenis dan besar penyerapan air, serta analisis saringan.

3.4.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uji kandungan atau jumlah lumpur merupakan langkah wajib yang dilaksanakan sebelum pencampuran beton, bermaksud untuk mencari persentase lumpur yang ada

pada agregat. Kualitas agregat didasarkan pada hasil pengujian ini, karena kadar lumpur yang melampaui standar dapat menyebabkan pengaruh pada hidrasi semen sehingga mengurangi kekuatan maupun daya ikat pada beton. Menurut SNI S 04-1989-F, jumlah lumpur yang ada pada agregat halus tidak diperbolehkan yaitu melebihi 5%. Jika melampaui nilai tersebut, maka agregat wajib dicuci dahulu sebelum menjadi campuran beton.

Kandungan lumpur sendiri ialah partikel yang tertahan di pan atau dapat dikatakan memiliki ukuran maksimal 0,075 mm. Tahapan pengujian ini berpedoman pada SNI 03-4142-1996 . Agregat yang digunakan dalam kondisi kering oven dan berat minimal sesuai pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Berat Minimal Agregat Halus

Dimensi Maksimum Agregat		Berat Minimal
Nomor Ayakan	mm	Gram
No. 8	2,36	100
No. 4	4,75	500
3/8"	9,50	1000
3/4"	19,00	2500
$\geq 1 \frac{1}{2}$	$\geq 38,10$	5000

Sumber: SNI 03-4142-1996

Pengujian jumlah lumpur dilaksanakan dalam beberapa langkah, berikut tahapan-tahapannya:

A. Tahap Persiapan

1. Siapkan saringan nomor 200 dengan bukaan 0,075 mm untuk di atas dan nomor 16 dengan bukaan 1,18 mm untuk ditumpuk di bawahnya.
2. Siapkan agregat halus yang telah melalui penyaringan (lolos nomor 4) sebanyak minimum 500 gram kering oven.
3. Siapkan timbangan dan oven.

B. Tahap Pelaksanaan

1. Agregat halus kering oven sebanyak 500 gram.



Gambar 3.27. Penyiapan Agregat Halus Kering Oven untuk Uji Kadar Lumpur

2. Tuangkan agregat di gelas ukur 500 ml



Gambar 3.28. Pengisian Agregat Halus di Gelas Ukur

3. Tuangkan air di gelas ukur, hingga agregat terendam semua.



Gambar 3.29. Pengisian Air ke dalam Gelas Ukur

4. Aduk atau kocok agregat yang ada di dalam tempat sampai terlihat perbedaan butir agregat dan lumpur. Usahakan agar kandungan lumpur melayang di air agar dapat dengan mudah untuk mengeluarkannya.
5. Tuangkan air yang terdapat kandungan lumpur tersebut ke atas saringan, lakukan dengan perlahan jangan sampai agregat ikut tertuang.



Gambar 3.30. Penuangan Air yang Ada di dalam Gelas Ukur

6. Lakukan Kembali pekerjaan nomor 3 hingga 5, sampai air terlihat jernih.
7. Jadikan satu agregat yang berada di saringan sebelumnya dengan agregat yang ada di tempat. Pindahkan ke tempat yang memungkinkan untuk dioven.



Gambar 3.31. Pemindahan Agregat yang Tertinggal di Saringan ke Wadah

8. Kemudian masukkan agregat tersebut ke dalam oven hingga tercapai berat tetap.



Gambar 3.32. Pengovenan Agregat Halus Kadar Lumpur

9. Timbang agregat kering oven dan hitung berapa persen kadar lumpur yang terkandung dalam agregat menggunakan rumus di bawah.



Gambar 3.33. Penimbangan Agregat Halus Hasil Kadar Lumpur

Persentase agregat yang melalui saringan nomor 200 dengan bukaan 0,075 mm dapat dihitung melalui rumus di bawah:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Dimana:

W = Persentase kadar lumpur

W_1 = Bobot kering awal (gram)

W_2 = Bobot kering setelah dicuci (gram)

3.4.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berfungsi mencari berat jenis pada agregat dengan kondisi kering permukaan (SSD), kering oven, dan semu. Selain itu juga untuk mengetahui seberapa agregat mampu untuk menyerap air. Metode pengujian ini dilakukan berdasarkan prosedur yang ditetapkan pada SNI-1970-2016. Standar ini mengatur spesifikasi agregat, alat-alat yang diperlukan untuk pengujian, jumlah minimum benda uji, langkah-langkah pengujian, serta bagaimana cara mengolah data yang dihasilkan dari pengujian tersebut.

Berikut adalah langkah-langkah persiapan agregat untuk pengujian:

1. Uji kerucut untuk mengetahui kelembaban permukaan agregat. Letakkan kerucut di tempat datar, diameter lebih besar berada di bawah. Kemudian isi kerucut dengan agregat halus kondisi SSD hingga luber.



Gambar 3.34. Pengisian Agregat Halus ke dalam Kerucut

2. Padatkan agregat dengan menumbuk setinggi 5 mm, lakukan sebanyak 25 kali.



Gambar 3.35. Pemadatan Agregat Halus dengan Batang Penumbuk

3. Bersihkan sisa agregat yang ada disekitar kerucut.
4. Angkat kerucut secara perlahan. Agregat runtuh jika mencapai kondisi SSD.



Gambar 3.36. Pengangkatan Kerucut

Setelah persiapan agreagat halus selesai, maka langkah selanjutnya adalah pengujian berat jenisnya. Tahapan-tahapan pengujiannya sebagai berikut:

1. Isi sebagian piknometer dengan air



Gambar 3.37. Pengisian Air ke dalam Piknometer

2. Siapkan agregat halus sebanyak (500 ± 10) gram



Gambar 3.38. Penyiapan Agregat Halus untuk Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air

3. Masukkan agregat kondisi SSD ke dalam piknometer kapasitas 1000 ml.



Gambar 3.39. Pengisian Agregat Halus ke dalam Piknometer

4. Tambahkan kembali air hingga 90% dan guncangkan piknometer secara selama (15 – 20 menit). Kemudian hilangkan buih air menggunakan ujung handuk
5. Tambahkan air dalam piknometer hingga batas pembacaan pengukuran.



Gambar 3.40. Penambahan Air Hingga Batas Pembacaan

6. Timbang berat keseluruhan (piknometer, benda uji, dan air).



Gambar 3.41. Penimbangan Berat Piknometer, Air, dan Agregat Halus

7. Agregat dikeluarkan dari piknometer dan dikeringkan dalam oven hingga berat tetap.



Gambar 3.42. Pengovenan Agregat Halus Uji Berat Jenis

8. Dinginkan di suhu ruang sekitar $(1,0 \pm 0,5)$ jam
9. Timbang beratnya.



Gambar 3.43. Penimbangan Hasil Oven Berat Jenis Agregat Halus

Setelah melakukan pengujian, data yang diperoleh dihitung untuk mencari berat jenisnya dengan rumus:

$$\text{Berat jenis (curah)} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Berat jenis (semu)} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\%$$

Keterangan:

- A = bobot agregat kondisi kering oven (gram)
 B = bobot piknometer dan air (gram)
 C = bobot piknometer, agregat, dan air hingga batas pembacaan (gram)
 S = bobot agregat keadaan SSD (gram)

Berdasarkan literatur teknologi beton seperti Neville (2011), yang merujuk pada SNI 03-1970:2016, angka berat jenis yang memenuhi persyaratan kisaran 2,4 – 2,7. Sedangkan untuk penyerapan air yang ada pada agregat merujuk pada SNI-1971-2011, normalnya berkisar di antara 0,2 – 2,0 %.

3.4.3. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Tahapan *grain size analysis* dilakukan berdasarkan metode yang tercantum dalam SNI 03-1968-1990. Tujuan pengujian ini untuk menganalisis pembagian ukuran butiran agregat sekaligus menghitung modulus kehalusannya (FM). Data hasil distribusi saringan ini berupa persentase dari berat agregat yang tertahan pada tiap saringan yang mempunyai diameter lubang yang berbeda-beda. Diameter saringan akan direkapitulasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Nomor Ayakan untuk Pengujian Agregat Halus

No Ayakan	Diameter (mm)
3/8"	9,5
No. 4	4,75
No. 8	2,36
No. 16	1,18
No. 30	0,6

No Ayakan	Diameter (mm)
No. 50	0,3
No. 100	0,15
No. 200	0,075

Sumber: SNI 03-1968-1990

Menurut SNI 03-1968-1990, pemisah antara agregat halus dan kasar adalah saringan nomor 4. Selanjutnya pada SNI 03-2834-2000, agregat halus memiliki ukuran terbesar di 5,0 mm. Berdasarkan kedua standar tersebut, agregat halus dapat diartikan sebagai agregat yang melalui saringan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm. Selain itu, berdasar SNI 7656:2012, modulus kehalusan berada di rentang 2,4 – 3,0.

Berikut adalah cara pengujian analisis saringan:

1. Siapkan agregat halus keadaan kering oven dengan berat minimum 500 gram.



Gambar 3.44. Penyiapan Agregat Halus untuk Pengujian Analisis Saringan

2. Letakkan agregat ke saringan yang sudah diurutkan



Gambar 3.45. Pengisian Agregat Halus ke dalam Saringan

3. Guncangkan saringan selama 15 menit menggunakan tangan atau mesin pengguncang.



Gambar 3.46. Proses Penyaringan Agregat Halus Menggunakan *Sieve Shaker*

4. Timbang dan hitung persentase agregat yang tertinggal di saringan



Gambar 3.47. Penimbangan Agregat Halus yang Tertinggal pada Setiap Saringan

Hasil berat yang sudah diketahui pada setiap saringan, dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{W - W_1}{W} \times 100\%$$

Dengan:

W = berat awal

W_1 = berat setelah disaring

$$FM = \frac{\text{Jumlah persentase kumulatif tertahan di atas saringan no 200}}{100}$$

3.5. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang diperlukan menjadi bahan penyusun beton, harus melalui beberapa pengujian untuk memastikan bahwa agregat ini telah memenuhi persyaratan. Pengujian yang dilaksanakan mencakup kadar lumpur, berat isi, serta berat jenis dan besar penyerapan air.

3.5.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian ini salah satu tahapan yang perlu dilakukan sebelum agregat difungsikan dalam memproduksi beton. Pengujian ini bertujuan untuk mencari persentase jumlah lumpur yang terdapat pada agregat. Menurut SNI S-04-1989-F, kandungan partikel lumpur pada agregat kasar dibatasi maksimum sebesar 1%. Metode pelaksanaan pengujian mengacu pada prosedur dalam SNI 03-4142-1996. Dalam standar tersebut, benda uji yang digunakan berupa agregat dalam keadaan kering oven dengan berat minimal sesuai pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Berat Minimal Agregat Kasar Kering Oven

Dimensi Maksimal Agregat		Berat Minimal Agregat
Nomor Ayakan	mm	Gram
No. 8	2,36	100
No. 4	4,75	500
3/8"	9,50	1000
3/4"	19,00	2500
$\geq 1\ 1/2$	$\geq 38,10$	5000

Sumber: SNI 03-4142-1996

Pengujian jumlah lumpur dilakukan dalam beberapa langkah, berikut tahapan-tahapannya:

A. Tahap Persiapan

1. Siapkan agregat kasar yang tertinggal di saringan nomor 4 sebanyak 2500 gram secara acak dan sudah dikeringkan dalam oven.
2. Siapkan timbangan dan oven.

B. Tahap Pelaksanaan

1. Timbang agregat sebesar 2500 gram



Gambar 3.48. Penyiapan Agregat Kasar Kering Oven untuk Pengujian Kadar Lumpur

2. Masukkan agregat kasar ke dalam wadah, kemudian cuci hingga bersih.



Gambar 3.49. Pencucian Agregat Kasar

3. Pindahkan agregat kasar ke wadah yang tahan panas, kemudian oven agregat kasar hingga berat tetap.



Gambar 3.50. Pengovenan Agregat Kasar Kadar Lumpur

4. Timbang agregat kering oven dan hitung berapa persen kadar lumpur yang terkandung dalam agregat.



Gambar 3.51. Penimbangan Agregat Kasar Hasil Kadar Lumpur

Persentase agregat yang melalui saringan nomor 200 dengan bukaan 0,075 mm akan dihitung melalui rumus di bawah:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Dimana:

W = persentase kadar lumpur

W_1 = bobot kering awal (gram)

W_2 = bobot kering setelah dicuci (gram)

3.5.2. Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pengujian ini dilaksanakan untuk menetapkan massa material per satuan volume, baik kondisi gembur maupun padat. Semakin tinggi berat isi agregat, maka ruang kosong antara agregat akan semakin kecil. Sehingga pasta semen serta serat nilon akan mengisi ruang tersebut, sehingga ikatan yang terbentuk menjadi lebih baik. Selain itu, nilai berat isi juga dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan material dengan mengonversikan kebutuhan satuan volume menjadi satuan berat. Metode pada penelitian ini berdasarkan prosedur dari SNI 03-4804-1998. Dalam standar ini mengatur tentang spesifikasi peralatan yang diperbolehkan, cara menguji agregat, dan cara mengolah data hasil pengujian.

Tahapan pengujian berat isi agregat meliputi:

1. Ukur berat bejana yang dipakai.



Gambar 3.52. Penimbangan Bejana untuk Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

2. Masukkan agregat hingga penuh dan ratakan permukaannya.



Gambar 3.53. Pengisian Agregat Kasar ke dalam Bejana

3. Timbang agregat dan berat bejana sendiri.



Gambar 3.54. Penimbangan Agregat Kasar dan Bejana

Data yang sudah didapatkan dari hasil pengujian tadi diolah dengan perhitungan di bawah ini:

1. Berat Isi

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{atau} \quad M = (G - T) \times F$$

Keterangan:

- M = berat isi kering oven (kg/m^3)
- G = bobot agregat dan penakaran (kg)
- T = bobot penakaran (kg)
- V = volume penakar (m^3)
- F = faktor penakaran (m^{-3})

2. Kadar Rongga Udara

$$\text{Rongga Udara} = \frac{[(S \times W) - M]}{(S \times W)} \times 100\%$$

Keterangan:

- M = berat isi agregat kering oven (kg/m^3)
- S = berat jenis agregat keadaan kering oven
- W = kerapatan air 998 (kg/m^3)

3.5.3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini berfungsi mencari berat jenis pada agregat dengan kondisi SSD, kering oven, dan semu. Semakin besar nilai kadar air, semakin banyak kebutuhan air yang digunakan, sehingga harus diperhitungkan dalam mix desain agar tidak terjadi kesalahan mengenai faktor air semen. Metode pengujian ini merujuk pada prosedur dari SNI 1969:2016. Standar ini mengatur spesifikasi agregat, alat yang diperlukan, jumlah minimum benda uji, langkah-langkah pengujian, serta bagaimana cara mengolah data yang dihasilkan dari pengujian tersebut.

Pengambilan agregat yang dibutuhkan untuk pengujian juga memiliki ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Pisahkan agregat yang lolos saringan nomor 4
2. Agregat harus bersih dari partikel lain yang terdapat dipermukaannya.
3. Berat minimum agregat kasar yang digunakan untuk pengujian berdasarkan dimensi maksimal agregat yang digunakan, sesuai dengan Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Berat Benda Uji Minimal

Dimensi Maksimal Nominal		Berat Agregat Minimal
mm	inchi	Kg
150	6	125
125	5	75
112	4 1/2	50
100	4	40
90	3 1/2	25
75	3	18
63	2 1/2	12
50	2	8
37,5	1 1/2	5
25,0	1	4
19,0	3/4	3

Dimensi Maksimal Nominal		Berat Agregat Minimal
mm	inchi	Kg
12,5	1/2	2
9,50	3/8	2
4,75	-	2

Sumber: 1969:2016

Untuk tahapan pengujiannya sendiri, meliputi:

1. Oven agregat kasar seberat 3000 gram.



Gambar 3.55. Penyiapan Agregat Kasar untuk Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air

2. Dinginkan agregat di ruangan terbuka selama 1 – 3 jam.
3. Rendam agregat di ruang terbuka selama 15 – 19 jam.



Gambar 3.56. Perendaman Agregat Kasar

4. Pindahkan agregat ke lembaran penyerapan air dan gulung bolak-balik hingga air pada permukaan hilang. Kerjakan dengan hati-hati untuk menghindari penguapan air.



Gambar 3.57. Proses Menghilangkan Air pada Permukaan Agregat Kasar

5. Jika agregat melewati kondisi SSD, rendam kembali agregat sekitar 30 menit. Kemudian keringkan kembali hingga kondisi SSD.
6. Catat berat agregat.



Gambar 3.58. Penimbangan Agregat Kasar Kering Permukaan

7. Pindahkan agregat keadaan ke dalam wadah dan timbang di dalam air.



Gambar 3.59. Penimbangan Agregat Kasar di dalam Air

8. Guncangkan wadah yang terendam dengan hati-hati untuk menghilangkan udara yang terperangkap.
9. Masukkan agregat ke oven.



Gambar 3.60. Pengovenan Agregat Kasar Uji Berat Jenis dan Besar Penyerapan Air

10. Dinginkan di ruangan terbuka selama 1-3 jam, lalu timbang beratnya



Gambar 3.61. Penimbangan Hasil Kering Oven Agregat Kasar

Setelah pengujian selesai, data yang dihasilkan diolah melalui perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{B - C} \\ \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B}{B - C} \\ \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{A - C} \\ \text{Penyerapan air} &= \frac{B - A}{A} \times 100\%\end{aligned}$$

Keterangan:

- A = bobot agregat kering oven (gram)
- B = bobot agregat SSD di udara (gram)
- C = bobot agregat dalam air (gram)

Berdasarkan literatur teknologi beton seperti Neville (2011), yang merujuk pada SNI 03-1970:2016, nilai berat jenis yang berada pada standar persyaratan yaitu kisaran 2,4 – 3,0 gram/cm³. Sedangkan untuk penyerapan air yang ada pada agregat merujuk SNI-1971-2011, normalnya berkisar di antara 0,2 – 2,0 %.

3.6. Pengujian Berat Jenis Nilon

Metode pengujian berat jenis nilon ini tidak terdapat standar khusus yang dapat menjadi acuan, sehingga untuk pada penelitian ini menggunakan acuan pengujian berat jenis agregat halus dengan menggunakan piknometer. Adapun pengambilan benda uji menggunakan 5 gram benang nilon kering, karena sudah dianggap dapat mewakili kondisi material dan pengukuran pada piknometer tetap dapat dilakukan secara teliti. Penggunaan benda uji yang terlalu banyak, dapat menyulitkan proses perendaman. Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis benang nilon yang akan dimanfaatkan menjadi bahan tambah penyusun beton agar proporsi

yang diperlukan dapat dihitung secara tepat.

Berikut langkah-langkah pengujian berat jenis nilon menggunakan piknometer:

1. Timbang benang nilon sebanyak 5 gram.



Gambar 3.62. Penyiapan Benang Nilon sebanyak 5 Gram

2. Isi piknometer dengan air hingga penuh, timbang.



Gambar 3.63. Pengisian Air pada Piknometer dan Penimbangan Beratnya

3. Masukkan nilon ke piknometer berisi air, timbang. Lalu diamkan sekitar 24 jam.



Gambar 3.64. Pengisian Benang Nilon ke dalam Piknometer

4. Buang air yang ada di dalam piknometer.
5. Keluarkan benang nilon dari piknometer dan timbang beratnya.



Gambar 3.65. Penimbangan Benang Nilon Basah

6. Oven agregat hingga berat tetap.



Gambar 3.66. Pengovenan Benang Nilon

7. Timbang benang nilon kering oven.



Gambar 3.67. Penimbangan Benang Nilon Kering Oven

Dari langkah-langkah berikut, dapat diketahui berat jenis benang nilon menggunakan perhitungan:

$$\text{Berat Jenis Nilon} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Keterangan:

A = bobot benang nilon

B = bobot piknometer + air penuh

C = bobot piknometer + benang nilon + air

3.7. Mix Desain

Perhitungan kadar penyusun beton menggunakan acuan dari SNI 7656:2012 dengan rencana mutu yang ditargetkan mencapai f'_c 25 MPa. Perencanaan ini untuk mendapatkan komposisi campuran yang sesuai agar mencapai target dari mutu yang sudah direncanakan. Melalui perhitungan komposisi ini, diharapkan mendapatkan proporsi material yang tepat, sehingga bahan tambah serat nilon dapat terdistribusikan dengan baik tanpa mengurangi tingkat kepadatan beton dan dapat memaksimalkan kontribusi serat terhadap kuat lentur pada beton.

Berikut langkah-langkah membuat *job mix desain* yang sesuai dengan SNI 7656:2012:

1. Menentukan Kuat Tekan Rencana

Pada penelitian pembuatan beton serat nilon ini difokuskan untuk beton balok struktur. Dari informasi tersebut dapat disimpulkan, mengacu pada Tabel 19.3.2.1 SNI-2847-2019 batasan minimum mutu beton untuk elemen struktur dengan kontak air dan permeabilitas rendah adalah f'_c 17 Mpa. Jadi kami merencanakan mutu beton f'_c 25 Mpa, sehingga aman secara regulasi untuk struktur.

2. Menentukan Jenis Semen

Semen yang dipakai yaitu semen gresik jenis PCC.

3. Pemilihan Nilai *Slump*

Nilai *slump* rencana yaitu 75-100 mm, agar adukan beton tidak terlalu cair maupun terlalu kaku.

4. Pemilihan Dimensi Agregat

Dimensi maksimum agregat kasar harus ditentukan terlebih dahulu karena memengaruhi kebutuhan air, kebutuhan agregat, *workability*, serta kemudahan pelaksanaan di lapangan. Batas maksimal dimensi agregat kasar yang diaplikasikan yaitu 19 mm

5. Perkiraan Kadar Air

Kebutuhan air dan semen yang akan digunakan dalam campuran beton, harus dihitung sesuai perencanaan *slump* dan juga dimensi maksimum agregat kasar yang akan dipakai. Hal ini bertujuan agar campuran beton tidak terlalu kaku maupun terlalu cair. Kebutuhan ini sudah direncanakan dalam tabel yang ada di dalam SNI 7656:2012, berikut detail tabelnya:

Tabel 3.5. Kadar Air Pencampur berdasarkan *Slump* dan Dimensi Maksimum Agregat Kasar

Kadar Air (kg/m ³) Sesuai Dimensi Agregat Kasar Maksimum								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tidak terdapat Tambahan Udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Udara yang ada di dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton Beserta Tambahan Udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
>175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar udara yang ditetapkan dengan tingkat: Pemaparan ringan (%)	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5**	1,0**

Kadar Air (kg/m ³) Sesuai Dimensi Agregat Kasar Maksimum								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Pemaparan sedang (%)	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5**	3,0**
Pemaparan berat (%)	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5**	4,0**

Sumber: SNI 7656:2012

6. Penentuan Rasio Air dan Semen

Rasio air dan semen didapat dari perbandingan jumlah air dibanding jumlah kebutuhan semen yang ada pada campuran beton. Hal itu menjadi faktor *workability* dan kuat tekan pada beton. Faktor air semen yang kecil, berarti kuat tekan beton semakin tinggi. Akan tetapi, untuk *workability* atau tingkat kemudahan dalam pengerjaan akan semakin rendah. Jika pekerjaan beton sulit, maka beton tidak dapat mengisi cetakan dengan optimal dan akan membuat beton berongga yang akan sangat memungkinkan menyebabkan kuat tekan turun. Penggunaan rasio ini akan didetailkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.6. Rasio Air dan Semen (w/c)

Mutu Rencana 28 Hari (Mpa)	Rasio Air dan Semen (Berat)	
	Beton tidak terdapat Tambahan Udara	Beton Beserta Tambahan Udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Sumber: SNI 7656:2012

7. Menentukan Kebutuhan Semen per m³

Setelah rasio air-semen ditentukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung kebutuhan semen yang diperlukan dalam campuran beton. Perhitungan ini

digunakan sebagai dasar untuk mengetahui proporsi agregat halus maupun kasar, serta benang nilon yang dibutuhkan. Kebutuhan semen dapat dihitung dengan membagi kebutuhan air campuran terhadap nilai rasio air-smen yang sudah ditetapkan.

8. Menghitung Kadar Agregat Kasar

Dalam perencanaan komposit beton beton, menentukan kadar agregat kasar menggunakan parameter modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat halus. Sehingga volume agregat kasar yang direncanakan sesuai dengan tabel di bawah:

Tabel 3.7. Volume untuk Agregat Kasar per m³

Dimensi Agregat Maksimum (mm)	Volume untuk Agregat Kasar Kering Oven Berdasar FM Agregat Halus			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber: SNI 7656:2012

9. Menghitung Kadar Agregat Halus

Volume agregat halus yang digunakan dapat diperkirakan dari perbedaan berat beton segar yang ada pada tabel 3.12 dan berat total dari bahan-bahan yang sudah dihitung pada nomor 1 hingga nomor 6. Berat satuan yang ada pada tabel ini didapatkan dari pengalaman sebelumnya dengan tingkat ketelitian yang cukup. Berat perkiraan beton segar ini berdasarkan parameter dimensi maksimum *split*, yang akan didetail pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Asumsi Bobot Beton Segar

Dimensi Maksimum <i>split</i> (mm)	Asumsi Bobot Beton (kg/m ³)	
	Beton tidak terdapat Tambahan Udara	Beton Beserta Tambahan Udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Sumber: SNI 7656:2012

Jika menggunakan acuan dimensi maksimum agregat yang digunakan yaitu 19 mm, maka berat beton segar diperkirakan adalah 2345 (kg/ m³). Akan tetapi tabel ini dapat langsung digunakan apabila kadar semen 330 kg/m³, nilai *slump* sedang (75 – 100 mm), dan berat jenis sebesar 2,7. Jika tidak sesuai, maka berat perkiraan beton dapat dihitung menggunakan volume absolut.

3.8. Benda Uji

Benda uji menjadi salah satu elemen yang harus ada dalam penelitian eksperimental beton karena digunakan sebagai media untuk mengetahui karakteristik dan perilaku beton terhadap berbagai jenis pembebanan. Pada penelitian ini, benda uji dengan mutu target f'_c 25 Mpa dibuat menggunakan variasi penambahan serat nilon berupa benang nilon. Berdasarkan kebutuhan pengujian, penelitian ini menggunakan beberapa jenis dan ukuran cetakan yang mengacu pada SNI 03-2493-1991 dan akan disajikan pada Tabel 3.13.

Tabel 3.9. Dimensi Cetakan

Bentuk Cetakan	Dimensi Cetakan (mm)
Kubus	150 x 150 x 150
	200 x 200 x 200
Balok	400 x 100 x 100
	600 x 150 x 150
Silinder	Diameter 50 dan tinggi 100
	Diameter 150 dan tinggi 300

Sumber: SNI 03-2493-1991

3.8.1. Jumlah dan Jenis Benda Uji

Penelitian ini melibatkan 12 buah benda uji berbentuk silinder yang memiliki diameter 15 cm dengan ketinggian 30 cm. Selain itu, juga balok dengan lebar dan tinggi 10 cm, serta panjang 40 cm, untuk pengujian kuat lentur. Semua benda uji dibuat dan diberi perawatan sesuai dengan standar yang ditetapkan, sehingga hasil yang diperoleh mampu dipertanggungjawabkan. Informasi mengenai jenis, ukuran, serta banyaknya benda uji disajikan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Jenis dan Ukuran Benda Uji

Umur 7 Hari			
Variasi	Silinder (buah)	Balok (buah)	Jumlah (buah)
BN	3	-	3
V1	3	-	3
V2	3	-	3
V3	3	-	3
Umur 28 Hari			
BN	3	3	6
V1	3	3	6

Variasi	Silinder (buah)	Balok (buah)	Jumlah (buah)
V2	3	3	6
V3	3	3	6
Total			36

3.8.2. Pembuatan Benda Uji

Prosedur pembentukan benda uji serta perawatannya merujuk pada prosedur dari SNI 03-2493:2011. Standar ini mengatur tentang persyaratan alat, jumlah dan ukuran benda uji, tahapan pembuatan benda uji, serta bagaimana cara merawat benda uji. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kegagalan dalam membuat benda uji beton.

Sebelum proses pembuatan benda uji dilaksanakan, seluruh material penyusun beton harus dipersiapkan dan ditempatkan di lokasi yang terlindung dari panas matahari serta hujan. Untuk material semen diletakkan di dalam ruangan laboratorium yang kering dan tidak lembab, serta diberi alas untuk penyimpanan seperti kayu. Sedangkan untuk agregat kasar dan agregat halus diletakkan di luar ruangan, karena untuk mempermudah akomodasi. Akan tetapi, diberi penutup berupa terpal agar meminimalisir terkena panas dan hujan.

Tahapan pelaksanaan pembuatan benda uji beton berdasarkan standar yang ada, meliputi:

1. Penimbangan material

Material yang ditimbang berupa agregat halus maupun kasar, air, semen, dan benang nilon sesuai dengan mix desain yang ada.



Gambar 3.68. Penimbangan Material

2. Pengadukan campuran beton

Volume adukan memiliki harus dilebihkan minimal 10% dari perhitungan.

Pencampuran material menggunakan mesin pengaduk.



Gambar 3.69. Pengadukan Campuran Beton

3. Sebelum dicetak, permukaan adukan harus ditutup rapat agar tidak terjadi penguapan dan dilakukan uji *slump* terlebih dahulu.

4. Pembuatan benda uji

- a. Penempatan cetakan diletakan di tempat rata, keras, dan bebas dari getaran, serta terletak di sekitar dengan tempat yang akan digunakan untuk menyimpan benda uji selama 24 jam. Apabila tempat penyimpanan tidak terjangkau untuk melukan cetakan, maka benda uji dalam cetakan harus dipindah dengan segera ke tempat penyimpanan.

- b. Masukkan campuran beton ke dalam cetakan menggunakan sekop. Aduk kembali campuran menggunakan sekop, apabila diperlukan untuk menghindari segregasi. Pemadatan menggunakan metode penusukan atau penggeteran.



Gambar 3.70. Pemadatan Campuran Beton

- c. Setelah dipadatkan, permukaan benda uji diratakan menggunakan raskam hingga rata.

5. Perawatan

Setelah benda uji selesai, maka harus dilakukan perawatan sebagai berikut:

- a. Tutup benda uji menggunakan bahan kedap air, namun harus menjaga kelembabannya. Jauhkan permukaan benda uji dari air selama 24 jam.
- b. Pelepasan cetakan bisa dilakukan sekitar 20 jam hingga 48 jam setelah pencetakan.
- c. Merendam benda uji hingga saat pengujian, disimpan di tempat yang aman dari getaran, khususnya 48 jam pertama dari pelepasan.



Gambar 3.71. Perendaman Benda Uji

- d. Pengecualian untuk balok, sekitar 24 jam sebelum dilakukan pengujian harus harus direndam dalam air. Kemudian keluarkan benda uji dan diamkan beberapa saat agar permukaannya cukup kering.

3.9. Pengujian Beton

Pengujian beton dilakukan untuk mencari sifat mekanis beton segar maupun beton keras. Penelitian ini melaksanakan uji *slump* pada beton segar, sedangkan pengujian kekuatan lentur dan kekuatan tekan beton diaplikasikan pada kondisi beton keras. Seluruh prosedur mengacu pada standar pengujian yang berlaku

3.9.1. Pengujian *Slump*

Metode pengujian ini merujuk pada prosedur yang ada di dalam SNI 03-1972:2008. Pada standar ini menjelaskan apa fungsi dari pengujian *slump*, spesifikasi peralatan yang digunakan, langkah-langkah pengujian, serta ketelitian hasil dari uji *slump*. Fungsi dari pengujian ini untuk mengetahui bagaimana *workability* beton segar, yang dimana dapat mempengaruhi bagaimana proses pencampuran, pengangkutan, pengecoran, serta pemadatan beton di lapangan. Memastikan beton segar memiliki kemampuan yang cukup untuk mengisi cetakan dengan merata tanpa terjadi

segregasi, serta beton segar dapat dengan mudah untuk dilakukan pemadatan.

Berikut merupakan langkah-langkah untuk pengujian *slump* menurut SNI 03-1972:2008:

1. Letakkan cetakan di permukaan datar, kemudian basahi cetakan menggunakan oli.
2. Isi cetakan dengan campuran beton dalam 3 lapis, sepertiga, dua pertiga dan yang terakhir full melebihi cetakan.
3. Tusuk campurann beton sebanyak 25 kali secara merata menggunakan batang penusuk untuk pemadatan. Lalu ratakan permukaan jika sudah penuh
4. Angkat segera cetakan dari adukan beton secara hati-hati.
5. Ukur segera *slump* dengan cara meletakkan penggaris atau meteran di atas cetakan hingga menyentuh campuran beton.

3.9.2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini adalah salah satu metode untuk mengevaluasi kualitas dan kinerja mekanik beton terhadap beban tekan, yang dimana berkaitan langsung dengan target mutu beton. Tahapan prosedur pengujian dilakukan mengikuti SNI 1974:2011. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji wajib melalui proses *curing* terlebih dahulu agar hidrasi semen langsung optimal dan menghasilkan kekuatan yang representatif. Perhitungan kuat tekan beton dilakukan dengan membandingkan beban tertinggi yang diterima terhadap luas penampangnya.

Langkah-langkah pengujian kuat tekan menggunakan CTM yang telah terkalibrasi, sebagai berikut:

1. Perlakuan Benda Uji

Pengujian dilakukan sesegera mungkin ketika benda uji masih lembab.

2. Toleransi Waktu Pengujian

Toleransi yang diberikan untuk pengujian berdasarkan umur uji sendiri, yang akan didetailkan pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Waktu Toleransi yang Diizinkan

Umur Beton	Toleransi
12 jam	± 15 menit (2,1%)
24 jam	± 30 menit (2,1 %)
3 hari	± 2 jam (2,8 %)
7 hari	± 6 jam (3,6 %)
28 hari	± 20 jam (3,0 %)
90 hari	± 2 hari (2,2 %)

Sumber: SNI 1974:2011

3. Perletakan Benda Uji

- Taruh bantalan pada bagian yang memiliki permukaan keras.
- Sebelum pengujian dimulai, pastikan indikator beban menunjukkan angka nol dan benda uji berada tepat di tengah.

4. Pembebanan

Berikan pembebanan secara perlahan, hingga silinder hancur.



Gambar 3.72. Pengujian Kuat Tekan

3.9.3. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kapabilitas beton menahan tegangan dari pembebanan lentur. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui perilaku beton terhadap beban yang bekerja pada elemen struktur seperti perkerasan jalan. Metode pengujian ini sesuai dengan prosedur yang ada dalam SNI 03-4431:2011. Beton yang akan diuji berupa balok yang mempunyai lebar dan tinggi 10 cm, serta panjang 40 cm. Perhitungan kuat lentur beton didapatkan berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji hingga mengalami retak atau patah akibat pembebanan lentur.

Setelah melakukan pengujian, data yang diperoleh dapat diolah menggunakan rumus di bawah berdasarkan letak retaknya, yaitu:

$$\text{Jika patah di daerah pusat } \sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$\text{Jika patah di luar pusat (jarak ke titik pusat } < 5\%), \sigma_1 = \frac{P.a}{b.h^2}$$

Dengan pengertian:

σ_1 = kuat lentur (MPa)

P = beban tertinggi

L = jarak bentang antara dua titik tumpuan (mm)

b = lebar penampang (mm)

h = tinggi benda uji (mm)

a = jarak rata-rata antara bidang retak dengan tumpuan terdekat.

Berdasarkan dari hasil pengamatan dan pengujian eksperimental yang sudah banyak dilakukan, lalu diadopsi dalam standar desain beton seperti ACI 318 dan kemudian digunakan pada SNI 2847-2019, hasil kuat lentur yang diterima harus memenuhi perhitungan di bawah.

$$F_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c}$$

Keterangan:

F_r = kuat lentur beton (MPa)

0,62 = koefisien empiris untuk beton normal

F'_c = kuat tekan beton (MPa)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Umum

Data yang diterima selama pengujian di Laboratorium, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, berupa uji bahan agregat yaitu uji kandungan lumpur, uji berat jenis dan besar penyerapan air, uji berat isi, uji analisa saringan, dan uji kuat tekan beton silinder. Sedangkan hasil yang diperoleh dari Laboratorium Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, yaitu berupa uji kuat lentur beton. Hasil pengujian material berfungsi untuk mengetahui spesifikasi dari bahan yang akan dipakai untuk adukan beton. Sementara itu, hasil pengujian mekanik beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton yang telah dibuat terhadap pembebanan dan menahan tegangan lentur. Hasil dari seluruh pengujian material maupun mekanik beton tersebut digunakan untuk dasar menganalisis pengaruh variasi yang ditetapkan terhadap performa beton.

4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Karakteristik agregat halus ditentukan melalui serangkaian pengujian yang dilakukan sebelum tahap pembuatan beton. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data sifat agregat untuk acuan perhitungan *mix design*. Material ini memerlukan pengujian kadar lumpur, berat jenis dan besar penyerapan air, serta analisis saringan. Adapun parameter dari seluruh pengujian agregat halus disajikan secara rinci pada subbab berikut

4.2.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan harus melalui ayakan nomor 4 dengan ukuran bukaan 4,75 mm. Persentase kadar lumpur diperoleh berdasarkan hasil pengujian menggunakan perhitungan berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dimana:

W_1 = jumlah agregat awal (gram)

W_2 = jumlah agregat kering setelah dicuci (gram)

Hasil pengujian:

1. Benda Uji 1

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 452,5 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 1)} &= \frac{500 - 452,5}{500} \times 100 \\ &= 9,5\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 447,2 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 2)} &= \frac{500 - 447,2}{500} \times 100 \\ &= 10,56\% \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 453,8 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lumpur (benda uji 3)} &= \frac{500 - 453,8}{500} \times 100 \\
 &= 9,24\% \\
 \text{Sehingga rata-rata kadar lumpur} &= \frac{9,5 + 10,56 + 9,24}{3} \\
 &= 9,77\%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, akan diringkas dan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengukuran	Benda Uji 1 (gram)	Benda Uji 2 (gram)	Benda Uji 3 (gram)
Bobot sebelum dicuci (kering)	500	500	500
Bobot setelah dicuci (kering)	452,5	447,2	453,8
Kadar lumpur (%)	9,5	10,56	9,24
Rata-rata kandungan lumpur (%)	9,77		

Hasil persentase dari pengujian kadar lumpur yang telah diperoleh dari sampel 1 hingga sampel 3 berturut-turut yaitu 9,5%; 10,56%; dan 9,24%. Maka rata-rata kadar lumpur yang didapat yaitu 9,77% yang berarti mengacu pada SNI S-04-1989-F, agregat ini tidak lolos syarat kadar lumpur karena melebihi 5%. Jadi, diperlukan pencucian terlebih dahulu pada agregat sebelum digunakan.

4.2.2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Tujuan pemeriksaan ini untuk memperoleh data berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, serta besar penyerapan air agregat halus. Seluruh parameter tersebut digunakan pada metode volume absolut untuk perancangan campuran beton. Berikut merupakan data yang dihasilkan dari pengujian ini, disertai cara pengolahannya sebagai berikut:

1. Benda Uji 1

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 489,9 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 698,8 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1002,8 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\ &= \frac{489,9}{(698,8 + 500 - 1002,8)} \\ &= 2,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\ &= \frac{500}{(698,8 + 500 - 1002,8)} \\ &= 2,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\ &= \frac{489,9}{(698,8 + 489,9 - 1002,8)} \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{500 - 489,9}{489,9} \right] \times 100\% \\ &= 2,06\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 485 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 699,4 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1005,6 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{485}{(699,4 + 500 - 1005,6)} \\
 &= 2,50
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(699,4 + 500 - 1005,6)} \\
 &= 2,58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\
 &= \frac{485}{(699,4 + 485 - 1005,6)} \\
 &= 2,71
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{500 - 499,4}{499,4} \right] \times 100\% \\
 &= 3,09\%
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 492,5 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 697,2 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1010,6 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{492,5}{(697,2 + 500 - 1010,6)} \\
 &= 2,64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(697,2 + 500 - 1010,6)} \\
 &= 2,68 \\
 \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\
 &= \frac{492,5}{(697,2 + 492,5 - 1010,6)} \\
 &= 2,75 \\
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{500 - 492,5}{492,5} \right] \times 100\% \\
 &= 1,52\%
 \end{aligned}$$

Dari ketiga sampel di atas, dicari nilai rerata berat jenis agregat halus menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{Rerata berat jenis curah} &= \frac{2,50 + 2,50 + 2,64}{3} \\
 &= 2,55 \\
 \text{Rerata berat jenis SSD} &= \frac{2,55 + 2,58 + 2,68}{3} \\
 &= 2,60 \\
 \text{Rerata berat jenis semu} &= \frac{2,64 + 2,71 + 2,75}{3} \\
 &= 2,70 \\
 \text{Rerata penyerapan air} &= \frac{2,06 + 3,09 + 1,52}{3} \\
 &= 2,23
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan, akan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian	Notasi	I	II	III	Satuan
Bobot agregat SSD	S	500	500	500	Gram
Bobot kering oven	A	489,9	485,0	492,5	Gram
Bobot air + piknometer	B	698,8	699,4	697,2	Gram
Bobot benda uji + air + piknometer	C	1002,8	1005,6	1010,6	Gram
Perhitungan	Notasi	I	II	III	Rata-rata
Berat jenis (curah)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,50	2,50	2,64	2,55
Berat jenis (SSD)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,55	2,58	2,68	2,60
Berat jenis (semu)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,64	2,71	2,75	2,70
Penyerapan air	$[\frac{S-A}{A}] \times 100\%$	2,06	3,09	1,52	2,23

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh rata-rata parameter agregat halus, meliputi berat jenis curah sebesar 2,55, berat jenis SSD sebesar 2,60, dan berat jenis semu sebesar 2,70. Selain itu, persentase penyerapan air pada material tersebut tercatat sebesar 2,23%. Dari ketiga macam berat jenis, yang digunakan dalam perhitungan mix desain yaitu pada kondisi SSD, karena mewakili dari kondisi agregat asli yang akan dibuat benda uji. Jadi, berat jenis agregat halus yaitu 2,60.

4.2.3. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pada uji analisis saringan ini digunakan agregat yang telah dikeringkan dan diayak menggunakan susunan saringan standar sesuai ketentuan pengujian agregat halus. Dari pengujian ini, didapatkan distribusi ukuran butir, gradasi agregat, serta modulus kehalusan (FM) yang dipakai untuk adukan beton. Hasil atau data yang dihasilkan,

beserta perhitungan dan pengolahan datanya disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Halus

Ayakan		Berat Tertahan Gram (gram) (a)	Persentase Berat Tertahan (%) (b) = (a) / W	Persentase Tertahan Kumulatif (%) (c)	Persentase Lolos (%) (d) = 100 - c
mm	Inci				
9,25	3/8	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	No. 4	1,40	0,28	0,28	99,72
2,36	No. 8	87,10	17,49	17,77	82,23
1,18	No. 16	132,10	26,52	44,29	55,71
0,60	No. 30	66,50	13,35	57,64	42,36
0,30	No. 50	91,00	18,27	75,91	24,09
0,15	No.100	68,80	13,81	89,72	10,28
0,075	No. 200	31,20	6,26	95,98	4,02
	Pan	20,00	4,02	100	0,00
Total (W)		498,10	100		
Modulus Kehalusan (FM)			2,86		

Berdasarkan tabel di atas, dari berat awal benda uji sebesar 500 gram diperoleh berat akhir sebesar 498,10 gram dan hasil persenan berat tertahan pada setiap nomor saringan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tertahan di saringan 4,75 mm} &= \frac{1,40}{498,10} \times 100 \\
 &= 0,28\% \\
 \text{Tertahan di saringan 2,36 mm} &= \frac{87,10}{498,10} \times 100 \\
 &= 17,49\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Tertahan di saringan 1,18 mm} = \frac{132,10}{498,10} \times 100$$

$$= 26,52\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,60 mm} = \frac{66,50}{498,10} \times 100$$

$$= 13,35\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,30 mm} = \frac{91,00}{498,10} \times 100$$

$$= 18,27\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,15 mm} = \frac{68,80}{498,10} \times 100$$

$$= 13,81\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,075 mm} = \frac{31,20}{498,10} \times 100$$

$$= 6,26\%$$

$$\text{Tertahan di pan} = \frac{20,00}{498,10} \times 100$$

$$= 4,02\%$$

$$\text{Kehilangan agregat halus} = \frac{W - W_1}{W} \times 100\%$$

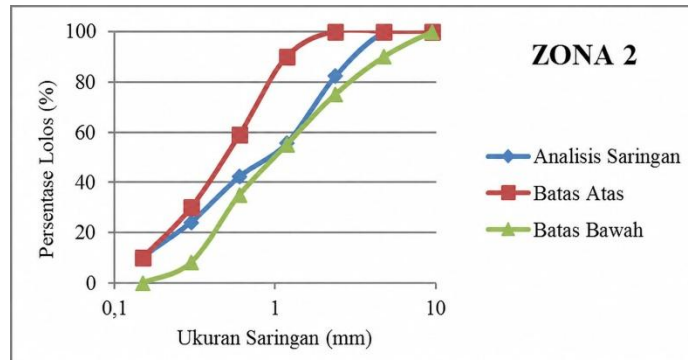
$$= \frac{500 - 498,10}{500} \times 100\%$$

$$= 0,38\%$$

$$\text{FM} = \frac{\text{Jumlah persentase kumulatif tertahan di atas saringan no 200}}{100}$$

$$= \frac{0,28 + 17,77 + 44,29 + 57,64 + 75,91 + 89,72}{100}$$

$$= 2,86$$



Gambar 4.1. Grafik Zona Agregat Halus

Melihat Gambar 4.1, terbukti bahwa distribusi ukuran butir agregat halus berada pada zona 2, ditandai dengan posisi garis berada di antara kurva batas atas serta batas bawah. Zona 2 menandakan ukuran butiran agregat halus termasuk butiran sedang, sehingga agregat memiliki *workability* yang baik dan cocok digunakan untuk beton struktural.

4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh data berupa karakteristik material sebelum digunakan untuk adukan beton. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk acuan dalam penyusunan perencanaan *mix design*. Adapun hasil pengujian agregat kasar disajikan pada subbab berikut.

4.3.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan untuk pengujian kadar lumpur ini yang tertinggal di ayakan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan melalui saringan nomor 3/4" (19 mm). Informasi yang didapatkan dari hasil pengujian, dapat dihitung:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dimana:

W_1 = Bobot agregat awal (gram)

W_2 = Bobot agregat kering setelah dicuci (gram)

Hasil pengujian:

1. Benda Uji 1

Bobot kering setelah dicuci = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2480 gram

$$\begin{aligned} \text{jumlah lumpur (benda uji 1)} &= \frac{2500 - 2480}{2500} \times 100 \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 1

Bobot awal = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2485 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 2)} &= \frac{2500 - 2485}{2500} \times 100 \\ &= 0,6\% \end{aligned}$$

3. Benda Uji 1

Bobot awal = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2472 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 3)} &= \frac{2500 - 2472}{2500} \times 100 \\ &= 1,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga rerata kandungan lumpur} &= \frac{0,8 + 0,6 + 1,1}{3} \\ &= 0,84\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, rekapitulasi akan disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengukuran	Notasi	Sampel 1 (gram)	Sampel 2 (gram)	Sampel 3 (gram)
Bobot awal (kering)	W1	2500	2500	2500
Bobot agregat setelah dicuci (kering)	W2	2485	2470	2472,7
Persentase kadar lumpur $\frac{W_1 - W_2}{W_1}$	W	0,60	1,20	1,09
Rerata kandungan lumpur (%)			0,96	

Hasil persentase dari pengujian kandungan lumpur yang telah didapatkan pada sampel 1 hingga sampel 3 berturut-turut yaitu 0,8%; 0,6%; dan 1,1%. Maka rata-rata kadar lumpur yang didapat yaitu 0,84% yang berarti agregat lolos spesifikasi mengacu pada SNI S-04-1989-F, kandungan lumpur tidak lebih dari 1%.

4.3.2. Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pada pengujian ini memakai agregat kasar yang tertinggal ayakan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan lolos saringan nomor 3/4" dengan kondisi kering oven. Setelah dilakukan pengujian, hasil diperoleh nilai dan diolah dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat bejana (T)} = 5,89 \text{ kg}$$

$$\text{Berat agregat kasar + bejana besi (G)} = 21,635 \text{ kg}$$

$$\text{Tinggi bejana (h)} = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Diameter bejana (d)} = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Volume bejana (V)} = (\pi \cdot r^2 \cdot h)$$

$$= 3,14 \times 0,12^2 \times 0,24$$

$$= 0,0108 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat isi (M)} = \frac{(G-T)}{V}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(21,635 - 5,89)}{0,0108} \\
 &= 1450,9 \text{ Kg/m}^3 \\
 \text{Berat jenis curah (S)} &= 2,63 \\
 \text{Rongga udara} &= \frac{[(S \times 998) - M]}{(S \times 998)} \\
 &= \frac{[(2,63 \times 998) - 1450,9]}{(2,63 \times 998)} \\
 &= 44,9\%
 \end{aligned}$$

Dari uraian data di atas, untuk mempermudah pembacaan, maka akan disimpulkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data dan Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar

Uraian	Notasi	Satuan	Metode Ditusuk
Berat bejana besi (B1)	T	Kg	5,89
Berat agregat kasar + bejana besi (B2)	G	Kg	21,635
Tinggi bejana	H	M	0,24
Diameter bejana	D	M	0,24
Volume bejana	V	M ³	0,0108
Berat isi agregat kasar	$M = \frac{(G-T)}{V}$	Kg/m ³	1450,9
Berat jenis curah	S	Kg/m ³	2,63
Rongga udara	$\frac{[(S \times 998) - M]}{(S \times 998)}$	%	44,9

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh hasil berat isi agregat kasar dengan prosedur dipadatkan atau ditusuk sebesar 1450,9 Kg/m³ dan rongga udara sebesar 44,9 %. Hasil ini, masih masuk ke dalam standar yang berkisaran 1.400 – 1.800 Kg/m³ dengan rongga udara 30 – 45 %.

4.3.3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini menggunakan agregat yang tertinggal saringan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan melalui ayakan nomor 3/4" (19 mm) dalam kondisi SSD. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui nilai berat jenis curah, SSD, semu, serta penyerapan air agregat halus, yang digunakan sebagai parameter dalam metode volume absolut pada perhitungan mix desain beton. Berikut merupakan hasil yang didapat dari pengujian ini, disertai cara pengolahannya sebagai berikut:

Bobot kering oven (A) = 3000 gram

Bobot agregat SSD (B) = 3010 gram

Bobot di dalam air (C) = 1870 gram

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B - C)} \\ &= \frac{3000}{(3010 - 1870)} \\ &= 2,63\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B}{(B - C)} \\ &= \frac{3010}{(3010 - 1870)} \\ &= 2,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(A - C)} \\ &= \frac{3000}{(3000 - 1870)} \\ &= 2,65\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{3010 - 3000}{3000} \right] \times 100\% \\ &= 0,33\%\end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Nilai
Bobot kering oven (Gram)	A	3000
Bobot SSD (Gram)	B	3010
Bobot di dalam air (Gram)	C	1870
Perhitungan	Notasi	Nilai
Berat jenis (curah)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,63
Berat jenis (SSD)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,64
Berat jenis (semu)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,65
Penyerapan air	$\left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\%$	0,33

Berdasarkan tabel di atas, rerata berat jenis curah sebesar 2,63, berat jenis SSD sebesar 2,64, berat jenis semu sebesar 2,65, serta besar nilai penyerapan air pada agregat halus yaitu 0,33%. Dari ketiga macam berat jenis, yang digunakan dalam perhitungan mix desain yaitu pada kondisi SSD, karena mewakili dari kondisi agregat yang akan diperlukan untuk adukan beton pada benda uji. Jadi, berat jenis agregat kasar yaitu 2,64.

4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Benang Nilon

Pada pemeriksaan ini digunakan dalam kondisi kering oven dan jenuh air. Pengujian dilakukan menggunakan metode piknometer untuk mencari nilai berat jenis serta

kemampuan penyerapan air benang nilon. Nilai tersebut digunakan sebagai parameter dalam perhitungan campuran beton serat, khususnya pada metode volume absolut dalam mix *design* beton.

Berikut merupakan hasil atau data yang didapat dari pengujian, disertai cara pengolahan datanya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot kering oven (A)} &= 5 \text{ gram} \\
 \text{Bobot air + piknometer} &= 699,40 \text{ gram} \\
 \text{Bobot piknometer + air + benda uji (C)} &= 699,90 \text{ gram} \\
 \text{Berat jenis} &= \frac{A}{(B+A-C)} \\
 &= \frac{5}{(699,4 + 5 - 699,9)} \\
 &= 1,11 \\
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{5,4 - 5}{5} \right] \times 100\% \\
 &= 8\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Uji Berat Jenis Benang Nilon

Pengujian	Notasi	Nilai
Bobot kering oven (Gram)	A	5
Bobot air + piknometer (Gram)	B	699,4
Bobot benda uji + air + piknometer (Gram)	C	699,9
Bobot benda uji basah	S	5,4
Perhitungan	Notasi	Nilai
Berat jenis	$\frac{A}{(B+A-C)}$	1,11
Penyerapan air	$\left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\%$	8,0

Berdasarkan Tabel 4.7, didapat hasil berat jenis sebesar 1,11 dan nilai penyerapan air yaitu 8,0%. Kondisi benang nilon yang digunakan untuk pembuatan campuran beton yaitu kondisi kering.

4.5. Perencanaan Mix Desain

Penentuan komposisi penyusun beton didasarkan pada SNI 7656:2012 serta parameter hasil dari pengujian agregat yang telah dilaksanakan sebelumnya. Maka dari itu, perhitungann mix desainnya sebagai berikut:

1. Kuat Tekan Rencana

Mengacu pada ACI 318-19, kuat tekan rencana memiliki rumus seperti berikut:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64S$$

Nilai deviasi yang digunakan, mengacu pada tabel 4.9. ACI 214R-11, yang akan didetailkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Standar Pengendalian Mutu Beton untuk $f'_c \leq 35$ MPa

Variasi Keseluruhan					
Kelas	Standar Deviasi (MPa)				
	Sangat baik	Baik sekali	Baik	Cukup	Kurang
Konstruksi umum	Dibawah 400 (< 2.8)	400 – 500 (2.8 – 3.4)	500 – 600 (3.4 – 4.1)	600 – 700 (4.1 – 4.8)	Di atas 700 (> 4.8)
Percobaan laboratorium	Di bawah 200 (< 1.4)	200 – 250 (1.4 – 1.7)	250 – 300 (1.7 – 2.1)	300 – 350 (2.1 – 2.4)	Di atas 350 (> 2.4)
Koefisien variasi untuk berbagai standar kontrol (%)					
Kelas	Sangat baik	Baik sekali	Baik	Cukup	Kurang
Pengendalian lapangan	< 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 5.0	5.0 – 6.0	> 6.0
Percobaan laboratorium	< 2.0	2.0 – 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 5.0	> 5.0

Sumber: ACI 214R-11

Pada penelitian ini diasumsikan standar deviasi yang mengacu pada kategori *poor* sebagai dasar perencanaan campuran beton. Pemilihan kategori tersebut dikarenakan dengan pertimbangan bahwa penelitian belum memiliki data histori hasil pengujian beton secara akurat. Nilai deviasi digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan kesalahan yang timbul selama proses penimbangan material, pencampuran beton, pemadatan campuran, perawatan benda uji, serta pelaksanaan pengujian di laboratorium.

Sehingga nilai standar deviasi yang digunakan pada mix desain penelitian ini yaitu 2.4. Sehingga kuat tekan rencana menjadi::

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + 1,64S \\ f'_{cr} &= 25 + 1.64 (2.4) \\ &= 25 + 3,94 \\ &= 28,94 \\ &= 29 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Semen menggunakan jenis semen gresik PCC. Berdasarkan hasil dari pengujian laboratorium yang dites oleh PT Semen Gresik (Persero) Tbk, berat jenis semen gresik PCC bernilai 2,96.
3. Dikarenakan penelitian ini menggunakan penambahan serat nilon, maka nilai *slump* tidak boleh terlalu rendah karena nilon akan membuat beton menjadi lebih kaku daripada beton normal. Jadi digunakan nilai *slump* dengan batas 75 – 100 mm .
4. Berhubung tujuan penelitian beton ini digunakan untuk beton struktur, dimana beton tersebut membutuhkan baja tulangan yang lumayan rapat. Maka agar agregat kasar dapat masuk di antara tulangan, digunakan dimensi agregat kasar paling besar 19 mm.
5. Sesuai dengan *slump* awal sebesar 75 mm hingga 100 mm dan maksimal besar agregat kasar 19 mm, maka kebutuhan air yang digunakan yaitu 205 kg/m³ dan banyak udara yang ada dalam beton yaitu 2%.

6. Menentukan rasio air semen.

Jika target f'_{cr} adalah 29 MPa, maka untuk nilai rasio air-semen yang akan digunakan dicari menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Rasio Air-Semen (29 MPa)} &= 0,61 - \left(\frac{29-25}{30-25} \right) (0,61 - 0,54) \\ &= 0,61 - \frac{4}{5} (0,07) \\ &= 0,61 - 0,056 \\ &= 0,554\end{aligned}$$

7. Menghitung kadar semen gresik PCC yang diperlukan.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Semen} &= \frac{\text{Kebutuhan Air}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,554} \\ &= 370,036 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi kebutuhan semen untuk per m^3 yaitu 370,036 kg.

8. Berdasarkan ukuran maksimum agregat kasar yaitu 20 mm, dengan nilai FM agregat halus 2,86, maka diketahui volume agregat kasar per m^3 sebesar $0,62 \text{ m}^3$.

Kadar agregat kasar dihitung dari berat isi dikalikan volume, maka:

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{berat isi agregat kasar} \times \text{volume} \\ &= 1450,9 \times 0,62 \\ &= 899,562 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

9. Jika menggunakan acuan dimensi agregat paling besar 19 mm, maka berat beton segar diperkirakan sebesar $2345 \text{ (kg/ m}^3\text{)}$. Akan tetapi tabel 3.12 dapat langsung digunakan apabila kadar semen 330 kg/m^3 , nilai *slump* sedang (75 – 100 mm), dan berat jenis sebesar 2,7. Jika tidak sesuai, maka berat perkiraan beton normal dapat dihitung menggunakan volume absolut sebagai berikut:

$$\text{Volume absolut} = \frac{\text{kadar material}}{\text{berat jenis}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= \frac{205}{1000} \\
 &= 0,205 \text{ m}^3 \\
 \text{Semen} &= \frac{370,036}{2960} \\
 &= 0,125 \text{ m}^3 \\
 \text{Agregat kasar} &= \frac{899,562}{2640} \\
 &= 0,340 \text{ m}^3 \\
 \text{Udara} &= \frac{2}{100} \\
 &= 0,020 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk volume agregat halus dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat halus} &= 1 - (\text{volume air} + \text{volume semen} + \text{volume agregat kasar} + \text{volume udara}) \\
 &= 1 - (0,205 + 0,125 + 0,340 + 0,020) \\
 &= 0,310
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui berat kebutuhan agregat halus yang digunakan, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{kadar agregat halus} &= \text{volume agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus} \\
 &= 0,310 \times 2600 \\
 &= 806,417 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga dari perhitungan di atas, dapat ditentukan berat beton segar 1 m³ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot beton segar} &= \text{kadar air} + \text{kadar semen} + \text{kadar agregat kasar} \\
 &\quad + \text{kadar agregat halus} \\
 &= 205 + 370,036 + 899,562 + 806,417 \\
 &= 2281,014 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

10. Menghitung kebutuhan nilon yang didapat dari 1% dari berat semen. Sehingga kadar nilon yang dibutuhkan untuk 1 m³, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar nilon per } 1 \text{ m}^3 &= \frac{1}{100} \times \text{kadar semen} \\
 &= \frac{1}{100} \times 370,036 \text{ kg} \\
 &= 3,70036 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Volume nilon} &= \frac{\text{kadar nilon}}{\text{berat jenis nilon}} \\
 &= \frac{3,70036}{1110} \\
 &= 0,00333 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Penelitian ini menggunakan serat nilon sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus untuk mempertahankan volume total campuran agar tetap konstan sesuai dengan volume absolut. Selain itu, agregat halus dipilih karena ukuran dan distribusinya lebih dekat dengan serat dibandingkan agregat kasar. Sehingga kadar agregat halus yang dikurangi dan digantikan dengan kadar nilon sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar pasir yang dikurang} &= \text{volume nilon} \times \text{bj agregat halus} \\
 &= 0,00333 \times 2600 \\
 &= 8,658 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan campuran beton yang telah dilakukan sesuai metode yang digunakan, diperoleh kebutuhan masing-masing material penyusun beton untuk setiap 1 m^3 campuran. Rekapitulasi perhitungan *mix design* akan disajikan pada Tabael 4.9.

Tabel 4.9. Rekapitulasi Ketentuan Mix Desain

Uraian	Nilai	Satuan
Kuat tekan target (f'_c)	25	MPa
Standar deviasi	2,4	MPa
Nilai kuat tekan rencana (f'_{cr})	29	MPa
Rasio air-semen	0,544	-
Nilai <i>slump</i>	75 – 100	mm
Dimensi agregat kasar maksimum	20	mm

Uraian	Nilai	Satuan
Ukuran agregat halus maksimum	4,75	mm
Berat jenis SSD agregat kasar	2,64	-
Berat jenis SSD agregat halus	2,6	-
Berat jenis benang nilon	1,11	-
Modulus Kehalusan (FM)	2,86	-
Berat beton segar	2281,014	kg/ m ³

Berdasarkan rekapitulasi parameter perencanaan campuran pada tabel 4.10, selanjutnya dilakukan rekapitulasi perhitungan kebutuhan pada setiap material untuk campuran beton segar per meter kubuk. Perhitungan berdasarkan *mix design* yang telah dilakukan, sehingga diperoleh kebutuhan air, semen, agregat kasar maupun halus, dan serat nilon. Hasil perhitungan kebutuhan material beton segar disajikan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Kebutuhan Material Beton Segar per m³

Kebutuhan Variasi Beton Normal per 1 m ³	
Material	Kebutuhan per 1 m ³ (kg)
Air	205,000
Semen	370,036
Agregat kasar	899,562
Agregat halus	806,417
Kebutuhan Variasi Beton Serat per 1 m ³	
Material	Kebutuhan per 1 m ³ (kg)
Air	205,000
Semen	370,036
Agregat kasar	899,562
Agregat halus	797,759
Nilon	3,700

Setelah mengetahui kebutuhan material untuk beton segar per 1 m³, dilanjutkan mencari kebutuhan bahan untuk seluruh benda uji yang dibuat berdasarkan jumlah dan ukuran benda uji. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan 1 silinder} &= \pi \times r^2 \times h \\ &= 3,14 \times 0,075^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan 1 balok} &= p \times l \times h \\ &= 0,1 \times 0,4 \times 0,1 \\ &= 0,004 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan kebutuhan material per meter kubik terhadap volume cetakan silinder maupun balok, kemudian dihitung berdasarkan jumlah benda uji. Di samping itu, diperlukan menambahkan 15% untuk mencegah kekurangan material karena tercecer maupun tertinggal dalam *mixer*. Hasil perhitungan kebutuhan material untuk variasi beton normal disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Kebutuhan Material Variasi Beton Normal

Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Silinder (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,0053	6	6,517	7,495
Semen	370,036	0,0053	6	11,764	13,529
Agregat kasar	899,562	0,0053	6	28,599	32,889
Agregat halus	806,417	0,0053	6	25,638	29,484
Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Balok (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,004	3	2,460	2,829
Semen	370,036	0,004	3	4,440	5,106
Agregat kasar	899,562	0,004	3	10,795	12,414
Agregat halus	806,417	0,004	3	9,677	11,129

Berdasarkan kebutuhan material pada beton normal, selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan material untuk variasi beton serat dengan mempertimbangkan penambahan serat nilon sesuai variasi yang ditentukan. Perhitungan dilakukan menggunakan metode yang sama dan akan disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Kebutuhan Material Variasi Beton Serat

Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Silinder (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,0053	18	19,552	22,485
Semen	370,036	0,0053	18	35,293	40,587
Agregat kasar	899,562	0,0053	18	85,798	98,668
Agregat halus	797,759	0,0053	18	76,088	87,501
Nilon	3,700	0,0053	18	0,353	0,406
Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Balok (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,004	9	7,380	8,487
Semen	370,036	0,004	9	13,321	15,319
Agregat kasar	899,562	0,004	9	32,384	37,242
Agregat halus	797,759	0,004	9	28,719	33,027
Nilon	3,700	0,004	9	0,133	0,153

Dari tabel di atas, didapatkan kebutuhan beton normal dan beton serat dengan benda uji berbentuk silinder maupun balok. oleh karena itu, untuk mengetahui kebutuhan setiap material untuk keseluruhan benda uji, dengan menambahkan antara kebutuhan material beton silinder maupun balok. Rekapitulasi hasil total keseluruhan kebutuhan material benda uji disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Kebutuhan Material Keseluruhan Benda Uji

Material	Beton Normal (kg)	Beton Serat (kg)	Total Kebutuhan (kg)
Air	10.324	30.972	41,296
Semen	18,635	55,906	74,541

Material	Beton Normal (kg)	Beton Serat (kg)	Total Kebutuhan (kg)
Agregat kasar	45,303	135,910	181,213
Agregat halus	40.613	120,528	161,141
Nilon	-	0,559	0,559

4.6. Hasil Pengujian Beton

Pengujian beton untuk mengetahui pengaruh penambahan serat nilon terhadap karakteristik maupun sifat beton segar dan beton keras. Tahapan pengujian meliputi pengujian *slump*, pengujian kuat tekan, dan pengujian kuat lentur. Hasil dari masing-masing pengujian dilakukan sebagai dasar analisis dalam mengevaluasi pengaruh variasi yang diterapkan terhadap kinerja beton. Adapun hasil pengujian beton yang diperoleh pada penelitian ini disajikan di bawah.

4.6.1. Hasil Uji *Slump*

Hasil dari *slump test* menginterpretasikan tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton segar. Sehingga proses pengadukan, penuangan, serta pemadatan menjadi lebih mudah tanpa mengalami segregasi maupun bleeding. Untuk menilai tingkat kekentalan beton, pengujian dijalankan dengan bantuan kerucut abrams sesuai standar pengujian beton segar. Dimana selisih tinggi antara cetakan dan penurunan permukaan beton setelah cetakan diangkat dinyatakan sebagai nilai *slump*. Berdasarkan mix desain yang sudah direncanakan, hasil uji *slump* menghasilkan disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil *Slump Test*

Variasi Beton	Nilai <i>Slump</i>
BN	90
V1	80

Variasi Beton	Nilai <i>Slump</i>
V2	85
V3	83

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil pada beton normal diperoleh nilai *slump* sebesar 90 mm, sedangkan untuk campuran beton serat nilai *slump* sebesar 80 mm, 85 mm, dan 83 mm. Nilai tersebut sudah sesuai dengan rencana, yang berarti adukan beton memiliki konsistensi yang baik dan cukup praktis untuk dikerjakan. Hal ini dipengaruhi oleh rasio antara air dan semen, gradasi agregat, bentuk dan tekstur agregat, serta penggunaan bahan tambah maupun serat pada campuran beton. Penambahan serat umumnya dapat menurunkan nilai *slump* akibat meningkatnya gesekan antar material di dalam campuran. Nilai *slump* yang terlalu rendah menunjukkan beton bersifat kaku sehingga sulit dipadatkan, sedangkan *slump* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya segregasi dan penurunan mutu beton. Berikut merupakan dokumentasi nilai slump yang dihasilkan.



Gambar 4.2. Hasil Uji *Slump* Beton Normal



Gambar 4.3. Hasil Uji *Slump* Beton Serat

Pengujian *slump* menjadi salah satu parameter penting untuk memastikan apakah campuran beton telah sesuai syarat *workability* sesuai mutu rencana dan kebutuhan pelaksanaan di lapangan. Dengan demikian, campuran beton yang dibuat memiliki tingkat kelecakan yang masih memenuhi ketentuan dan layak digunakan untuk proses pembuatan benda uji maupun pekerjaan konstruksi.

4.6.2. Uji Kuat Tekan

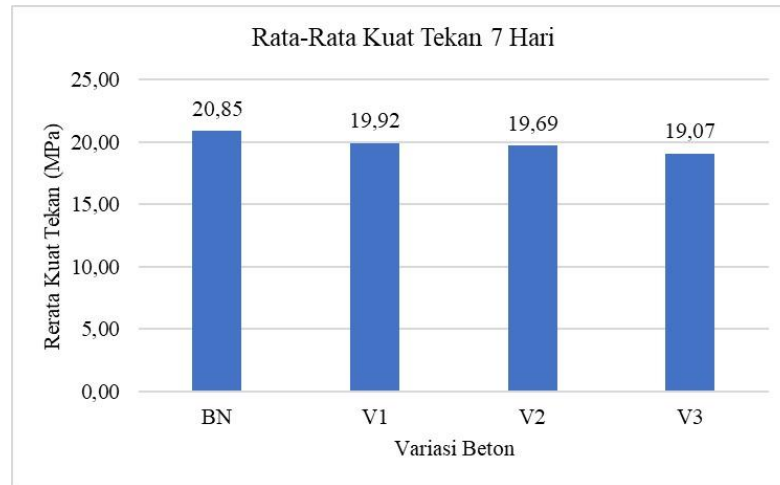
Rangkaian pengujian mekanis yang telah dilaksanakan di laboratorium, diperoleh data kuat tekan beton yang merepresentasikan kapasitas structural dari sampel uji. Pengujian dilakukan pada dua tahap umur beton yang krusial pada setiap variasinya, yaitu umur 7 hari agar memantau perkembangan pada kekuatan awal, serta umur 28 hari untuk kekuatan tekan karakteristik final yang direncanakan. Benda uji yang kami buat sebanyak 44 buah dan terdapat 4 variasi, yaitu beton normal (BN), beton dengan penambahan serat 1% panjang 10 mm (V1), beton dengan penambahan serat 1% panjang 20 mm (V2), dan beton dengan penambahan serat 1% panjang 30 mm (V3). Penambahan serat dengan volume yang sama pada ketiga variasi tersebut. Data hasil

pengujian kuat tekan di umur 7 hari dan uji kuat tekan di umur 28 hari, akan disajikan secara rinci pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Hasil Uji Kuat Tekan 7 Hari

Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
BN	1	30	15	12,710	176,625	0,0024	362	20,50	20,85
	2	30,5	15	12,730	176,625	0,0024	363	20,55	
	3	30	15	12,695	176,625	0,0024	380	21,51	
V1	1	30,8	15	12,705	176,625	0,0023	362	20,50	19,84
	2	30	14,8	12,680	171,946	0,0025	345	20,06	
	3	30	15	12,665	176,625	0,0024	335	18,97	
V2	1	30,5	15,1	12,650	178,988	0,0023	347	19,39	19,65
	2	30,1	14,9	12,605	174,278	0,0024	356	20,43	
	3	30	15	12,620	176,625	0,0024	338	19,14	
V3	1	30,4	15	12,640	176,625	0,0024	322	18,23	19,07
	2	30	14,9	12,610	174,278	0,0024	346	19,85	
	3	30	15	12,550	176,625	0,0024	338	19,14	

Berdasarkan tabel 4.15, pengujian pada hari ketujuh menunjukkan bahwa beton normal (BN) memiliki kekuatan tekan rerata tertinggi, yaitu 20,85 MPa. Pada variasi beton dengan penambahan serat nilon 10 mm (V1), diperoleh kuat tekan rerata sebesar 19,92 MPa. Sedangkan untuk variasi beton serat 20 mm (V2) dan serat 30 mm (V3), secara urut kuat tekannya sebesar 19,69 MPa dan 19,07 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat nilon cenderung menyebabkan penurunan kekuatan tekan di umur 7 hari dibandingkan dengan beton tanpa serat.



Gambar 4.4. Gambar Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari

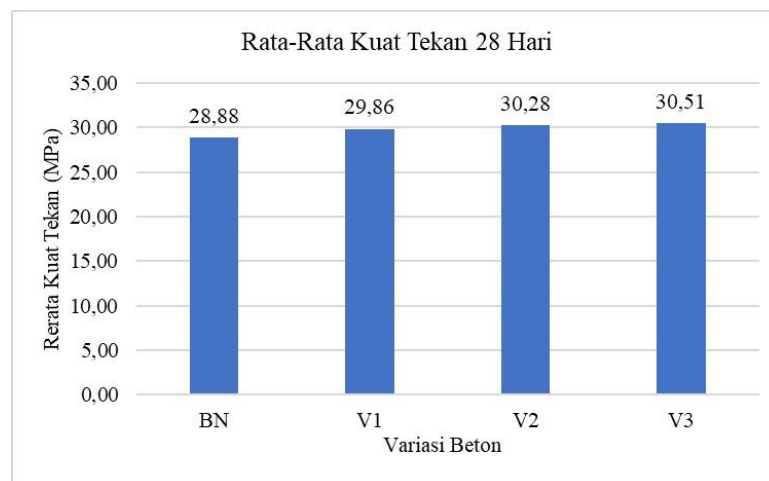
Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.4, terlihat adanya penurunan kuat tekan beton pada umur 7 hari seiring dengan bertambahnya panjang serat nilon yang digunakan. Untuk melihat perkembangan kekuatan beton yang lebih optimal kuat tekannya, dilakukan pengujian lanjutan pada saat beton menyentuh usia 28 hari. Hasil pengujian laboratorium yang lebih mendalam pada beton pada usia 28 hari akan disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari

Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
BN	1	30,1	15,0	12,380	176,625	0,0023	512	28,99	28,88
	2	30,0	15,1	12,440	178,988	0,0023	498	27,82	
	3	30,2	15,0	12,205	176,625	0,0023	527	29,84	
V1	1	30,0	15,0	12,405	176,625	0,0023	518	29,33	29,86
	2	30,0	15,0	12,520	176,625	0,0024	519	29,38	
	3	30,0	15,0	12,460	176,625	0,0023	545	30,86	

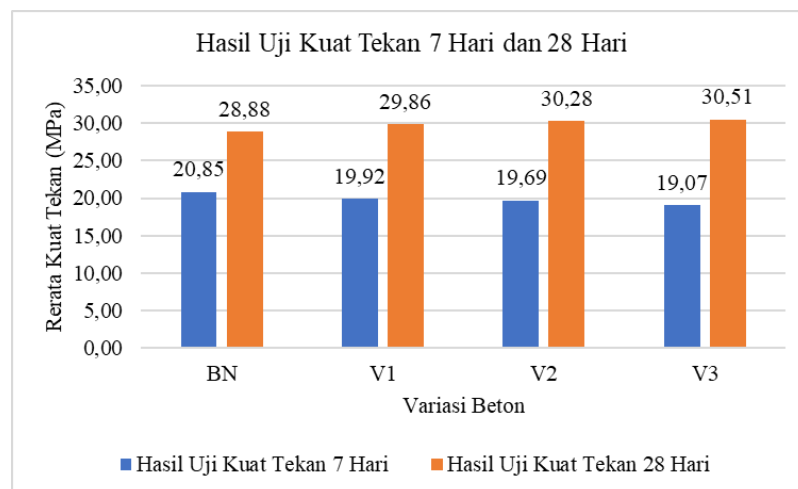
Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
V2	1	30,0	15,0	12,285	176,625	0,0023	527	29,84	30,28
	2	30,0	14,9	12,420	174,278	0,0023	536	30,76	
	3	29,9	15,0	12,690	176,625	0,0024	534	30,23	
V3	1	30,0	15,1	12,645	178,988	0,0024	538	30,06	30,51
	2	30,0	15,0	12,535	176,625	0,0024	541	30,63	
	3	30,0	15,0	12,500	176,625	0,0024	545	30,86	

Berdasarkan Tabel 4.16, Kuat tekan rerata yang diperoleh beton Normal (BN) sebesar 28,88 MPa. Setelah dilakukan penambahan serat nilon, menghasilkan adanya tren kenaikan nilai kuat tekan rerata secara konsisten seiring dengan bertambahnya panjang dimensi serat yang digunakan. Pada variasi campuran dengan serat nilon 10 mm (V1), nilai kekuatan tekan rerata naik jadi 29,86 MPa. Kenaikkan kekuatan ini terus berlanjut pada variasi serat nilon 20 mm (V2) dengan nilai kuat tekan rerata mencapai 30,28 MPa, dan mencapai titik tertingginya pada variasi serat nilon 30 mm (V3) dengan capaian kekuatan tekan rerata sebesar 30,51 MPa.



Gambar 4.5. Grafik Uji Kuat Tekan 28 Hari

Dilihat dari Gambar 4.5, terlihat jelas adanya kenaikan yang dihasilkan oleh nilai kuat tekan beton, sejalan dengan bertambahnya dimensi panjang serat nilon yang digunakan pada umur 28 hari. Peningkatan ini membuktikan bahwa pada umur matang, serat nilon dapat berikatan secara optimal dengan matriks pasta semen. Serat yang lebih panjang pada variasi V3 memberikan kontribusi terbaik sebagai tulangan mikro (*micro reinforcement*) yang mengikat retakan internal saat beton menerima beban maksimum, sehingga menghasilkan kuat tekan tertinggi mencapai 30,51 MPa.



Gambar 4.6. Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari dan 28 Hari

Melalui grafik kombinasi pada Gambar 4.6, dapat dianalisis perbandingan pertumbuhan kekuatan beton antara umur awal (7 hari) dan umur matang (28 hari). Terjadi penurunan kuat tekan pada variasi beton serat. Akan tetapi, saat umur beton 28 hari, mengalami kenaikan signifikan pada variasi beton serat.

4.6.3. Uji Kuat Lentur

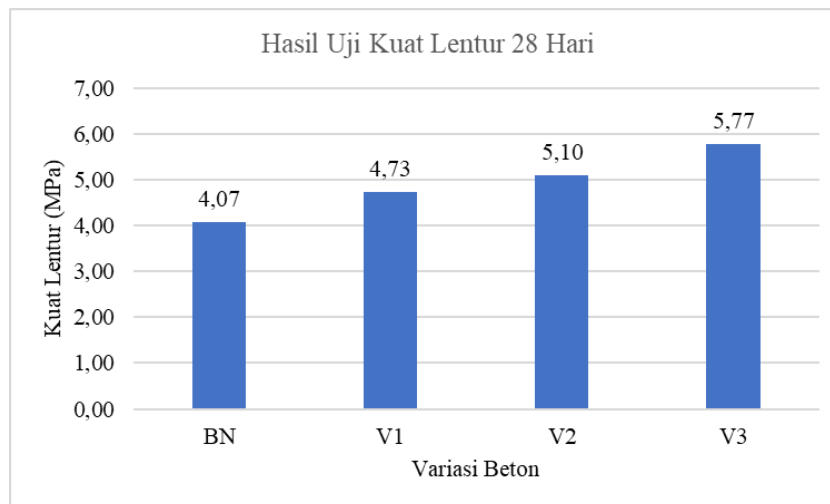
Setelah melakukan pengujian kuat tekan, evaluasi selanjutnya dilakukan terhadap kemampuan material dalam menahan beban tarik akibat lenturan melalui uji kuat lentur (*flexural strength test*). Pengujian ini sangat penting untuk mengetahui daktilitas dan kapasitas lentur beton, terutama untuk diaplikasikan pada struktur perkerasan jalan (*rigid pavement*). Detail data pengujian yang meliputi dimensi, beban maksimum, dan nilai kekuatan lentur disajikan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12. Hasil Uji Kuat Lentur 28 Hari

Variasi	Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum (Ton)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)
BN	1	100	100	399	9,29	2328,3	1,30	3.83	4.07
	2	100	98	398	9,58	2456,2	1,40	4.29	
	3	101	100	398	9,48	2358,3	1,40	4.08	
V1	1	100	100	400	9,34	2335,0	1,65	4.86	4.73
	2	100	101	400	9,52	2356,4	1,60	4.62	
	3	100	100	399	9,34	2340,9	1,60	4.71	
V2	1	100	100	401	9,34	2329,2	1,80	5.30	5.10
	2	100	100	398	9,38	2356,8	1,80	5.30	
	3	100	100	399	9,75	2443,6	1,60	4.71	
V3	1	100	100	398	9,42	2366,8	1,90	5.59	5.77
	2	100	98	399	9,36	2393,7	2,10	6.44	
	3	100	100	400	9,65	2412,5	1,80	5,30	

Berdasarkan Tabel 3.12, diperoleh hasil kuat lentur beton pada umur matang 28 hari pada setiap variasi campuran. Beton Normal atau Kontrol (BN) menghasilkan

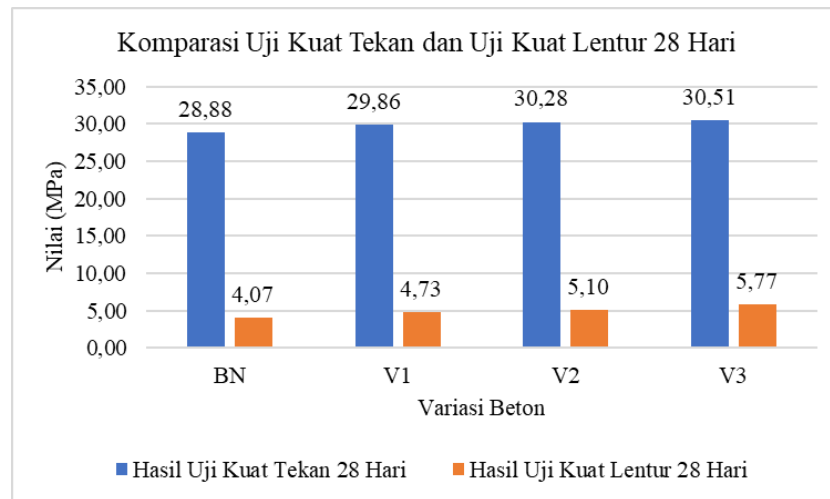
nilai kuat lentur rerata sebesar 4,07 MPa. Setelah dilakukan penambahan serat nilon, hasil pengujian menunjukkan adanya tren peningkatan kuat lentur yang konsisten seiring dengan bertambahnya panjang serat nilon yang digunakan. Pada variasi campuran dengan serat nilon panjang 10 mm (V1), nilai kuat lentur rerata meningkat menjadi 4,73 MPa. Peningkatan kekuatan ini terus berlanjut pada variasi serat nilon panjang 20 mm (V2) dengan nilai rerata mencapai 5,10 MPa, dan mencapai titik optimumnya pada variasi serat nilon panjang 30 mm (V3) dengan nilai kuat lentur rerata tertinggi sebesar 5,77 MPa.



Gambar 4.7. Grafik Uji Kuat Lentur 28 Hari

Berdasarkan kurva linear pada Gambar 4.7, terlihat dengan jelas adanya tren kenaikan nilai kuat lentur beton secara konstan yang sejalan dengan bertambahnya panjang serat nilon pada umur 28 hari. Kenaikan elevasi grafik yang dimulai dari Beton Kontrol (BN) sebesar 4,07 MPa hingga mencapai puncaknya pada variasi V3 sebesar 5,77 MPa membuktikan efektivitas serat dalam menahan gaya tarik akibat beban lentur. Secara teknis, visualisasi ini menegaskan bahwa penggunaan dimensi serat nilon yang lebih panjang mampu memberikan kontribusi mekanis yang lebih

optimal melalui mekanisme *bridging effect* (jembatan mikro) yang menunda proses runtuhnya balok beton saat mengalami pembebanan maksimum.



Gambar 4.8. Grafik Komparasi Uji Kuat Tekan dan Uji Kuat Lentur 28 Hari

Dilihat dari Gambar 4.8, terlihat bahwa adanya serat nilon memberikan kenaikan terhadap kuat lentur maupun kuat tekan pada umur 28 hari. Serat nilon mampu memperbaiki kinerja mekanik beton setelah mencapai umur rencana, di mana serat berperan membantu menahan penyebaran retak serta meningkatkan ikatan di dalam beton, sehingga menjadi lebih kuat terhadap beban tekan maupun lentur.

4.7. Analisa Biaya

Analisa biaya penelitian dibuat untuk mengetahui besarnya kebutuhan dana yang diperlukan pada saat pelaksanaan penelitian. Pada penelitian ini, analisa biaya dibuat sebagai pembandingan antara dana yang dikeluarkan untuk membuat benda uji beton normal maupun beton serat nilon. Pembuatan benda uji variasi beton serat nilon dilakukan dengan pemotongan serat terlebih dahulu sesuai dengan panjang yang ditentukan. Kegiatan tersebut tentu membutuhkan tenaga kerja untuk memotongnya,

sehingga diperlukan adanya biaya tenaga kerja. Selain itu perhitungan biaya material juga harus dilakukan karena adanya penambahan serat nilon pada beton variasi. Perhitungan disusun berdasarkan hasil perencanaan campuran per 1 m³ beton, yang meliputi kebutuhan semen, agegat halus, agregat kasar, dan air. Rekapitulasi ada pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Job Mix *Design* Beton per m³

Kode	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Nilon (kg)
BN	370,036	205,000	806,417	899,562	-
V1	370,036	205,000	797,759	899,562	3,7000
V2	370,036	205,000	797,759	899,562	3,700
V3	370,036	205,000	797,759	899,562	3,700

Keterangan:

BN : Beton Normal Kontrol

V1 : Beton – Serat panjang 10 mm

V2 : Beton – Serat panjang 20 mm

V3 : Beton – Serat panjang 30 mm

Pemotongan serat untuk setiap 1 kilogram benang nilon dengan panjang serat 10 mm membutuhkan waktu 10 jam, panjang serat 20 mm selama 7 jam, dan panjang serat 30 mm selama 4 jam. Maka, untuk biaya upah maupun material, dapat dihitung seperti di bawah ini:

Benang yang harus dipotong = 3700 gram atau 3,7 kilogram

Koefisien tenaga kerja memotong benang nilon:

$$\text{Variasi 10 mm} = \frac{(10 \times 3,7)}{8}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,625 \text{ OH} \\
 \text{Variasi 20 mm} &= \frac{(7 \times 3,7)}{8} \\
 &= 3,238 \text{ OH} \\
 \text{Variasi 30 mm} &= \frac{(4 \times 3,7)}{8} \\
 &= 1,850 \text{ OH}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini, komponen upah yang dihitung berdasarkan kebutuhan waktu kerja hanya berupa perlakuan terhadap persiapan serat nilon, karena hal itu sebagai pembanding biaya antara beton normal dan beton serat. Maka, hasil perhitungan analisa upah tenaga kerja pada tiap variasi direkapitulasi pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18. Analisa Upah Tenaga Kerja untuk Beton Serat

Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
V1	OH	4,625	129.750,00	600.093,75
V2	OH	3,238	129.750,00	420.130,50
V3	OH	1,850	129.750,00	240.037,50

Setelah mengetahui analisa upah untuk tenaga kerja, selanjutnya dibuat analisa biaya material beton normal untuk mengetahui biaya bahan yang dibutuhkan sebagai penyusun campuran beton tanpa penambahan serat. Rincian perhitungan biaya material beton normal disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Analisa Biaya Material untuk Beton Normal

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen	Kg	370,036	1.437,50	531.926,75
Pasir Muntalan	Kg	806,417	190,00	153.219,23

Batu Pecah	Kg	899,562	306,67	275.868,68
Air	Liter	205,000	20,00	4.100,00
			Total	965.114,66

Selain beton normal, analisa beton serat juga harus dibuat untuk mengetahui perubahan kebutuhan biaya akibat penambahan serat nilon ke dalam campuran beton. Perbedaan kebutuhan material ini untuk mencari pengaruh penambahan serat terhadap total biaya campuran beton. Hasil perhitungan Analisa biaya beton serat disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Analisa Biaya Material untuk Beton Serat

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga
Semen	Kg	370,036	1.437,50	531.926,75
Pasir Muntalan	Kg	797,759	190,00	151.574,21
Batu Pecah	Kg	899,562	306,67	275.865,68
Air	Liter	205,000	20,00	4.100,00
Benang Nilon	Kg	3,700	55.000,00	165.000,00
			Total	1.128.466,64

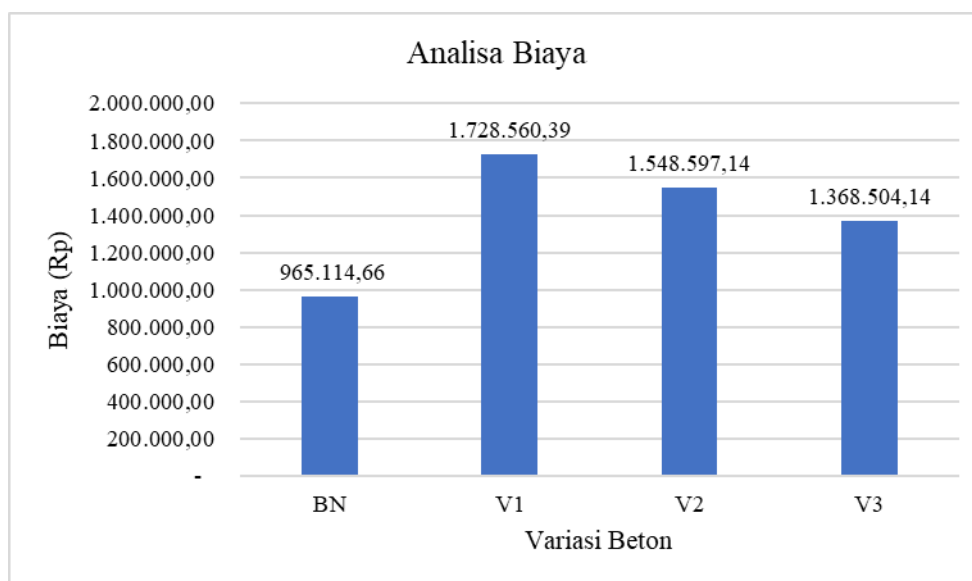
Setelah dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja dan material pada setiap campuran, selanjutnya dilakukan rekapitulasi total biaya untuk setiap variasi benda uji untuk membandingkan besarnya biaya yang diperlukan antara beton normal dan beton serat nilon. Hasil rekapitulasi jumlah biaya setiap variasi disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Jumlah Biaya setiap Variasi

Kode	Upah (Rp)	Material (Rp)	Total (Rp)
------	-----------	---------------	------------

Kode	Upah (Rp)	Material (Rp)	Total (Rp)
BN	-	965.114,66	965.114,66
V1	600.093,75	1.128.466,64	1.728.560,39
V2	420.130,50	1.128.466,64	1.548.597,14
V3	240.037,50	1.128.466,64	1.368.504,14

Hasil rekapitulasi biaya pada masing-masing variasi campuran beton, akan diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik untuk mempermudah pembacaan. Grafik ini bertujuan untuk memperlihatkan perbedaan biaya pada masing-masing variasi. Berikut merupakan grafik analisa biaya:



Gambar 4.9. Grafik Analisa Biaya

Berdasarkan grafik analisa biaya, dapat dilihat bahwa biaya beton normal (BN) mengeluarkan biaya paling rendah, yaitu sebesar Rp 965.114,66. Sementara itu, untuk variasi V1 menunjukkan total biaya tertinggi dengan nilai Rp 1.728.560,39, diikuti oleh beton variasi V2 sebesar Rp 1.548.597,14, dan V3 sebesar Rp

1.368.504,14. Peningkatan biaya pada beton serat dipengaruhi oleh adanya tambahan material serat nilon dan kebutuhan upah tenaga kerja pada masing-masing variasi yang memberikan kontribusi terhadap perbedaan biaya. Dengan demikian, analisa biaya ini dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan serat nilon dari sisi ekonomi dengan peningkatan kinerja beton yang dihasilkan.

4.8. Pembahasan

Pembuatan beton dengan menggunakan serat benang nilon ke dalam campuran, untuk mencari efek dari serat tersebut terhadap kekuatan lentur beton. Rekapitulasi hasil pengujian dan juga biaya ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton

Variasi	Kuat Tekan Rerata 7 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rerata 28 Hari (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)	Analisa Biaya (Rp)
BN	20,85	28,88	4,07	965.114,66
V1	19,84	29,86	4,73	1.728.560,39
V2	19,65	30,28	5,10	1.548.597,14
V3	19,07	30,51	5,77	1.368.504,14

Dari keseluruhan data Tabel. 4.23, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kuat tekan yang didapatkan pada seluruh variasi menunjukkan perkembangan dari umur 7 hari hingga umur 28 hari. Terlihat perbedaan nilai kuat tekan antar variasi relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencampuran, pengecoran, hingga perawatan benda uji telah dilakukan sesuai acuan sehingga menghasilkan data yang konsisten. Meskipun keberadaan serat nilon menurunkan kekuatan tekan pada umur awal (7 hari), seiring dengan bertambahnya umur beton terbukti memberikan dampak positif jangka panjang terhadap peningkatan kekuatan tekan dan lenturnya.

Peningkatan ini selaras dengan temuan Sumardi dkk. (2023), serat nilon memberikan dampak terhadap peningkatan performa beton lebih optimal terjadi pada umur 28 hari dibandingkan umur awal. Distribusi serat yang belum terikat sempurna dengan pasta semen dan agregat, dapat menghambat perkembangan kuat tekan pada umur awal. Sedangkan dari segi biaya, peningkatan biaya pada beton serat dipengaruhi oleh adanya tambahan material serat nilon dan kebutuhan upah tenaga kerja pada masing-masing variasi yang memberikan kontribusi terhadap perbedaan biaya.

Dari penelitian ini, diketahui fakta bahwa serat nilon kadar 1% dari berat semen dengan perbedaan panjang, mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban tekan maupun kuat lentur beton. Sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Manurung dkk. (2023) kuat tekan paling optimum terjadi pada variasi 1% penambahan serat dan penelitian oleh Bheel dkk. (2021), serat sebanyak 1% menghasilkan kuat lentur beton yang paling optimum. Selain itu, pada penelitian ini juga menunjukkan semakin panjang serat, maka semakin optimal hasil kuat tekan maupun lenturnya.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Mengacu pada hasil pengujian, serta analisis data yang telah dikaji, penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil dari pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, variasi beton normal memperoleh nilai tertinggi sebesar 20,85 MPa. Sebaliknya, pada beton serat justru seluruhnya mengalami penurunan, beton V1 sebesar 19,84 MPa, beton V2 sebesar 19,65 Mpa, dan beton V3 sebesar 19,07 MPa. Namun, pada umur 28 hari beton normal yang justru memiliki nilai rendah sebesar 28,88 MPa dan variasi beton serat V3 memiliki nilai kuat tekan sebesar 30,51 MPa, beton V2 sebesar 30,28 MPa, dan beton V1 sebesar 29,86 MPa. Oleh karena itu, kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi V3 umur 28 hari.
2. Hasil yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa beton normal, beton V1, beton V2, dan beton V3 secara urut sebesar 4,07 MPa, 4,73 MPa, 5,10 MPa, dan 5,77 MPa. Secara keseluruhan, beton V3 menghasilkan kuat lentur tertinggi sehingga menjadi variasi yang paling optimum.
3. Berdasarkan analisa biaya yang dilakukan, beton normal memiliki biaya paling rendah dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat nilon, yaitu Rp 965.114,66. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan upah tenaga pemotongan benang nilon pada variasi beton serat. Sedangkan biaya paling tinggi adalah beton variasi V1, yaitu sebesar Rp 1.728.560,39. Kemudian dilanjutkan oleh variasi V2 sebesar Rp 1.548.597,14 dan beton V3 sebesar Rp 1.368.504,14.

5.2. Saran

Penelitian ini tidak lepas dari keterbatasan yang berpotensi menjadi landasan evaluasi bagi peneliti berikutnya. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, beberapa saran berikut diharapkan dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian sejenis guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif dan optimal, antara lain:

1. Penelitian ini menggunakan metode pemotongan serat nilon secara manual, sehingga dapat memengaruhi variasi panjang serat yang dihasilkan tidak seragam. Untuk meningkatkan keseragaman ukuran serat, penelitian selanjutnya sebaiknya memanfaatkan alat atau mesin pemotong dengan tingkat presisi dan akurasi yang lebih baik.
2. Pada penelitian ini memiliki keterbatasan tempat untuk penyimpanan material di dalam ruangan, khususnya agregat halus dan agregat kasar. Oleh karena itu, disarankan untuk peneliti selanjutnya agar penyimpanan seluruh material diletakkan di ruangan tertutup dari matahari dan juga hujan untuk menghindari agregat dari penguapan air serta penyerapan air hujan.
3. Penambahan benang nilon dalam penelitian ini dilakukan dengan menggantikan sebagian volume pasir. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menentukan perhitungan pengganti volume benang nilon terhadap volume setiap material beton secara proporsional, bukan hanya agregat halus. Dengan demikian, pendekatan ini menghasilkan pengaruh benang nilon terhadap karakteristik beton dapat dianalisis secara optimal.
4. Perencanaan kuat tekan beton untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih dari 25 MPa, agar jangkauan aplikasinya dapat diperluas untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan jalan yang memiliki lalu lintas tinggi seperti jalan nasional, jalan antarprovinsi, maupun jalan tol.

5. Mengingat penambahan serat nilon menghambat proses hidrasi pada umur awal, sehingga menurunkan kuat tekan. Disarankan untuk mengkombinasikan campuran seperti *fly ash* atau *silica fume*. Penggunaan bahan ini diharapkan dapat mengoptimalkan pertumbuhan kekuatan beton di semua umur.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, I. (2019). Penggunaan Serat Nylon pada Beton Ditinjau terhadap Nilai Kuat Tekan dan Tarik Belah Beton. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*, 8(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.55340/jmi.v8i1.629>.
- American Concrete Institute. (2011). *ACI 214R-11: Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. American Concrete Institute.
- Aryanti R., & Walujodjati E. (2022). Pengaruh Campuran Baja Ringan terhadap Kekuatan Beton. *Jurnal Konstruksi*, 20(2), 214–0. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-2.1075>.
- Badan Standardisasi Badan. (2019). *SNI-2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SNI S 04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1968 tentang Metode Pengujian tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142 tentang Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI 03-4804 tentang Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 03-1972 tentang Cara Uji Slump Beton*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 03-2493 tentang Pembuatan Benda Uji Beton*. www.bsn.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton*.

dengan Benda Uji Silinder. www.bsn.go.id.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 4431 tentang Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan.* www.bsn.go.id.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656 tentang Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Serat dan Beton Massa.* www.bsn.go.id.

Badan Standardisasi Nasional. (2016a). *SNI 1969 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.* www.bsn.go.id.

Badan Standardisasi Nasional. (2016b). *SNI-1970 tentang Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.* www.bsn.go.id.

Bheel, N., dkk. (2021). Experimental Study on Engineering Properties of Cement Concrete Reinforced with Nylon and Jute Fibers. *Buildings*, 11(454), 1–16. <https://doi.org/10.3390/buildings11100454>.

Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14). (2015). American Concrete Institute.

Coats Group plc. (2024). *Coats® Nylbond™.* <https://www.coats.com/en-us/products/threads/nylbond/nylbond/>

Gunawan, P., dkk. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Nylon pada Beton Ringan dengan Teknologi Gas terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 750–758. <https://doi.org/https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/viewFile/37275/24501>.

Kabit, F. A., dkk. (2024). Pengaruh Penambahan Serat Nylon untuk Meningkatkan Kekuatan Mortar. *CONCRETE: Construction and Civil Integration Technology*, 02(01), 90–95. <https://doi.org/10.25139/concrete.v2i01.7317>.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.* Direktorat Jenderal Bina Marga.

Lumingkewas, R. H. (2023). *Beton Serat: Inovasi dalam Konstruksi Modern* (Vol. 19, Number 1). https://books.google.com/books?id=1m_jEAAAQBAJ.

Manurung, M. R., dkk. (2023). Analisis Kuat Tekan dan Fleksibel Beton Serat Polyamide/Nylon dengan Campuran Serbuk Kaca Menggunakan Curing Air Laut. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 08(02), 91–100.

- Mubeen, M., dkk. (2024). Effects of Nylon Fiber And Steel Fiber on Compressive Strength, Split Tensile Strength And Flexural Strength of Concrete. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(2), 572–584. <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser>.
- Nani, A. A. (2020). *Ketangguhan Lentur Beton SCC dengan Penambahan Serat Nilon* [Universitas Hasanuddin]. https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/1765/2/D11116529_skripsi%20%20%201-2.pdf.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Pebbriani, S. (2021). *Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Serat Nylon terhadap Kuat Tekan dan Tarik Belah pada Beton Kertas (Papercrete)* [Universitas Muhammadiyah Palembang]. <https://repository.um-palembang.ac.id/id/eprint/15669/>
- Pratama, E., & Hisyam, E. S. (2016). Kajian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Kertas (Papercrete) dengan Bahan Tambah Serat Nylon. *Jurnal Fropil*, 4, 27–39. <https://doi.org/10.33019/fropil.v4i1.1235>.
- Pratiwi, S., dkk. (2016). Kuat Tekan Beton Serat Menggunakan Variasi Fibre Optic dan Pecahan Kaca. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 19(1), 55–67. <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/2033/2299>.
- Suhana, N., & Sugriana, A. (2016). Pengaruh Nilon Monofilament pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 2(1), 106. <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/documents/detail/2734804>.
- Sumardi, Z. G., dkk. (2023). Studi Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Normal dengan Bahan Tambah Serat Nylon. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 02(01), 1–11.
- Tianjin Bonlon Textiles Co., Ltd. (2024). *Bonded nylon sewing thread*. <https://www.bonlonthread.com/products/31.html>
- Wisnumurti, dkk. (2024). Effect of Variations in Concrete Quality on the Crack Width in Rigid pavement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(1(127)), 33–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298680>.

