



LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI UKURAN AGREGAT KASAR SERTA
NILAI *SLUMP* TERHADAP PEKERJAAN STRUKTUR
RETAINING WALL (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Prasarana
Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah)

Telah disetujui oleh pembimbing untuk dilaksanakan ujian

1. Marsha Aulia Rizki
NIM. 231037

2. Rochul Mey Isnaini
NIM. 231050

Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air

Semarang, ... 30 Juli 2026

Pembimbing

Dr. Wildan Herwando, S.T., S.IP., M.T.
NIP. 19781209 2006041003

**PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI KONSTRUKSI BANGUNAN AIR
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM
TAHUN 2026**

**Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar Serta Nilai *Slump*
Terhadap Pekerjaan Struktur *Retaining wall* (Studi Kasus:
Proyek Pembangunan Prasarana Banjir Sungai Tukka
Kabupaten Tapanuli Tengah)**

**Tugas Akhir disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya Teknik (A.Md.T)
Politeknik Pekerjaan Umum Semarang**

Oleh:

1. Marsha Aulia Rizki
NIM. 231037

2. Rochul Mey Isnaini
NIM. 231050

Tanggal Ujian: 30 Juli 2026

Menyetujui,

Ketua Penguji : Dr. Wildan Herwindo, S.T., S.IP., M.T.
Penguji 1 : Wahyu Prasetyo, S.T., M.T.
Penguji 2 : Pranu Arisanto, S.T., M.T.

(.....)
(.....)
(.....)

Mengesahkan,
Direktur Politeknik Pekerjaan Umum



Ir. Brawijaya, SE. M.Eng. I.E.MSCE. Ph.D, IPU, ASEAN.Eng.
NIP. 196606101995021001

Mengetahui,
Ka Prodi Teknologi
Konstruksi Bangunan Air



Andi Patiroi, S.T., M.Eng.
NIP. 198410142010121004

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa 1 / NIM : Marsha Aulia Rizki / 231037

Nama Mahasiswa 2 / NIM : Rochul Mey Isnaini / 231050

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar Serta Nilai *Slump* Terhadap Pekerjaan Struktur *Retaining wall* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Prasarana Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah)” ini adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan/plagiat. Kami bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Semarang, ... 29 Juli 2026

Yang Menyatakan,



Marsha Aulia Rizki
NIM. 231037

Rochul Mey Isnaini
NIM. 231050

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan limpahan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar serta Nilai *Slump* terhadap Pekerjaan Struktur *Retaining wall* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Prasarana Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah)" dengan baik. Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Diploma III Teknologi Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Pekerjaan Umum.

Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* terhadap karakteristik beton, khususnya *workability*, kuat tekan, serta kebutuhan biaya pada pekerjaan struktur *retaining wall*. Selama proses penelitian hingga penyusunan laporan, penulis memperoleh banyak bantuan, arahan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat, kesehatan, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penelitian dan penyusunan tugas akhir.
2. Kedua orang tua serta seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, perhatian, dukungan, dan motivasi selama proses perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir.
3. Direktur Politeknik Pekerjaan Umum beserta seluruh jajaran yang telah menyediakan sarana dan prasarana dalam menunjang proses pendidikan.
4. Ketua Program Studi Diploma III Teknologi Konstruksi Bangunan Air Politeknik Pekerjaan Umum yang telah memberikan arahan selama proses akademik.
5. Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran dalam memberikan bimbingan, masukan, serta arahan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.

6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Diploma III Teknologi Konstruksi Bangunan Air Politeknik Pekerjaan Umum atas ilmu, pengalaman, serta pelayanan akademik yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera II Medan yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk memperoleh data dan pengalaman lapangan sebagai penunjang penelitian.
8. PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. yang telah memberikan izin, bantuan, serta dukungan selama proses pengambilan data penelitian di proyek.
9. Pembimbing lapangan, staf proyek, serta seluruh pihak yang telah membantu penulis selama pelaksanaan penelitian sehingga seluruh data yang diperlukan dapat diperoleh dengan baik.
10. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Diploma III Teknologi Konstruksi Bangunan Air, khususnya teman-teman angkatan yang telah memberikan semangat, bantuan, dan kerja sama selama proses penyusunan tugas akhir.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan pada penelitian selanjutnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, baik sebagai referensi dalam bidang teknologi beton maupun sebagai tambahan informasi bagi mahasiswa, akademisi, dan praktisi di bidang konstruksi.

Semarang, 29 Juli 2026

Penulis

**Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar Serta Nilai *Slump*
Terhadap Pekerjaan Struktur *Retaining wall* (Studi Kasus:
Proyek Pembangunan Prasarana Banjir Sungai Tukka
Kabupaten Tapanuli Tengah)**

Nama : 1. Marsha Aulia Rizki (231037)

2. Rochul Mey Isnaini (231050)

Pembimbing : Dr. Wildan Herwindo, S.T., S.IP., M.T.

ABSTRAK

Struktur *retaining wall* membutuhkan beton yang memenuhi mutu rencana, memiliki *workability* yang baik, serta penggunaan material yang efisien agar pelaksanaan konstruksi berlangsung optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* terhadap aspek biaya, mutu, dan waktu pada pekerjaan struktur *retaining wall*. Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif melalui pengujian karakteristik material, penyusunan *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000, pengujian *slump* mengacu pada SNI 1972:2008, serta pengujian kuat tekan beton sesuai SNI 1974:2011. Variasi yang diteliti meliputi komposisi agregat kasar batu split 1-2 (19 mm) dan batu split 2-3 (38 mm) sebesar 50:50 dan 70:30 dengan *slump* 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memenuhi nilai *slump* yang direncanakan dan menghasilkan kuat tekan beton umur 28 hari di atas mutu rencana 20 MPa. Kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh pada komposisi agregat 70:30 dengan *slump* 10 ± 2 cm, yaitu sebesar 23,82 MPa, sedangkan komposisi 50:50 menghasilkan biaya material yang lebih rendah. Dari aspek waktu, komposisi 70:30 menunjukkan *cycle time* produksi yang sedikit lebih singkat. Berdasarkan hasil tersebut, variasi komposisi agregat kasar berpengaruh terhadap mutu, biaya, dan waktu, sehingga komposisi 70:30 direkomendasikan sebagai alternatif campuran yang lebih optimal untuk pekerjaan struktur *retaining wall*.

Kata Kunci: Agregat kasar, beton normal, *slump*, kuat tekan beton, biaya material, *cycle time*, *retaining wall*.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Beton	7
2.1.1 Klasifikasi Beton.....	8
2.2 Material Penyusun Beton.....	9
2.2.1 Semen.....	9
2.2.2 Agregat Halus.....	11
2.2.3 Agregat Kasar.....	12
2.2.4 Air.....	14
2.3 <i>Workability</i> Beton.....	14
2.4 Kuat Tekan Beton.....	15
2.5 Pengaruh Variasi Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton	17
2.6 Pengaruh Variasi <i>Slump</i> terhadap Kuat Tekan Beton.....	18
2.7 Analisa Biaya Material.....	18
2.8 Pengendalian Mutu.....	19
2.9 <i>Cycle time</i> (Waktu Siklus).....	19
2.10 Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Jenis Penelitian.....	24

3.2 Bagan Alir Penelitian	24
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.4 Subjek Penelitian.....	27
3.5 Variable Penelitian	28
3.5.1 Variabel Bebas.....	28
3.5.2 Variabel Terikat	29
3.5.3 Variabel Kontrol	29
3.6 Populasi dan Sample	31
3.7 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.7.1 Alat Penelitian	32
3.7.2 Bahan Penelitian.....	36
3.8 Metode Pengumpulan Data	38
3.8.1 Data Primer	38
3.8.2 Data Sekunder	39
3.9 Prosedur Penelitian.....	40
3.9.1 Tahap Persiapan.....	40
3.9.2 Penyusunan <i>Mix design</i>	40
3.9.3 Pembuatan Benda Uji.....	41
3.9.4 Pengujian <i>Slump</i>	42
3.9.5 Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	43
3.9.6 Pengujian Kuat Tekan	44
3.9.7 Analisi Kebutuhan Biaya.....	45
3.9.8 Analisis <i>Cycle time</i> Produksi Beton.....	45
3.9.9 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan	45
3.10 Metode Analisis Data	46
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Hasil Pengujian Material.....	48
4.1.1 Agregat Halus.....	48
4.1.2 Agregat Kasar.....	53
4.2 Hasil Perancangan Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2000 (<i>Mix design</i>).....	61
4.2.1 Nilai Kuat Tekan Beton.....	61
4.2.2 Deviasi Standar	61
4.2.3 Nilai atau Margin	62

4.2.4 Kuat Tekan Beton Rata-Rata.....	62
4.2.5 Jenis Semen.....	62
4.2.6 Jenis Agregat	62
4.2.7 Faktor Air Semen	62
4.2.8 Faktor Air Semen Maksimum	63
4.2.9 Nilai <i>Slump</i>	65
4.2.10 Ukuran Maksimum Agregat.....	65
4.2.11 Kadar Air Bebas	65
4.2.12 Kadar Semen	67
4.2.13 Kadar Semen Maksimum.....	67
4.2.14 Kadar Semen Minimum	67
4.2.15 Tipe Gradasi Agregat Halus	68
4.2.16 Presentase Agregat Halus.....	69
4.2.17 Berat Jenis Relative Gabungan	70
4.2.18 Berat Isi Beton.....	71
4.2.19 Kadar Agregat Gabungan.....	72
4.2.20 Kadar Agregat Halus	72
4.2.21 Kadar Agregat Kasar	72
4.2.22 Proporsi Campuran	72
4.2.23 Koreksi Proporsi Campuran.....	74
4.3 Hasil Pengujian <i>Workability</i> Beton	75
4.3.1 Pengujian <i>Slump</i>	75
4.3.2 Pembahasan <i>Workability</i> Beton.....	78
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	80
4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari	80
4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari	81
4.4.3 Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 dan 28 Hari	85
4.5 Analisis <i>Cycle time</i> Produksi Beton Menggunakan <i>Concrete Truck Mixer Aimix</i>	86
4.5.1 <i>Cycle time</i> Produksi Beton.....	86
4.5.2 Tahapan <i>Cycle time</i> Produksi Beton Menggunakan CT Aimix.....	87
4.5.3 Perhitungan <i>Cycle time</i> Produksi Beton Komposisi 50:50	88
4.5.4 Perhitungan <i>Cycle time</i> Produksi Beton komposisi 70:30	89
4.5.5 Rekapitulasi <i>Cycle time</i> Produksi Beton Menggunakan CT Aimix.....	90

4.6 Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton.....	92
4.7 Pengaruh Nilai <i>Slump</i> terhadap Kuat Tekan Beton.....	93
4.8 Analisis Kebutuhan Biaya.....	94
4.8.1 Perhitungan Volume Pekerjaan Beton <i>Retaining wall</i>	94
4.8.2 Perhitungan Kebutuhan Material	95
4.8.3 Analisa Harga Satuan Material.....	98
4.8.4 Perbandingan Kebutuhan Biaya.....	99
BAB V PENUTUP.....	102
5.1 Kesimpulan	102
5.2 Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	104
LAMPIRAN.....	106



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian.....	26
Gambar 3. 3 Kerucut Abrams.....	32
Gambar 3. 4 Batang Penumbuk	32
Gambar 3. 5 Pelat Dasar.....	33
Gambar 3. 6 Meteran.....	33
Gambar 3. 7 Palu Karet.....	33
Gambar 3. 8 Sekop.....	34
Gambar 3. 9 <i>Molding</i> Silinder $\varnothing 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$	34
Gambar 3. 10 Gerobak Dorong.....	34
Gambar 3. 11 Roskam.....	35
Gambar 3. 12 Ember	35
Gambar 3. 13 <i>Concrete Mixer</i>	35
Gambar 3. 14 Semen <i>Portlad</i> Tipe I	36
Gambar 3. 15 Batu Split 1-2	37
Gambar 3. 16 Batu Split 2-3	37
Gambar 3. 17 Pasir.....	37
Gambar 3. 18 Tandon Air.....	38
Gambar 3. 19 Penyusunan <i>Mix Design</i>	41
Gambar 3. 20 Pembuatan Benda Uji.....	42
Gambar 3. 21 Benda Uji.....	42
Gambar 3. 22 <i>Slump Test</i> di Lapangan.....	43
Gambar 3. 23 Perawatan Beton (<i>curing</i>)	43
Gambar 3. 24 Pengujian Kuat Tekan	44
Gambar 3. 25 Pembacaan Dial Alat <i>Compression Testing Machine</i> (CTM)	44
Gambar 4. 1 Pengujian <i>Slump</i> Komposisi 50:50 <i>slump</i> $10 \pm 2 \text{ cm}$	76
Gambar 4. 2 Pengujian <i>Slump</i> Komposisi 50:50 <i>slump</i> $12 \pm 2 \text{ cm}$	76
Gambar 4. 3 Pengujian <i>Slump</i> Komposisi 70:30 <i>slump</i> $10 \pm 2 \text{ cm}$	76
Gambar 4. 4 Pengujian <i>Slump</i> Komposisi 70:30 <i>slump</i> $12 \pm 2 \text{ cm}$	77
Gambar 4. 5 Tahapan <i>Cycle time</i> Produksi Beton.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton	8
Tabel 2. 2 Distribusi Agregat Halus	12
Tabel 2. 3 Distribusi Agregat Kasar	13
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu	21
Tabel 3. 1 Tahapan Penelitian	27
Tabel 3. 2 Variasi Campuran dan Jumlah Benda Uji Penelitian	31
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	49
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	50
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	51
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	52
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	54
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	55
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Batu 1-2	56
Tabel 4. 8 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Batu 2-3	58
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Batu Split 1-2	60
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Batu Split 2-3	60
Tabel 4. 11 Nilai Standar Deviasi	61
Tabel 4. 12 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan	64
Tabel 4. 13 Perkiraan Kadar Air Bebas	66
Tabel 4. 14 Data Perhitungan Berat Jenis <i>Relative</i> Gabungan	71
Tabel 4. 15 Kebutuhan Material Proporsi Campuran Komposisi 50:50	73
Tabel 4. 16 Kebutuhan Material Proporsi Campuran Komposisi 70:30	73
Tabel 4. 17 Penyerapan dan Kadar Air Properties	74
Tabel 4. 18 Campuran proporsi komposisi 50:50 setelah dikoreksi	74
Tabel 4. 19 Campuran proporsi komposisi 70:30 setelah dikoreksi	75
Tabel 4. 20 Variasi Campuran	77
Tabel 4. 21 Hasil Kuat Tekan 7 Hari	80
Tabel 4. 22 Hasil Kuat Tekan 28 Hari	81
Tabel 4. 23 Perbandingan Kuat Tekan 7 dan 28 hari	85

Tabel 4. 24 Perhitungan Waktu Pengecoran Satu Siklus Aimix Komposisi 50:50	88
Tabel 4. 25 Perhitungan Waktu Pengecoran Satu Siklus Aimix Komposisi 70:30	89
Tabel 4. 26 Rekapitulasi <i>Cycle time</i> Produksi Beton dengan volume 23,125 m ³	91
Tabel 4. 27 Perhitungan Volume Beton Pada <i>Retaining wall</i>	94
Tabel 4. 28 Kebutuhan Material Satu Segmen <i>Retaining wall</i> Komposisi 50:50	96
Tabel 4. 29 Kebutuhan Material Satu Segmen <i>Retaining wall</i> Komposisi 70:30	97
Tabel 4. 30 Harga Satuan Material.....	99
Tabel 4. 31 Kebutuhan Biaya Beton F'c 20 MPa Komposisi 50:50	99
Tabel 4. 32 Kebutuhan Biaya Beton F'c 20 MPa Komposisi 70:30	100
Tabel 4. 33 Perbandingan Kebutuhan Biaya	100



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Analisa Saringan Batu Split 1-2.....	57
Grafik 4. 2 Analisa Saringan Batu Split 2-3.....	59
Grafik 4. 3 Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen.....	63
Grafik 4. 4 Gradasi Pasir.....	68
Grafik 4. 5 Presentase Agregat Halus terhadap Campuran.....	70
Grafik 4. 6 Hubungan kandungan air, berat jenis, dan berat isi beton.....	71
Grafik 4. 7 Kuat Tekan Rata-rata Komposisi 50:50 dan 70:30.....	82
Grafik 4. 8 Kuat Tekan Komposisi 50:50 dan 70:30 <i>Slump</i> 10±2 cm.....	83
Grafik 4. 9 Kuat Tekan Komposisi 50:50 dan 70:30 <i>Slump</i> 12±2 cm.....	83



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Material	107
Lampiran 2 <i>Mix design</i> SNI 03-2834-2000	110
Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian <i>Slump</i>	113
Lampiran 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan	110
Lampiran 5 Gambar Kerja <i>Retaining wall</i>	112
Lampiran 6 Lembar Asistensi	114



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang tersusun atas campuran semen hidraulis, agregat halus, agregat kasar, air, serta dapat ditambahkan bahan tambah (*admixture*) sesuai kebutuhan untuk memperoleh karakteristik tertentu. Menurut SNI 2847:2019, beton dirancang sebagai material struktural yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, keamanan, dan umur layan bangunan. Beton menjadi material yang paling banyak digunakan pada pembangunan gedung, jembatan, bendungan, jalan, bangunan pengendali banjir, serta struktur *retaining wall* karena memiliki kuat tekan tinggi, durabilitas yang baik, mudah dibentuk, dan mampu menyesuaikan berbagai kondisi pelaksanaan di lapangan. Penelitian Fitriani dkk. (Fitriani et al., 2024) menyatakan bahwa keberhasilan pekerjaan beton tidak hanya ditentukan oleh tercapainya kuat tekan rencana, tetapi juga dipengaruhi oleh pengendalian mutu sejak pemilihan material, proses pencampuran, pengecoran, hingga pengujian beton.

Pada proyek pembangunan prasarana pengendalian banjir, struktur *retaining wall* berfungsi sebagai dinding penahan tanah yang menjaga kestabilan lereng sekaligus mengendalikan tekanan tanah dan aliran air pada daerah sungai. Oleh karena itu, struktur tersebut harus menggunakan beton yang memiliki mutu sesuai dengan perencanaan agar mampu menahan beban lateral, beban sendiri, serta pengaruh lingkungan selama umur layan bangunan. Menurut SNI 2847:2019, mutu beton yang digunakan pada elemen struktural harus memenuhi persyaratan desain sehingga keamanan dan kinerja struktur tetap terjamin selama masa pelayanan. Fitriani dkk. (Fitriani et al., 2024) juga menjelaskan bahwa pengendalian mutu beton melalui pengujian *slump* dan kuat tekan merupakan bagian penting dalam menjamin kualitas konstruksi beton di lapangan.

Salah satu faktor yang memengaruhi mutu beton adalah karakteristik agregat kasar. Agregat kasar merupakan penyusun terbesar dalam campuran beton sehingga sifat fisik, ukuran butir, bentuk, tekstur permukaan, dan gradasinya sangat berpengaruh terhadap sifat beton segar maupun beton keras. Menurut Hujiyanto dkk. (Hujiyanto et al., 2024), variasi ukuran maksimum agregat kasar berpengaruh terhadap porositas dan kuat tekan beton normal karena menentukan tingkat kepadatan butiran serta jumlah rongga di dalam beton. Agregat kasar ukuran 1–2 umumnya menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat sehingga ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih baik. Sebaliknya, agregat ukuran 2–3 mampu mengurangi kebutuhan pasta semen, tetapi apabila distribusinya kurang baik dapat meningkatkan rongga beton dan menurunkan homogenitas campuran.

Selain ukuran agregat kasar, nilai *slump* merupakan parameter penting yang menunjukkan tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui kemudahan beton dalam proses pencampuran, pengangkutan, pengecoran, dan pemadatan sesuai prosedur yang ditetapkan dalam SNI 1972:2008. Penelitian Hujiyanto dkk. (Hujiyanto et al., 2024) menjelaskan bahwa nilai *slump* yang sesuai akan menghasilkan beton dengan tingkat kepadatan yang lebih baik sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton. Sebaliknya, nilai *slump* yang terlalu rendah menyebabkan beton sulit dipadatkan, sedangkan *slump* yang terlalu tinggi umumnya disebabkan oleh peningkatan kadar air yang dapat menurunkan kuat tekan beton akibat bertambahnya faktor air-semen (*water cement ratio*).

Hubungan antara ukuran agregat kasar dan nilai *slump* tidak hanya memengaruhi kuat tekan beton, tetapi juga berkaitan erat dengan efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan proyek. Komposisi agregat yang tepat dapat mengurangi kebutuhan pasta semen sehingga biaya produksi beton menjadi lebih ekonomis tanpa mengurangi mutu yang disyaratkan. Di sisi lain, nilai *workability* yang baik akan mempercepat proses pengecoran dan pemadatan sehingga produktivitas pekerjaan meningkat dan risiko terjadinya cacat beton seperti *honeycomb* dapat diminimalkan. Fitriani dkk. (Fitriani et al., 2024) menyatakan bahwa pengendalian mutu beton sejak tahap perencanaan campuran hingga pengujian kuat tekan sangat menentukan keberhasilan pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian mengenai pengaruh variasi ukuran agregat kasar 1–2 dan 2–3 serta variasi nilai *slump* terhadap pekerjaan struktur *retaining wall* pada Proyek Pembangunan Prasarana Pengendalian Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi mengenai kombinasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* yang paling efektif dalam menghasilkan kuat tekan beton sesuai mutu rencana, meningkatkan kualitas pekerjaan struktur, mengoptimalkan biaya pelaksanaan, serta mempercepat waktu penyelesaian proyek sesuai prinsip pengendalian mutu konstruksi yang diatur dalam SNI 2847:2019 dan praktik pengujian beton di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Pengaruh Perbandingan Komposisi Agregat Kasar ukuran 1-2 dan 2-3 terhadap kuat tekan beton struktur?
2. Bagaimana Pengaruh Variasi nilai *slump* terhadap kuat tekan beton, serta berpakah nilai *slump* yang menghasilkan kuat tekan beton terbaik?
3. Bagaimana penerapan komposisi agregat kasar dan nilai *slump* yang tepat dapat mendukung efisiensi pelaksanaan pekerjaan beton dari aspek biaya, mutu dan waktu?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menganalisis pengaruh perbandingan komposisi agregat kasar ukuran 1–2 dan 2–3 terhadap kuat tekan beton pada pekerjaan struktur *retaining wall* melalui penyusunan campuran beton, pembuatan benda uji, serta pengujian kuat tekan sehingga diperoleh komposisi agregat yang menghasilkan mutu beton terbaik.
2. Menganalisis pengaruh variasi nilai *slump* terhadap kuat tekan beton dengan melakukan pengujian *slump* pada setiap variasi campuran, kemudian membandingkan hasil kuat tekan untuk menentukan nilai *slump* yang memberikan keseimbangan terbaik antara *workability* dan mutu beton.

3. Mengevaluasi penerapan kombinasi komposisi agregat kasar dan nilai *slump* yang paling efektif terhadap pelaksanaan pekerjaan beton struktur *retaining wall* melalui analisis aspek biaya (*cost*), mutu (*quality*), dan waktu (*time*), sehingga diperoleh rekomendasi campuran beton yang efisien, memenuhi persyaratan teknis, serta mendukung efektivitas pelaksanaan konstruksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Tugas Akhir Ini Memiliki Beberapa Manfaat yakni:

1. Bagi Penulis (Mahasiswa)

Sebagai sarana untuk mengimplementasikan ilmu teknik sipil yang didapat di perkuliahan dengan kondisi riil di lapangan, khususnya mengenai manajemen biaya dan mutu dan waktu pada struktur.

2. Bagi Pelaksana Proyek (Kontraktor/Konsultan)

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dan referensi teknis dalam menentukan penggunaan variasi ukuran agregat kasar 1-2 dan 2-3 serta nilai *slump* yang sesuai terhadap struktur *retaining wall* yang direncanakan.

3. Bagi Institusi Pendidikan:

Menambah referensi pustaka mengenai studi komparatif Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar 1-2 dan 2-3 serta Nilai *Slump* terhadap struktur *retaining wall*, serta menjadi dasar data bagi mahasiswa lain yang ingin mengembangkan penelitian di bidang inovasi beton.

4. Bagi Perkembangan Ilmu Pengetahuan

Memberikan gambaran teknis mengenai efisiensi penggunaan variasi ukuran agregat kasar 1-2 dan 2-3 serta nilai *slump* yang sesuai terhadap struktur *retaining wall* terhadap biaya, mutu, dan waktu.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada pekerjaan beton struktur *Retaining wall* di Proyek Pengendalian Banjir Sungai Tukka, Kabupaten Tapanuli Tengah.
2. Struktur *Retaining wall* menggunakan mutu beton $F_c'20$

3. Variasi agregat kasar yang diteliti hanya menggunakan agregat ukuran 1–2 dan 2–3 sesuai material yang tersedia di lokasi proyek.
4. Penelitian hanya menganalisis pengaruh variasi ukuran agregat kasar dan variasi nilai *slump* terhadap kuat tekan beton normal.
5. Pengujian beton meliputi uji *slump* pada beton segar dan uji kuat tekan pada benda uji sesuai standar yang berlaku.
6. Analisis aspek biaya dibatasi pada kebutuhan material penyusun beton berdasarkan variasi campuran yang digunakan.
7. Analisis aspek waktu dibatasi pada pengaruh *workability* terhadap kemudahan pelaksanaan pengecoran tanpa membahas keseluruhan penjadwalan proyek.
8. Analisis aspek mutu dibatasi pada hasil pengujian *slump* dan kuat tekan beton, serta tidak membahas pengujian sifat beton lainnya seperti kuat tarik, kuat lentur, modulus elastisitas, maupun durabilitas beton.
9. Penelitian tidak membahas analisis struktur *Retaining wall* maupun desain ulang elemen struktur, tetapi hanya berfokus pada karakteristik campuran beton yang digunakan.
10. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari saja karna keterbatasan material.
11. Data pengujian material seperti kadar lumpur, kadar air agregat kasar dan agregat halus, pengujian analisis saringan dan berat jenis didapat dari data skunder.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori-teori yang mendukung penelitian, penelitian terdahulu, kerangka pikiran, dan hipotesis penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi Lokasi penelitian, bahan dan peralatan penelitian, metode penelitian, prosedur pelaksanaan, serta metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil pengujian dan analisis data penelitian, meliputi *workability* beton, kuat tekan beton, analisis waktu produksi, dan kebutuhan biaya. Hal tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi agregat kasar dan nilai *slump* terhadap struktur *retaining wall*.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan material konstruksi buatan (*artificial stone*) yang dihasilkan melalui proses pencampuran beberapa bahan penyusun, yaitu agregat halus, agregat kasar, semen sebagai bahan pengikat, serta air yang berfungsi sebagai media terjadinya reaksi hidrasi selama proses pengerasan dan perawatan beton. Agregat yang digunakan dapat berupa pasir, kerikil, batu pecah, atau material sejenis lainnya sesuai dengan kebutuhan campuran.

Berdasarkan SNI 2847:2019, beton adalah campuran yang terdiri atas semen hidrolis, seperti semen *Portlad*, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa penambahan bahan tambah (*admixture*), yang setelah mengalami proses pengerasan akan membentuk massa yang padat dan memiliki kekuatan tertentu.

Beton yang berkualitas adalah beton yang mampu menahan beban kerja sesuai dengan perencanaan serta memiliki kinerja yang baik selama masa layan. Beberapa karakteristik beton yang baik meliputi kedap terhadap air (*water tight*), memiliki daya tahan yang tinggi (*durable*), tidak mudah mengalami retak, memiliki penyusutan yang rendah, bebas dari keropos (*honeycombing*), tidak mengalami pelapukan (*efflorescence*), tidak mengalami pengelupasan atau pecah pada permukaan (*spalling*), serta mempunyai ketahanan yang baik terhadap abrasi atau pengausan permukaan.

2.1.1 Klasifikasi Beton

Beton dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan karakteristiknya dan parameter pembentuknya. Secara umum terdapat klasifikasi beton seperti berikut:

A. Berdasarkan Berat Satuan

Berdasarkan berat satuannya, beton dapat dibedakan menjadi beton ringan, beton normal, dan beton berat. Klasifikasi berat satuan beton secara rinci ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton

Jenis Beton	Berat Satuan (kg/m^3)
Beton Ringan	< 1900
Beton Normal	2200 – 2500
Beton Berat	> 2500

Sumber : SNI 2847:2019

B. Berdasarkan Mutu dan Kuat Tekan Karakteristik

Menurut SNI 03-6468-2000, beton dapat dibedakan menjadi tiga kelas berdasarkan mutu dan kuat tekan karakteristiknya. Beton Kelas I digunakan untuk pekerjaan nonstruktural yang tidak berfungsi sebagai penahan beban. Sementara itu, Beton Kelas II dan Kelas III diperuntukkan bagi elemen struktural yang menerima beban, seperti kolom, balok, pelat, dan komponen struktur lainnya, sehingga memerlukan mutu beton yang lebih tinggi.

C. Berdasarkan Cara Pembuatan Dan Komposisi

Berdasarkan proses pembuatan serta komposisi campurannya, beton secara umum dibedakan menjadi empat jenis sebagai berikut.

1. Beton Sederhana

Beton sederhana merupakan beton yang umumnya digunakan pada pekerjaan nonstruktural, seperti pembuatan bata beton, lantai kerja, atau dinding yang tidak berfungsi sebagai penahan beban. Campuran yang sering digunakan adalah semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1:2:3. Pada beberapa pekerjaan nonstruktural, perbandingan campuran

dapat dibuat lebih ekonomis, misalnya 1:3:5 atau lebih rendah. Beton jenis ini umumnya memiliki kuat tekan sekitar 10 MPa.

2. Beton Normal

Beton normal banyak digunakan sebagai material utama pada konstruksi beton bertulang, seperti kolom, balok, pelat, dan dinding struktural. Beton ini umumnya memiliki kuat tekan antara 10 MPa hingga 30 MPa. Perancangan campuran beton normal mengacu pada ketentuan dalam SNI 03-2834-2000 mengenai tata cara penyusunan rencana campuran beton normal.

3. Beton Prategang

Beton prategang adalah beton bertulang yang diberi gaya tekan awal melalui metode *pre-tension* atau *post-tension* untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan beban. Beton yang digunakan pada sistem ini umumnya merupakan beton bermutu tinggi dengan kuat tekan berkisar antara 30 MPa hingga 40 MPa sesuai dengan ketentuan SNI 03-2834-2000.

4. Beton Kuat Tekan Tinggi / Sangat Tinggi

Beton berkekuatan tinggi digunakan pada struktur yang memerlukan kapasitas menahan beban yang besar, seperti gedung bertingkat tinggi, jembatan bentang panjang, serta konstruksi khusus lainnya. Dalam penerapannya, beton ini sering dipadukan dengan sistem prategang untuk memperoleh kekuatan yang direncanakan. Beton kuat tekan tinggi umumnya memiliki kuat tekan lebih dari 40 MPa sebagaimana dijelaskan dalam SNI 03-2834-2000.

2.2 Material Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen merupakan bahan pengikat yang memiliki kemampuan merekatkan berbagai material padat sehingga membentuk suatu kesatuan yang padat, kuat, dan kokoh. Berdasarkan sifatnya, semen dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semen nonhidrolis dan semen hidrolis.

Semen nonhidrolis adalah jenis semen yang tidak mengalami proses pengerasan apabila bereaksi dengan air, melainkan memerlukan kontak dengan udara agar dapat mengeras. Salah satu contoh utama semen nonhidrolis adalah kapur. Sebaliknya, semen hidrolis memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras baik di udara maupun di dalam air. Beberapa jenis semen yang termasuk dalam kelompok semen hidrolis antara lain kapur hidrolis, semen tras, semen terak, semen alam, dan semen *Portlad*.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen *Portlad* merupakan semen hidrolis yang diproduksi melalui proses penggilingan terak semen (*clinker*), yang sebagian besar tersusun atas senyawa kalsium silikat bersifat hidrolis. Dalam proses pembuatannya, *clinker* digiling bersama satu atau lebih bentuk kristal kalsium sulfat sebagai bahan tambahan, serta dapat ditambahkan material lain sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku.

Adapun menurut Andini dkk. (2019), semen *Portlad* dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan karakteristik dan peruntukannya dalam pekerjaan konstruksi, yaitu sebagai berikut:

A. Semen *Portlad* Tipe I (*Ordinary Portlad Concrete/OPC*)

Semen *Portlad* Tipe I merupakan semen hidrolis yang digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Jenis semen ini banyak diaplikasikan pada pembangunan rumah tinggal, gedung bertingkat, jembatan, perkerasan jalan, dan berbagai konstruksi lainnya.

B. Semen *Portlad* Tipe II

Semen *Portlad* Tipe II memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap serangan sulfat serta menghasilkan panas hidrasi sedang. Oleh karena itu, semen ini sesuai digunakan pada konstruksi yang berada di lingkungan dengan kadar sulfat sedang, seperti bangunan di daerah pantai, lahan rawa, dermaga, saluran irigasi, beton massa, dan bendungan.

C. Semen *Portlad* Tipe III

Semen *Portlad* Tipe III dirancang untuk menghasilkan kuat tekan awal yang tinggi sehingga sangat sesuai digunakan pada pekerjaan yang

membutuhkan percepatan proses konstruksi. Tingginya kekuatan awal diperoleh karena kandungan senyawa trikalsium silikat (C_3S) yang lebih besar serta tingkat kehalusan semen yang lebih tinggi dibandingkan Semen *Portlad* Tipe I. Jenis semen ini umumnya digunakan pada pembangunan jalan raya, gedung bertingkat, dan bandar udara.

D. Semen *Portlad* Tipe IV

Semen *Portlad* Tipe IV merupakan semen dengan panas hidrasi rendah sehingga cocok digunakan pada konstruksi beton massa. Karakteristik tersebut diperoleh karena kandungan C_3S dan C_3A yang lebih rendah, sedangkan kandungan C_4AF relatif lebih tinggi dibandingkan jenis semen *Portlad* lainnya. Akibatnya, perkembangan kuat tekan awal pada semen ini berlangsung lebih lambat.

E. Semen *Portlad* Tipe V

Semen *Portlad* Tipe V memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap lingkungan yang mengandung kadar sulfat tinggi. Oleh sebab itu, semen ini banyak digunakan pada konstruksi yang berhubungan langsung dengan air atau tanah yang agresif, seperti instalasi pengolahan limbah, bangunan bawah air, jembatan, terowongan, pelabuhan, serta fasilitas pembangkit listrik tenaga nuklir.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 9,5 mm atau lolos saringan no.3/8. Agregat halus berfungsi mengisi pori-pori yang ada diantara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton. Selain itu gradasi agregat halus juga berpengaruh terhadap kualitas beton. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila butir-butir agregat bervariasi volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang lebih kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga beton memiliki kemampuan yang tinggi.

Tabel 2. 2 Distribusi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Presentase Berat Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Zona I (Pasir Kasar)	Zona II (Pasir Agak Kasar)	Zona III (Pasir Agak Halus)	Zona IV (Pasir Halus)
9,60	100	100	100	100
4,80	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,40	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,20	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,60	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber : SNI 03-2834-2000

Menurut SNI 03-2834-2000 (Tabel 2.2), distribusi gradasi agregat halus dibedakan menjadi empat zona, yaitu Zona I (pasir kasar), Zona II (pasir agak kasar), Zona III (pasir agak halus), dan Zona IV (pasir halus). Pengelompokan tersebut didasarkan pada persentase kumulatif butiran agregat yang lolos pada setiap ukuran ayakan standar. Hasil analisis gradasi digunakan untuk menentukan karakteristik pasir yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton. Gradasi agregat halus yang memenuhi rentang persyaratan pada masing-masing zona akan menghasilkan susunan butiran yang lebih baik, sehingga dapat meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi rongga antarbutir, serta mendukung pencapaian mutu beton yang direncanakan. Oleh karena itu, pemeriksaan distribusi gradasi agregat halus menjadi salah satu tahapan penting dalam perancangan campuran beton.

2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi “alami” dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 03-2847-2002). serta menyatakan ketentuan mengenai penggunaan agregat kasar untuk beton harus memenuhi syarat, antara lain:

- a. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai bahan desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Pada umumnya yang dimaksudkan dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.
- b. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- d. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan ditentukan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
 - 1) Sisa diatas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat.
 - 2) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - 3) Selisih antara sisa-sisa komulatif diatas dua ayakan berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat. Gradasi agregat merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan campuran beton karena berpengaruh pada sifat workabilitas adukan beton. Gradasi beton adalah distribusi ukuran butiran agregat dalam campuran beton. Distribusi agregat kasar untuk beton dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Distribusi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Presentase Besar Butiran Yang Lewat Ayakan		
	4,8 - 38	4,8 - 19	4,8 - 9,6
38	95 - 100	100	100
19	37 - 70	95 - 100	100
9,6	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

SNI 03-2834-2000 mengelompokkan gradasi agregat kasar berdasarkan persentase butiran yang lolos pada ayakan standar. Distribusi tersebut terdiri atas tiga rentang ukuran, yaitu 4,8–38 mm, 4,8–19 mm, dan 4,8–9,6 mm. Masing-masing rentang memiliki batas persentase lolos ayakan yang berbeda untuk setiap ukuran ayakan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kesesuaian gradasi agregat kasar. Gradasi yang memenuhi ketentuan akan menghasilkan susunan butiran yang lebih padat, mengurangi volume rongga antaragregat, serta meningkatkan ikatan antara agregat dan pasta semen. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan, efisiensi penggunaan pasta semen, serta mutu beton yang dihasilkan.

2.2.4 Air

Air merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan beton karena memiliki peran penting dalam proses pembentukan adukan. Air bereaksi dengan semen melalui proses hidrasi sehingga menghasilkan pasta semen yang berfungsi mengikat agregat menjadi satu kesatuan yang padat. Selain itu, air juga membantu membasahi permukaan agregat sehingga campuran beton menjadi lebih mudah diaduk, diangkut, dipadatkan, dan dicetak. Oleh karena itu, jumlah air yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan. Penggunaan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan adukan menjadi kaku dan sulit dikerjakan, sedangkan penggunaan air yang berlebihan dapat meningkatkan nilai faktor air-semen sehingga menurunkan kekuatan serta mutu beton setelah mengeras.

2.3 *Workability* Beton

Menurut Tjokrodinuljo (1996), kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain:

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan.
2. Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai faktor air semen tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
6. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

2.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menahan beban tekan per satuan luas. Pengujian kuat tekan biasanya dilakukan menggunakan benda uji silinder atau kubus setelah beton mencapai umur tertentu, umumnya 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Menurut SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji dibagi luas penampang benda uji. Nilai kuat tekan menjadi parameter utama dalam menentukan mutu beton struktur. Beberapa faktor yang memengaruhi kuat tekan beton antara lain:

A. Faktor Air Semen

Faktor Air Semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air dan semen dalam campuran beton. Nilai FAS memengaruhi proses hidrasi, *workability*, dan kuat tekan beton. FAS yang terlalu tinggi dapat menurunkan kuat tekan, sedangkan FAS yang terlalu rendah menyebabkan beton sulit dikerjakan.

B. Kualitas Agregat

Agregat merupakan komponen penyusun beton dengan proporsi terbesar sehingga karakteristiknya sangat berpengaruh terhadap mutu beton. Agregat yang memiliki kekuatan tinggi, permukaan bersih, tingkat keausan rendah, serta bebas dari lumpur dan bahan organik akan menghasilkan ikatan yang lebih baik dengan pasta semen. Sebaliknya, agregat yang berkualitas rendah dapat menjadi titik lemah dalam struktur beton sehingga mengurangi kemampuan beton dalam menahan beban tekan

C. Gradasi Agregat

Gradasi agregat menunjukkan distribusi ukuran butiran agregat dalam suatu campuran. Susunan butiran yang memiliki gradasi baik akan menghasilkan rongga antaragregat yang lebih sedikit sehingga kebutuhan pasta semen dapat ditekan dan beton menjadi lebih padat. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan dan durabilitas beton. Sebaliknya, gradasi yang kurang baik dapat menyebabkan terbentuknya rongga yang lebih besar sehingga kekuatan beton menurun.

D. Metode Pencampuran

Proses pencampuran bertujuan menghasilkan campuran beton yang homogen sehingga seluruh material dapat terdistribusi secara merata. Metode pencampuran yang tidak sesuai, baik karena waktu pengadukan terlalu singkat maupun terlalu lama, dapat menyebabkan ketidakseragaman campuran. Akibatnya, sebagian agregat tidak terlapisi pasta semen secara optimal sehingga kualitas beton menjadi tidak merata dan kuat tekan yang dihasilkan cenderung lebih rendah.

E. Proses Pemadatan

Pemadatan merupakan tahapan penting dalam pelaksanaan pekerjaan beton yang bertujuan mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam campuran. Pemadatan yang dilakukan dengan baik akan menghasilkan beton yang lebih rapat dan memiliki jumlah rongga yang minimal. Sebaliknya, pemadatan yang kurang sempurna dapat menimbulkan honeycomb atau keropos pada beton sehingga mengurangi luas penampang efektif dan menyebabkan penurunan kuat tekan.

F. Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton dilakukan untuk menjaga kelembapan beton selama proses hidrasi semen berlangsung. Ketersediaan air yang cukup pada masa perawatan memungkinkan reaksi hidrasi berjalan secara optimal sehingga perkembangan kekuatan beton dapat berlangsung sesuai dengan yang direncanakan. Apabila proses *curing* tidak dilakukan dengan baik, penguapan air yang terlalu cepat dapat menghambat hidrasi, memicu retak susut, dan menurunkan kuat tekan serta ketahanan beton terhadap pengaruh lingkungan.

G. Umur Beton

Kuat tekan beton berkembang secara bertahap seiring bertambahnya umur beton sebagai akibat dari proses hidrasi semen yang masih berlangsung. Pada umur awal, kekuatan beton belum mencapai nilai maksimum, sedangkan pada umur 28 hari umumnya beton telah mencapai kuat tekan rencana sehingga umur tersebut dijadikan acuan dalam pengujian mutu beton. Meskipun demikian, apabila proses perawatan dilakukan dengan baik, kuat tekan beton masih dapat terus meningkat setelah melewati umur 28 hari.

2.5 Pengaruh Variasi Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton

Komposisi agregat kasar memiliki pengaruh terhadap struktur internal beton. Penggunaan kombinasi ukuran agregat yang tepat dapat menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat sehingga rongga dalam beton menjadi lebih kecil. Kondisi tersebut dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Penelitian oleh Gunawan, A. (2016) menunjukkan bahwa kombinasi agregat kasar dengan ukuran berbeda mampu meningkatkan kepadatan beton dan menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibanding penggunaan satu ukuran agregat saja.

Selain itu, penggunaan batu berukuran besar yang berlebihan dapat menyebabkan ikatan antar material menjadi kurang baik sehingga kuat tekan beton mengalami penurunan. Oleh karena itu, diperlukan proporsi agregat kasar yang sesuai agar mutu beton tetap optimal.

2.6 Pengaruh Variasi *Slump* terhadap Kuat Tekan Beton

Nilai *slump* berkaitan erat dengan jumlah air dalam campuran beton. Penambahan air yang terlalu banyak memang dapat meningkatkan *workability* beton, namun dapat menyebabkan beton menjadi lebih porous setelah mengeras. Hal tersebut berpengaruh terhadap penurunan kuat tekan beton.

Menurut penelitian Rahman dan Setiawan (2019), beton dengan nilai *slump* sedang menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibanding beton dengan *slump* terlalu tinggi. Nilai *slump* yang sesuai dapat menghasilkan beton yang mudah dikerjakan tanpa mengurangi kualitas beton setelah pengerasan.

2.7 Analisa Biaya Material

Menurut Lidya, Ophiyandri, dan Hidayat (2024), pengelolaan biaya material bertujuan memastikan kebutuhan material dapat dipenuhi secara tepat dari segi jenis, jumlah, mutu, dan biaya sehingga pelaksanaan proyek menjadi lebih efisien. Oleh karena itu, perbandingan harga material diperlukan untuk memperoleh alternatif material yang paling ekonomis tanpa mengurangi kualitas pekerjaan.

Analisis biaya material dilakukan dengan menghitung kebutuhan setiap jenis material berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan yang berlaku. Perbandingan biaya tersebut menjadi dasar dalam memilih material yang memberikan biaya paling efisien dengan tetap memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan. Dalam penelitian ini, analisis biaya hanya difokuskan pada perbandingan harga material beton, yaitu semen, pasir, agregat kasar (split 1–2 dan split 2–3), serta air untuk mengetahui komposisi campuran yang paling ekonomis tanpa mengurangi mutu beton yang dihasilkan.

2.8 Pengendalian Mutu

Menurut Kamuk (2019), pengendalian kualitas memiliki berbagai pengertian yang berkembang di Indonesia, di antaranya sebagai berikut.

1. Pengendalian kualitas merupakan rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk merencanakan, mempertahankan, dan meningkatkan mutu produk atau jasa secara efektif dan efisien agar mampu memenuhi kebutuhan serta kepuasan pelanggan.
2. Pengendalian kualitas diartikan sebagai suatu sistem manajemen yang melibatkan seluruh jenjang organisasi melalui penerapan konsep pengendalian mutu dan metode statistik guna mencapai kepuasan pelanggan sekaligus meningkatkan kepuasan karyawan.
3. Pengendalian kualitas merupakan sistem pengelolaan yang bertujuan meningkatkan mutu produk atau jasa, produktivitas kerja, serta kepuasan pelanggan dan karyawan dengan memanfaatkan sumber daya secara efisien.

2.9 Cycle time (Waktu Siklus)

Cycle time merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan keseluruhan waktu yang diperlukan dalam menghasilkan suatu output. Waktu tersebut mencakup aktivitas yang memberikan nilai tambah (*value added*), aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value added*), serta waktu yang dibutuhkan operator dalam menyelesaikan satu siklus pekerjaan, termasuk pekerjaan manual dan perpindahan selama proses berlangsung.

Sejalan dengan pengertian tersebut, Parihar dkk. (2012) menjelaskan bahwa *cycle time* adalah waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu komponen pekerjaan pada stasiun kerja. Parameter ini memberikan gambaran mengenai lamanya proses penyelesaian suatu tugas sejak dimulai hingga selesai.

Berdasarkan kedua pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa *cycle time* merupakan rata-rata waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan, proses produksi, atau layanan secara utuh. Dengan demikian, *cycle time* menunjukkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu produk atau menyelesaikan seluruh tahapan aktivitas dalam suatu proses kerja, mulai dari tahap awal hingga tahap akhir.



2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu

No	Penulis & Tahun	Judul	Tujuan & Parameter	Metode	Hasil
1	Hujiyanto, Irwan Lakawa, Hakiman, & Marchel Yupi Paembonan (2024)	Analisis Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Pada Beton Normal	Menganalisis pengaruh ukuran agregat kasar terhadap kuat tekan dan porositas beton. Parameter : Ukuran agregat 1–2 cm dan 2–3 cm, kuat tekan, dan porositas.	Penelitian eksperimen laboratorium berdasarkan metode SNI dengan pengujian <i>slump</i> , kuat tekan, dan porositas.	Agregat ukuran 1–2 cm menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibanding ukuran 2–3 cm.
2	Arusmalem Ginting (2014)	Analisis Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Pada Beton Normal	Mengetahui pengaruh perbandingan agregat halus dan kasar terhadap <i>workability</i> dan kuat tekan beton. Parameter : Perbandingan agregat, nilai <i>slump</i> , dan kuat tekan.	Penelitian eksperimen laboratorium dengan pengujian <i>slump</i> dan kuat tekan beton umur 28 hari.	Perbandingan agregat memengaruhi nilai <i>slump</i> , kuat tekan, dan berat volume beton.

3	Tilisa M. Amahoru, Soumokil Hengki Johnny, dan Sulastri Kakaly (2022)	Perencanaan Komposisi Campuran Beton Menggunakan Agregat 10/20 dan 20/30	Menentukan komposisi campuran beton dan menganalisis pengaruh variasi ukuran agregat kasar 10/20 mm dan 20/30 mm terhadap kuat tekan beton. Parameter : Variabel bebas: ukuran agregat kasar (10/20 mm dan 20/30 mm). Variabel terikat: kuat tekan beton.	Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan rancangan campuran berdasarkan SNI 03-2834-2000. Benda uji berbentuk silinder dan dilakukan pengujian <i>slump</i> serta kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari	Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ukuran agregat kasar memengaruhi kuat tekan beton. Agregat 10/20 mm menghasilkan kuat tekan rata-rata 25,76 MPa, sedangkan agregat 20/30 mm menghasilkan 25,41 MPa.
4	Ika Sulianti, Amiruddin, Rio Shaputra, dan Daryoko (2018)	Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Mengetahui pengaruh ukuran agregat kasar terhadap kuat tekan beton Parameter : Ukuran agregat kasar maksimum 20 mm ($\frac{1}{2}$ "), 40 mm ($\frac{2}{3}$ ") campuran, nilai <i>slump</i> , dan kuat tekan umur 28 hari.	Penelitian eksperimen laboratorium menggunakan metode SNI 03-2834-2000, dengan pengujian <i>slump</i> dan kuat tekan beton umur 28 hari.	Ukuran agregat kasar berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Agregat 40 mm menghasilkan kuat tekan tertinggi dibandingkan ukuran 20 mm dan campuran.

BAB III

METODE PENELITIAN

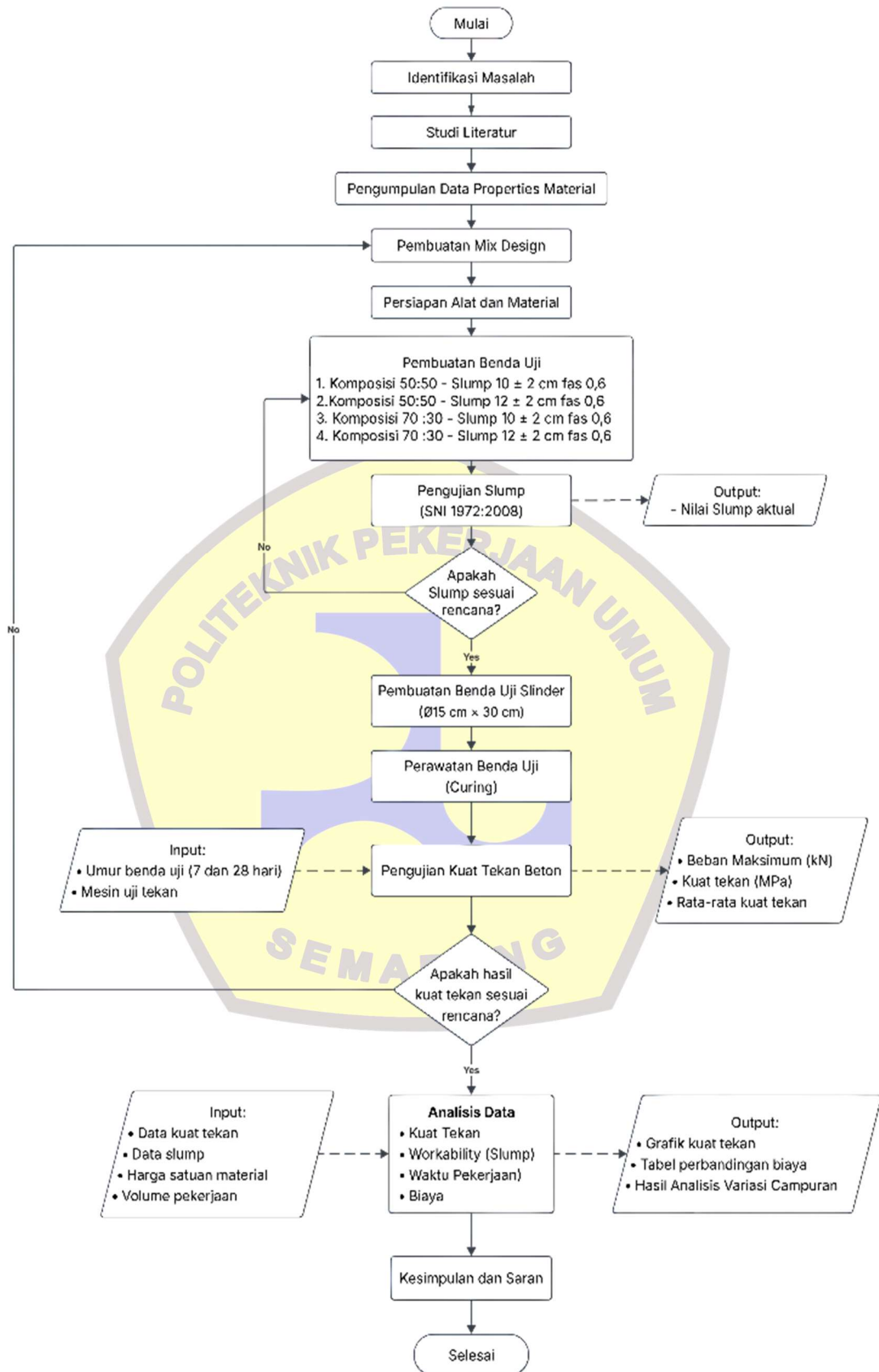
3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen kuantitatif. Penelitian dilakukan dengan membuat benda uji beton menggunakan variasi komposisi agregat kasar batu 1–2 dan batu 2–3 serta variasi nilai *slump* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton struktur.

Metode eksperimen digunakan karena penelitian dilakukan secara langsung melalui pengujian laboratorium terhadap benda uji beton. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara variasi komposisi agregat kasar dan nilai *slump* terhadap kuat tekan beton.

3.2 Bagan Alir Penelitian

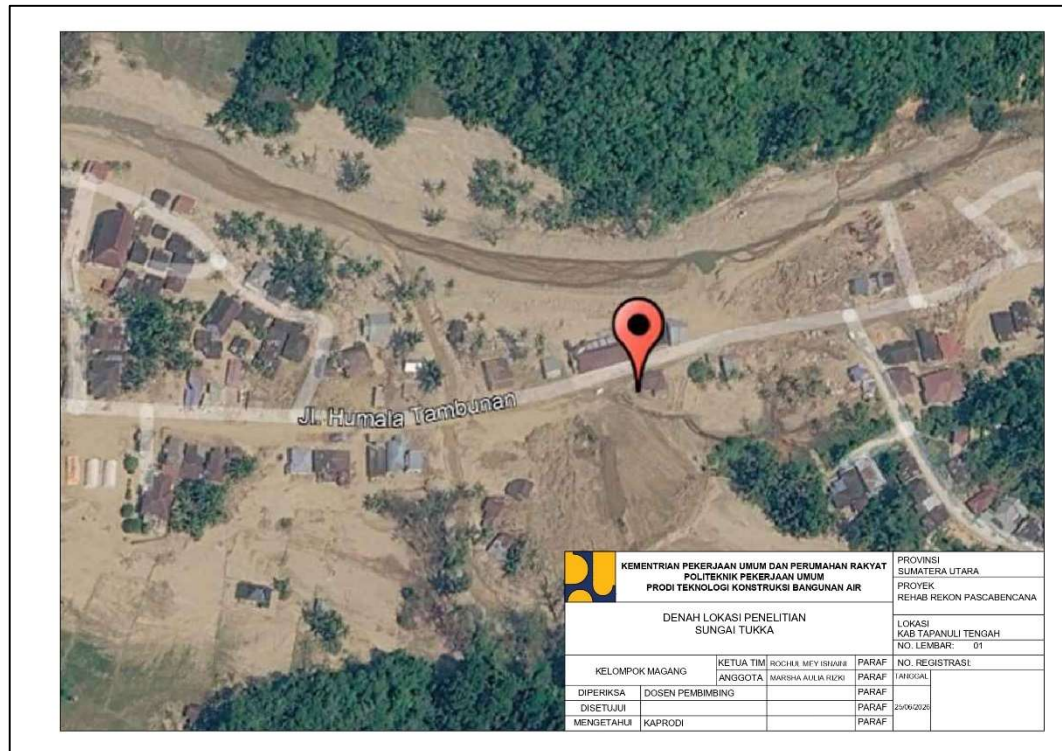
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Pendekatan kuantitatif dipilih karena analisis didasarkan pada data yang diperoleh melalui pengujian laboratorium dan pengamatan lapangan, kemudian diolah secara numerik. Data yang dianalisis meliputi hasil pengujian *workability (slump)*, kuat tekan beton, kebutuhan material berdasarkan *mix design*, analisis biaya campuran beton, serta data *cycle time* produksi beton sebagai informasi pendukung dalam pelaksanaan pekerjaan struktur *retaining wall* (Gambar 3.1).



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Prasarana Pengendalian Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah (Gambar 3.2). Pemilihan lokasi penelitian didasarkan oleh Program Bakti Sivitas Akademika Politeknik Pekerjaan Umum. Kegiatan penelitian dilakukan selama masa pelaksanaan kerja praktik dan penyusunan tugas akhir.



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2026)

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan kegiatan yang telah direncanakan. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang mendukung penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data karakteristik material sebagai acuan dalam penyusunan *mix design*. Setelah rancangan campuran diperoleh, penelitian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji, pengujian *slump*, proses perawatan (*curing*), serta pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari. Adapun jadwal pelaksanaan setiap tahapan penelitian disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tahapan Penelitian

No.	Tahapan Penelitian	Bulan															
		April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Identifikasi Masalah																
2.	Studi literatur																
3.	Pengumpulan data properties material																
4.	Perancangan <i>mix design</i>																
5.	Pembuatan benda uji																
6.	Pengujian slump																
7.	Perawatan beton (<i>curing</i>)																
8.	Pengujian kuat ketan 7 hari																
9.	Pengujian kuat tekan 28 hari																
10.	Pengolahan dan analisis data																
11.	Penyusunan laporan tugas akhir																

(Sumber: Data Penulis, 2026)

3.4 Subjek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada tiga aspek utama dalam pelaksanaan pekerjaan beton pada struktur *retaining wall*, yaitu biaya, mutu, dan waktu. Ketiga aspek tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi pengaruh variasi ukuran agregat kasar 1–2 dan 2–3 serta nilai *slump* terhadap kinerja campuran beton. Adapun parameter yang dianalisis meliputi:

A. Biaya

Pada aspek biaya yang diteliti yaitu perbandingan kebutuhan dan penggunaan material penyusun beton, termasuk semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta biaya yang timbul akibat variasi komposisi campuran beton.

B. Mutu

Untuk aspek mutu yang diperhatikan yaitu kualitas beton yang ditinjau berdasarkan nilai *slump* sebagai indikator *workability* serta hasil pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran agregat kasar terhadap kekuatan beton pada struktur *retaining wall*.

C. Waktu

Pada aspek waktu yang diteliti yaitu efisiensi pelaksanaan pekerjaan yang dipengaruhi oleh kemudahan proses pencampuran, pengangkutan, penuangan, pemadatan, dan penyelesaian beton sebagai akibat dari variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump*.

3.5 Variable Penelitian

3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu:

a. Perbandingan Komposisi Agregat Kasar 1-2 dan 2-3

Perbandingan komposisi agregat kasar ukuran 1–2 dan 2–3 dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi ukuran butiran terhadap sifat campuran beton. Perbedaan komposisi agregat dapat memengaruhi kepadatan campuran, kemudahan pengerjaan, serta kuat tekan beton, sehingga diperlukan proporsi yang sesuai agar diperoleh mutu beton yang optimal.

b. Variasi Nilai *Slump* Beton

Variasi nilai *slump* menunjukkan perbedaan tingkat kelecakan (*workability*) beton segar yang dipengaruhi oleh komposisi campuran, terutama kadar air, semen, dan karakteristik agregat. Nilai *slump* yang rendah menghasilkan campuran yang lebih kaku, sedangkan nilai yang lebih tinggi meningkatkan kemudahan pengerjaan. Dalam penelitian ini, variasi nilai *slump* digunakan untuk menganalisis pengaruh tingkat kelecakan beton terhadap kuat tekan yang dihasilkan.

3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton struktur. Nilai ini menjadi indikator utama mutu beton karena menunjukkan kemampuan struktur dalam memikul beban. Besarnya kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas material, faktor air-semen, proses pengerjaan, perawatan, dan umur beton saat pengujian. Hasil uji kuat tekan digunakan untuk memastikan beton memenuhi mutu yang telah direncanakan.

3.5.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

a. Jenis semen yang digunakan

Jenis semen yang digunakan merupakan salah satu aspek penting yang menentukan mutu beton. Setiap jenis semen memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda sehingga penggunaannya harus disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi serta kondisi lingkungan. Pemilihan semen yang tepat akan memengaruhi proses hidrasi, perkembangan kuat tekan, tingkat keawetan, serta kinerja beton selama masa layan. Oleh karena itu, penggunaan jenis semen harus mempertimbangkan persyaratan teknis agar beton yang dihasilkan memenuhi mutu yang direncanakan.

b. Faktor Air Semen

Faktor Air Semen (FAS) adalah perbandingan antara jumlah air dan semen dalam campuran beton yang berpengaruh terhadap proses hidrasi, kemudahan pengerjaan, dan kuat tekan beton. Nilai FAS yang terlalu tinggi dapat menurunkan kekuatan beton akibat meningkatnya porositas,

sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat menghambat proses hidrasi dan menyulitkan pelaksanaan pengecoran. Oleh karena itu, pemilihan nilai FAS harus disesuaikan dengan mutu beton yang direncanakan.

c. Umur beton saat pengujian

Umur beton saat pengujian berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton. Semakin lama umur beton, proses hidrasi semen semakin optimal sehingga kekuatan beton terus meningkat hingga mencapai nilai rencana. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada umur tertentu, terutama 28 hari, sebagai dasar evaluasi mutu beton.

d. Metode pencampuran beton

Metode pencampuran beton merupakan proses menggabungkan semen, agregat halus, agregat kasar, dan air hingga membentuk campuran yang homogen. Pencampuran yang dilakukan secara tepat akan menghasilkan mutu beton yang seragam, meningkatkan kemudahan pengerjaan, serta membantu mencapai kuat tekan sesuai dengan mutu yang direncanakan.

e. Metode perawatan beton

Perawatan beton (*curing*) merupakan tahapan yang dilakukan setelah proses pencetakan benda uji untuk menjaga kondisi kelembapan beton selama proses pengerasan berlangsung. Tujuan utama perawatan beton adalah mempertahankan ketersediaan air yang diperlukan dalam proses hidrasi semen sehingga perkembangan kuat tekan dapat berlangsung secara optimal. Pelaksanaan *curing* yang baik juga berperan dalam mengurangi risiko penguapan air secara berlebihan yang dapat menyebabkan retak susut pada umur awal beton. Pada penelitian ini, perawatan benda uji dilakukan dengan metode perendaman (*water curing*). Setelah benda uji dicetak, beton dibiarkan di dalam cetakan selama kurang lebih 24 jam hingga mencapai kekuatan awal yang cukup. Selanjutnya, benda uji dilepaskan dari cetakan dan direndam di dalam bak berisi air bersih hingga mencapai umur pengujian, yaitu 7 hari dan 28 hari. Perawatan beton dilakukan dengan prosedur yang sama untuk seluruh variasi campuran, sehingga perbedaan hasil pengujian kuat tekan yang diperoleh diharapkan berasal dari pengaruh

variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump*, bukan akibat perbedaan metode perawatan benda uji.

3.6 Populasi dan Sample

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh campuran beton struktur yang menggunakan agregat kasar batu split 1–2 dan batu split 2–3. Sampel penelitian berupa benda uji beton silinder yang dibuat menggunakan variasi komposisi agregat kasar dan variasi *slump* tertentu. Benda uji dibuat sesuai standar pengujian beton yang berlaku.

a. Variasi komposisi agregat kasar yang digunakan yaitu:

1. Batu split 1–2 : Batu split 2–3 = 50% : 50%

2. Batu split 1–2 : Batu split 2–3 = 70% : 30%

b. Variasi *slump* yang digunakan yaitu:

1. *Slump* 10 ± 2 cm

2. *Slump* 15 ± 2 cm

Untuk setiap variasi campuran diberi kode sampel untuk memudahkan proses identifikasi selama pembuatan benda uji, pengujian, analisis hasil. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 4 benda uji, sehingga jumlah sampel yang digunakan telah memenuhi kebutuhan penelitian untuk memperoleh data yang representatif. Variasi campuran, kode sampel, nilai *slump* rencana, dan jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Variasi Campuran dan Jumlah Benda Uji Penelitian

Variasi Campuran	Kode Sample	Nilai <i>Slump</i> Rencana (cm)	Jumlah Sampel
Komposisi 50:50	A.1	10 ± 2	4 buah
Komposisi 50:50	A.2	12 ± 2	4 buah
Komposisi 70:30	B.1	10 ± 2	4 buah
Komposisi 70:30	B.2	12 ± 2	4 buah

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

3.7 Alat dan Bahan Penelitian

3.7.1 Alat Penelitian

Pelaksanaan penelitian memerlukan beberapa peralatan yang digunakan untuk mendukung proses pembuatan campuran beton, pengujian beton segar, hingga pengujian beton keras. Seluruh peralatan dipilih sesuai dengan kebutuhan setiap tahapan penelitian sehingga proses pengambilan data dapat dilakukan secara sistematis dan menghasilkan data yang dapat dipertanggungjawabkan. Peralatan yang digunakan meliputi alat pencampur beton, alat pengecoran, peralatan pengujian *slump*, peralatan pembuatan benda uji, serta alat pengujian kuat tekan beton.

a. Kerucut Abrams

Digunakan untuk menguji nilai *slump* beton segar.



Gambar 3. 3 Kerucut Abrams
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

b. Batang Penumbuk

Digunakan untuk memadatkan beton pada saat pengujian *slump* dan pencetakan benda uji.



Gambar 3. 4 Batang Penumbuk
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

c. Plat Dasar

Digunakan sebagai alas kerucut abrams saat pelaksanaan *slump test*.



Gambar 3. 5 Pelat Dasar
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

d. Meteran

Digunakan untuk mengukur penurunan pada *slump test*.



Gambar 3. 6 Meteran
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

e. Palu Karet

Digunakan untuk pemadatan beton dengan mengetuk sis-sisi cetakan.



Gambar 3. 7 Palu Karet
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

f. Sekop

Digunakan untuk mengambil dan memindahkan material penyusun beton.



Gambar 3. 8 Sekop
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

g. *Molding* Silinder Ø15 cm × 30 cm

Digunakan untuk cetakan benda uji beton silinder.



Gambar 3. 9 *Molding* Silinder Ø15 cm × 30 cm
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

h. Gerobak Dorong

Digunakan untuk mengangkut beton segar.



Gambar 3. 10 Gerobak Dorong
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

i. Roskam

Digunakan untuk mengambil dan memasukkan beton segar ke dalam cetakan.



Gambar 3. 11 Roskam
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

j. Ember

Digunakan untuk wadah air dan material selama proses pencampuran beton.



Gambar 3. 12 Ember
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

k. *Concrete Mixer*

Digunakan untuk mencampur seluruh material beton hingga diperoleh campuran yang homogen.



Gambar 3. 13 *Concrete Mixer*
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

3.7.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan material yang umum digunakan pada pekerjaan beton normal, khususnya untuk struktur *retaining wall*. Pemilihan setiap material didasarkan pada kesesuaiannya terhadap persyaratan teknis yang berlaku sehingga dapat menghasilkan campuran beton sesuai dengan mutu rencana f_c' 20 MPa. Seluruh bahan yang digunakan diperiksa terlebih dahulu melalui pengujian karakteristik material guna memastikan bahwa kualitasnya memenuhi persyaratan sebagai penyusun campuran beton.

a. Semen *Portlad* Tipe I

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland Tipe I sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton. Jenis semen ini dipilih karena sesuai untuk pekerjaan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap ketahanan sulfat maupun panas hidrasi.



Gambar 3. 14 Semen *Portlad* Tipe I
(Sumber: *Google*, 2026)

b. Batu Split 1-2

Batu split 1–2 digunakan sebagai salah satu jenis agregat kasar dalam penelitian ini dengan ukuran nominal sekitar 19 mm ($\frac{3}{4}$ inci). Agregat ini berfungsi sebagai penyusun utama campuran beton dan berperan dalam meningkatkan kekuatan serta kestabilan struktur beton.



Gambar 3. 15 Batu Split 1-2
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

c. Batu Split 2-3

Batu split 2-3 digunakan sebagai agregat kasar dengan ukuran nominal sekitar 38 mm ($1\frac{1}{2}$ inci). Material ini dikombinasikan dengan batu split 1-2 sesuai variasi komposisi yang diteliti.



Gambar 3. 16 Batu Split 2-3
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

d. Pasir

Pasir alami digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton. Material ini berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar sehingga menghasilkan campuran beton yang lebih padat.



Gambar 3. 17 Pasir
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

e. Air

Air digunakan sebagai bahan pencampur dalam pembuatan beton. Penggunaan air bertujuan untuk mendukung proses hidrasi semen serta memperoleh *workability* yang sesuai dengan rancangan campuran beton.



Gambar 3. 18 Tandon Air
(Sumber: Google, 2025)

3.8 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data *primer* dan data *sekunder*. Data *primer* merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber penelitian melalui *observasi* lapangan, dokumentasi pekerjaan, dan wawancara dengan pihak yang terlibat dalam pelaksanaan proyek. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari dokumen proyek, literatur, jurnal, buku referensi, *shop drawing*, spesifikasi teknis, dan data pendukung lainnya yang berkaitan dengan pekerjaan *Retaining wall*.

3.8.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung dari hasil peninjauan langsung dilapangan atau wawancara di lapangan. Pada penelitian ini menggunakan metode peninjaun dilapangan untuk mengamati dan ikut terlibat secara langsung kondisi aktual pelaksanaan pekerjaan Prasarana Pengendalian Banjir Sungai Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah. Adapun data yang didapatkan, antara lain:

- a. Siklus pelaksanaan pekerjaan prasarana pengendalian banjir sungai tukka kabupaten tapanuli tengah. mulai dari proses mobilisasi Perakitan Bakisting, Pembesian Tulangan, Hingga Proses Pengecoran.

- b. Menghitung *Cycle time* Operasional Pengecoran Pekerjaan *Retaining wall* yang digunakan sebagai dasar dalam menganalisis waktu pelaksanaan aktual.
- c. Data jumlah tenaga kerja dan produktivitas pekerjaan yang terlibat dalam pelaksanaan *Retaining wall*.
- d. Jenis dan jumlah peralatan yang digunakan selama proses pelaksanaan pekerjaan *retaining wall*

3.8.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari berbagai sumber pendukung seperti data proyek, dokumen, atau literatur yang relevan dengan topik penelitian.

1. *Shop Drawing*

Shop drawing merupakan dokumen teknis yang memiliki peran penting dalam pelaksanaan proyek konstruksi maupun proses manufaktur. Dokumen ini berisi gambar kerja secara rinci yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan, sehingga dapat menghubungkan perencanaan desain dengan proses implementasi di lokasi proyek. Pemahaman yang baik mengenai *shop drawing* diperlukan untuk mendukung kelancaran pelaksanaan proyek, meningkatkan efisiensi biaya dan waktu, serta memastikan hasil pekerjaan memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan.

2. Analisis Harga Satuan (AHS)

Analisis Harga Satuan merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghitung dan menguraikan komponen biaya pada setiap jenis pekerjaan konstruksi. Analisis ini memuat rincian kebutuhan material, tenaga kerja, serta peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai besarnya biaya yang diperlukan dan menjadi dasar dalam mengevaluasi aspek ekonomis setiap kegiatan konstruksi.

3.9 Prosedur Penelitian

3.9.1 Tahap Persiapan

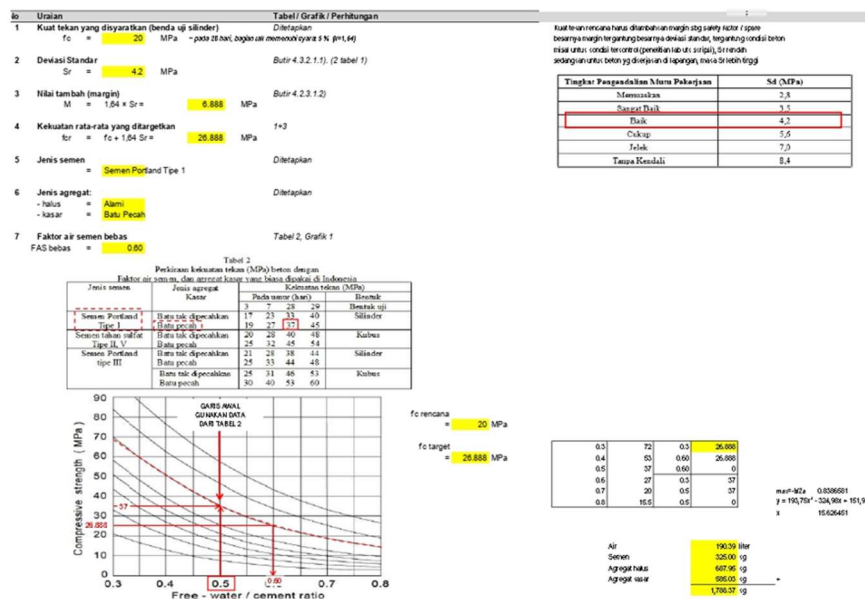
Tahap persiapan merupakan kegiatan awal yang dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian. Tahap ini bertujuan untuk memastikan seluruh kebutuhan penelitian telah tersedia sehingga proses pengujian dapat berlangsung secara sistematis. Kegiatan yang dilakukan meliputi studi literatur mengenai teknologi beton, karakteristik agregat, nilai *slump*, serta pekerjaan struktur *retaining wall*. Referensi yang digunakan berasal dari standar nasional, buku, dan jurnal ilmiah yang berkaitan dengan penelitian.

Selain studi literatur, pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan selama penelitian. Material yang dipersiapkan meliputi semen *Portlad*, agregat halus, agregat kasar ukuran 3/4 inch (split 1–2) dan 1½ inch (split 2–3), serta air pencampur. Peralatan laboratorium yang digunakan untuk pengujian material, pembuatan benda uji, pengujian *slump*, dan pengujian kuat tekan juga diperiksa kelayakannya sebelum digunakan agar proses penelitian dapat berjalan dengan baik.

3.9.2 Penyusunan *Mix design*

Penyusunan *mix design* dilakukan setelah seluruh data karakteristik material diperoleh. Perancangan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana f_c' 20 MPa dan nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,60 yang dapat dilihat pada gambar 3.19. Pada tahap ini ditentukan kebutuhan masing-masing material penyusun beton untuk setiap satu meter kubik campuran.

Dalam penelitian ini digunakan dua variasi komposisi agregat kasar, yaitu 50:50 dan 70:30, serta dua variasi nilai *slump*, yaitu 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm. Variasi tersebut disusun untuk mengetahui pengaruh perubahan proporsi agregat kasar dan tingkat kelecakan beton terhadap karakteristik beton yang dihasilkan.



Gambar 3. 19 Penyusunan *Mix Design*
(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

3.9.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan komposisi campuran yang telah diperoleh dari hasil *mix design*. Seluruh material ditimbang sesuai kebutuhan, kemudian dicampur hingga menghasilkan campuran beton yang homogen. Sebelum dilakukan pencetakan, setiap campuran terlebih dahulu diuji nilai *slump* untuk memastikan tingkat kelecakannya sesuai dengan nilai yang telah direncanakan.

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder sesuai dengan ketentuan standar pengujian kuat tekan beton. Campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap, kemudian dilakukan pemadatan agar rongga udara di dalam beton dapat diminimalkan. Setelah proses pencetakan selesai, setiap benda uji diberi kode sesuai variasi campuran yang digunakan untuk mempermudah proses identifikasi selama penelitian.



Gambar 3. 20 Pembuatan Benda Uji
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)



Gambar 3. 21 Benda Uji
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

3.9.4 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* beton segar sebelum proses pencetakan benda uji. Pengujian menggunakan kerucut Abrams sesuai dengan ketentuan SNI 1972:2008 sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan nilai *slump* rencana yang telah ditentukan pada tahap *mix design*.

Nilai *slump* yang diperoleh digunakan sebagai indikator kemudahan pengerjaan beton selama proses pengecoran. Apabila hasil pengujian berada dalam rentang nilai rencana, maka campuran beton dinyatakan memenuhi persyaratan *workability* dan dapat dilanjutkan ke tahap pencetakan benda uji.



Gambar 3. 22 *Slump Test* di Lapangan
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

3.9.5 Perawatan Beton (*Curing*)

Setelah proses pencetakan selesai, benda uji didiamkan di dalam cetakan selama kurang lebih 24 jam hingga beton mencapai kekuatan awal yang cukup. Selanjutnya, benda uji dilepaskan dari cetakan dan direndam di dalam bak berisi air bersih sebagai media perawatan.

Metode perawatan yang digunakan adalah water *curing* atau perendaman. Selama proses perawatan, seluruh benda uji dijaga agar tetap terendam hingga mencapai umur pengujian 7 hari dan 28 hari. Metode ini dipilih untuk menjaga kelembapan beton sehingga proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal.



Gambar 3. 23 Perawatan Beton (*curing*)
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

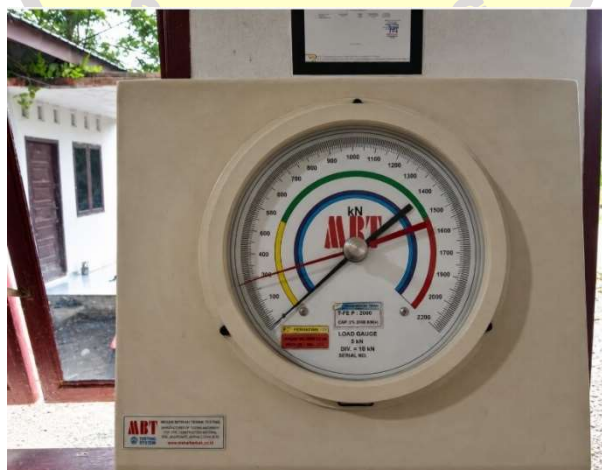
3.9.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan setelah mencapai umur tertentu. Pengujian dilaksanakan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) sesuai dengan prosedur pengujian yang berlaku.

Nilai beban maksimum yang diperoleh selama pengujian kemudian dikonversi menjadi nilai kuat tekan beton dalam satuan MPa. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi pengaruh variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* terhadap mutu beton.



Gambar 3. 24 Pengujian Kuat Tekan
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)



Gambar 3. 25 Pembacaan Dial Alat *Compression Testing Machine* (CTM)

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

3.9.7 Analisi Kebutuhan Biaya

Analisis kebutuhan biaya dilakukan setelah seluruh data *mix design* dan volume pekerjaan diperoleh. Perhitungan diawali dengan menentukan volume beton pada struktur *retaining wall*, kemudian dilanjutkan dengan menghitung kebutuhan material untuk setiap variasi campuran.

Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya berdasarkan harga satuan masing-masing material. Hasil analisis digunakan untuk membandingkan kebutuhan biaya antara variasi komposisi agregat kasar 50:50 dan 70:30, sehingga dapat diketahui variasi campuran yang lebih ekonomis untuk diterapkan pada pekerjaan struktur *retaining wall*.

3.9.8 Analisis *Cycle time* Produksi Beton

Analisis *cycle time* dilakukan sebagai data pendukung penelitian dengan mengamati proses produksi beton menggunakan *Concrete Truck Mixer* (CT) *Aimix* pada kegiatan *Trial Job Mix* di lokasi proyek. Pengamatan dilakukan terhadap setiap tahapan produksi, mulai dari pemuatan material, proses pencampuran, pemindahan beton, hingga proses pembongkaran beton.

Data *cycle time* tersebut tidak digunakan sebagai variabel utama penelitian, melainkan sebagai informasi pendukung untuk memberikan gambaran mengenai waktu yang dibutuhkan dalam proses produksi beton di lapangan. Hasil pengamatan selanjutnya digunakan sebagai bahan pembahasan yang dikaitkan dengan karakteristik *workability* beton pada pekerjaan *retaining wall*.

3.9.9 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

Data hasil pengujian material, nilai *slump*, kuat tekan beton, kebutuhan biaya, serta hasil pengamatan *cycle time* selanjutnya diolah dan dianalisis. Analisis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* terhadap karakteristik beton serta implikasinya pada pekerjaan struktur *retaining wall*.

Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Selain itu, disusun pula saran yang diharapkan

dapat menjadi masukan bagi penelitian selanjutnya maupun sebagai referensi dalam pelaksanaan pekerjaan beton dengan karakteristik yang serupa.

3.10 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh selama penelitian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena seluruh data yang dihasilkan berupa data numerik yang diperoleh melalui pengujian laboratorium, perhitungan kebutuhan material, analisis biaya, serta observasi lapangan. Setiap data diolah secara sistematis untuk menggambarkan pengaruh variasi ukuran agregat kasar dan nilai *slump* terhadap karakteristik beton pada pekerjaan struktur *retaining wall*.

Analisis terhadap hasil pengujian *slump* dilakukan dengan membandingkan nilai *slump* hasil pengujian dengan nilai *slump* rencana yang telah ditetapkan pada tahap *mix design*. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah setiap variasi campuran telah memenuhi kriteria *workability* yang direncanakan.

Selanjutnya, hasil pengujian kuat tekan beton dianalisis berdasarkan nilai kuat tekan masing-masing benda uji pada umur 7 hari dan 28 hari. Nilai rata-rata kuat tekan dari setiap variasi campuran kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh perubahan komposisi agregat kasar dan variasi nilai *slump* terhadap perkembangan kekuatan beton.

Selain pengujian laboratorium, dilakukan pula analisis terhadap kebutuhan biaya masing-masing variasi campuran beton. Analisis diawali dengan menghitung volume pekerjaan, kebutuhan material berdasarkan hasil *mix design*, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan biaya menggunakan harga satuan setiap material. Hasil perhitungan tersebut dibandingkan untuk mengetahui variasi campuran yang memberikan kebutuhan biaya paling efisien tanpa mengabaikan mutu beton yang dihasilkan.

Penelitian ini juga dilengkapi dengan analisis *cycle time* produksi beton sebagai data pendukung. Data diperoleh melalui observasi kegiatan *Trial Job Mix* menggunakan *Concrete Truck Mixer (CT) Aimix* pada proyek pembangunan *retaining wall*. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan mengidentifikasi durasi setiap tahapan produksi beton, mulai dari proses pemuatan material, pencampuran,

perpindahan alat, hingga pembongkaran beton di lokasi pengecoran. Hasil observasi tersebut digunakan untuk memberikan gambaran mengenai proses produksi beton di lapangan dan tidak dijadikan sebagai variabel utama dalam analisis penelitian.

Untuk mempermudah proses interpretasi, seluruh hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian pembahasan. Penyajian tersebut bertujuan agar hubungan antara variasi komposisi agregat kasar, nilai *slump*, kuat tekan beton, kebutuhan biaya, serta data pendukung berupa *cycle time* dapat dipahami secara lebih sistematis. Seluruh hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan pembahasan dan penarikan kesimpulan penelitian.

Perhitungan kuat tekan beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 1974:2011 tentang *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Nilai kuat tekan dihitung menggunakan persamaan berikut.

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

Keterangan:

F'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

4.1.1 Agregat Halus

Pengujian agregat halus pada penelitian ini meliputi pengujian analisa gradasi butiran, berat jenis, kadar air, penyerapan air, serta kadar lumpur. Setiap parameter yang dilakukan bermanfaat untuk mengetahui kesesuaian karakteristik agregat halus terhadap spesifikasi teknis sebagai bahan penyusun beton agar mutu beton yang direncanakan dapat tercapai.

4.1.1.a. Pengujian Berat Jenis

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai sifat fisik agregat yang berkaitan dengan kepadatan partikel, porositas, serta kemampuan agregat dalam menyerap air.

Pengujian berat jenis agregat halus menghasilkan beberapa parameter, yaitu berat jenis curah kondisi kering oven (*bulk specific gravity oven dry*), berat jenis curah kondisi jenuh kering permukaan (*bulk specific gravity saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta nilai penyerapan air (*water absorption*). Keempat parameter tersebut saling berkaitan dalam menggambarkan karakteristik agregat yang akan digunakan pada campuran beton. Nilai penyerapan air, misalnya, diperlukan untuk menghitung koreksi kebutuhan air pencampur sehingga jumlah air efektif dalam campuran tetap sesuai dengan hasil perancangan.

Pada penelitian ini, hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus digunakan sebagai data dasar dalam penyusunan komposisi campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Nilai yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan ketentuan standar yang berlaku untuk mengetahui kelayakan agregat halus sebagai material penyusun beton. Hasil pengujian berat jenis agregat halus disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian			Sample
Berat contoh SSD	(gram)	BB	504.3
Berat contoh kering oven	(gram)	BK	494.6
Berat piknometer + air	(gram)	B	556
Berat piknometer + contoh + air	(gram)	BT	859.3
Berat jenis bulk	$\frac{BK}{(B + BB - BT)}$		2.46
Berat jenis kering permukaan	$\frac{BK}{(B + BK - BT)}$		2.59
Berat jenis SSD	$\frac{BB}{(B + BB - BT)}$		2.51
Penyerapan	$\frac{(BB - BK) \times 100}{BK}$		1.96

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.1, diperoleh nilai berat jenis bulk (*bulk specific gravity*) sebesar 2,46, berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,59, dan berat jenis jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD) sebesar 2,51. Sementara untuk nilai penyerapan air (*water absorption*) agregat halus sebesar 1,96%. Nilai berat jenis yang diperoleh mengindikasikan bahwa agregat halus memiliki tingkat kepadatan yang baik sehingga mampu memberikan kontribusi terhadap pembentukan beton yang padat dan stabil. Sementara itu, nilai penyerapan air sebesar 1,96% menunjukkan bahwa agregat memiliki kemampuan menyerap air yang relatif rendah. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton memiliki karakteristik fisik yang memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton.

4.1.1.b. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air agregat halus dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam pasir sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton. Nilai kadar air perlu diketahui karena berpengaruh terhadap jumlah air yang digunakan dalam *mix design*. Apabila kadar air agregat tidak diperhitungkan, komposisi campuran yang direncanakan dapat berubah sehingga memengaruhi nilai faktor air semen (*water cement ratio*) dan mutu beton yang dihasilkan. Maka, pengujian ini dilakukan sebagai dasar dalam melakukan koreksi proporsi campuran agar jumlah air efektif tetap sesuai dengan perencanaan. Hasil pengujian kadar air agregat halus disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian		Sample
Berat benda uji lapangan	gram	500
Berat benda uji kering oven	gram	492.5
Kadar Air	%	1.52

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.2, berat agregat halus dalam kondisi lapangan tercatat sebesar 500 gram, sedangkan setelah melalui proses pengeringan menggunakan oven beratnya menjadi 492,5 gram. Selisih berat antara kondisi basah dan kondisi kering menunjukkan adanya kandungan air yang terdapat pada agregat halus sebelum dilakukan pengujian.

Dari hasil perhitungan diperoleh kadar air agregat halus sebesar 1,52%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan masih mengandung air bebas sehingga perlu diperhitungkan dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*). Penyesuaian terhadap kadar air agregat diperlukan agar jumlah air pencampur tetap sesuai dengan nilai faktor air semen (FAS) yang telah ditetapkan. Dengan demikian, proporsi

campuran beton dapat dipertahankan sesuai hasil perencanaan sehingga mutu beton yang dihasilkan tidak mengalami penyimpangan.

4.1.1.c. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pasir yang digunakan sebagai bahan penyusun beton. Hasil pengujian ini diperlukan untuk menentukan karakteristik gradasi agregat halus serta memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton. Selain itu, data distribusi ukuran butiran digunakan sebagai salah satu parameter dalam penyusunan *mix design*, karena gradasi agregat berpengaruh terhadap kepadatan susunan butiran, kebutuhan pasta semen, serta tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Saringan		Tertahan		Persen Kumulatif		Ket.
No	Diameter	Gram	%	Tertahan	Lolos	
1/2"	12.5	0	0.00	0.00%	100.00%	
3/8"	9.5	0	0.00	0.00%	100.00%	
No. 4	4.75	0	0.00	0.00%	100.00%	
No. 8	2.36	22.5	0.05	4.67%	95.33%	
No.16	1.18	107.2	0.22	26.93%	73.07%	
No. 30	0.6	171.9	0.36	62.61%	37.39%	
No. 50	0.3	104.4	0.22	84.28%	15.72%	
No. 100	0.15	71.9	0.15	99.21%	0.79%	
PAN		3.8	0.01	100.00%	0.00%	
Berat Total		481.7				
Berat Sample		500		277.70		
Modulus Kehalusan		2.78				

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3, diperoleh nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat halus sebesar 2,78. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pasir yang digunakan termasuk dalam kategori pasir sedang (Zona II) berdasarkan klasifikasi gradasi agregat halus. Distribusi ukuran butiran juga memperlihatkan bahwa sebagian besar material tertahan pada saringan No. 30, sedangkan material yang lolos hingga saringan No. 100 relatif sedikit. Kondisi ini menunjukkan bahwa agregat halus memiliki susunan gradasi yang cukup baik untuk digunakan sebagai bahan penyusun beton normal.

Gradasi agregat yang berada pada kategori pasir sedang memberikan susunan butiran yang relatif rapat sehingga rongga antarbutir dapat diminimalkan. Kondisi tersebut mendukung tercapainya campuran beton yang lebih stabil, mengurangi kebutuhan pasta semen untuk mengisi rongga, serta membantu menghasilkan nilai *workability* yang sesuai dengan rancangan campuran. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam penyusunan *mix design* beton.

4.1.1.d. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan untuk mengetahui kandungan partikel halus yang melekat pada permukaan pasir. Keberadaan lumpur dalam jumlah yang berlebihan dapat mengurangi daya lekat antara pasta semen dan agregat sehingga berpotensi menurunkan mutu beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan sebagai salah satu tahapan untuk memastikan bahwa agregat halus memenuhi persyaratan sebelum digunakan dalam proses pembuatan campuran beton.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian		Sample
Berat benda uji kering oven	gram	500
Berat benda uji kering oven tertahan saringan No. 200	gram	481.9
Kadar lumpur	%	3.62

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, diperoleh nilai kadar lumpur agregat halus sebesar 3,62%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan partikel halus yang terdapat pada agregat masih berada dalam batas yang diperkenankan untuk digunakan sebagai material penyusun beton. Kandungan lumpur yang terkendali akan membantu meningkatkan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga proses hidrasi dapat berlangsung secara lebih efektif.

Agregat halus dengan kadar lumpur yang memenuhi persyaratan juga berkontribusi terhadap kualitas campuran beton, terutama dalam menjaga konsistensi *workability* serta mendukung pencapaian kuat tekan yang direncanakan. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, agregat halus pada penelitian ini dinyatakan layak digunakan dalam penyusunan *mix design* dan pembuatan benda uji beton.

4.1.2 Agregat Kasar

4.1.2.a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Parameter yang diperoleh dari pengujian ini meliputi berat jenis curah (*bulk specific gravity*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry/SSD*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta nilai penyerapan air (*water absorption*). Data tersebut diperlukan dalam penyusunan *mix design* karena berpengaruh terhadap penentuan proporsi campuran dan kebutuhan air pencampur beton.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap dua ukuran agregat kasar, yaitu batu split 3/4 inch (1–2) dan batu split 1½ inch (2–3). Hasil pengujian berat jenis agregat kasar disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian	Split 3/4"	Split 1 1/2"
Berat contoh SSD (gram)	1325.6	1285.7
Berat contoh kering oven (gram)	1308.9	1274.7
Berat piknometer + air (gram)	910	910
Berat piknometer + contoh + air (gram)	1737.9	1712.2
Berat jenis bulk	2.63	2.64
Berat jenis kering permukaan	2.72	2.70
Berat jenis SSD	2.66	2.66
Penyerapan	1.28	0.86

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, agregat kasar ukuran 3/4 inch memiliki berat jenis curah sebesar 2,63, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) sebesar 2,66, berat jenis semu sebesar 2,72, serta nilai penyerapan air sebesar 1,28%. Sementara itu, agregat kasar ukuran 1½ inch menunjukkan berat jenis curah sebesar 2,64, berat jenis SSD sebesar 2,66, berat jenis semu sebesar 2,70, dengan nilai penyerapan air sebesar 0,86%.

Perbedaan nilai yang diperoleh pada kedua ukuran agregat relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa karakteristik fisik kedua jenis agregat memiliki kualitas yang hampir seragam. Nilai berat jenis yang berada pada kisaran 2,60–2,70 menunjukkan bahwa agregat yang digunakan termasuk agregat normal dan layak digunakan sebagai bahan penyusun beton. Selain itu, nilai penyerapan air yang rendah mengindikasikan bahwa porositas agregat relatif kecil sehingga kebutuhan air tambahan pada campuran beton dapat diminimalkan.

4.1.2.b. Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat pada permukaan agregat sebelum digunakan dalam proses pencampuran beton. Informasi mengenai kadar air sangat penting karena memengaruhi jumlah air efektif yang digunakan dalam campuran. Apabila kadar air agregat tidak diperhitungkan, nilai faktor air

semen (FAS) yang telah direncanakan dapat berubah sehingga berpotensi memengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Hasil pengujian kadar air agregat kasar untuk masing-masing ukuran agregat ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian		Sample	
		Split 1-2	Split 2-3
Berat benda uji lapangan	gram	1002.5	1004.5
Berat benda uji kering oven	gram	999.6	999.5
Kadar Air	%	0.29	0.50

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel diatas, kadar air agregat kasar ukuran 3/4 inch sebesar 0,29%, sedangkan agregat ukuran 1½ inch memiliki kadar air sebesar 0,50%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan air pada kedua jenis agregat relatif rendah sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kadar air campuran beton.

Perbedaan kadar air antara kedua ukuran agregat dipengaruhi oleh kondisi permukaan dan kemampuan masing-masing agregat dalam menahan air. Data kadar air ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyesuaian kebutuhan air pada saat penyusunan *mix design*, sehingga nilai FAS yang direncanakan tetap dapat dipertahankan selama proses pencampuran beton.

4.1.2.c. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar batu split 1–2 dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran yang digunakan dalam penelitian. Pemeriksaan gradasi bertujuan memastikan bahwa ukuran agregat telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan serta memenuhi persyaratan sebagai material penyusun beton. Hasil pengujian ini menjadi salah satu parameter penting dalam penyusunan *mix design*, karena susunan ukuran butiran agregat akan memengaruhi kepadatan campuran, kebutuhan

pasta semen, serta karakteristik beton segar dan beton keras. Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar batu split 1–2 disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Batu 1-2

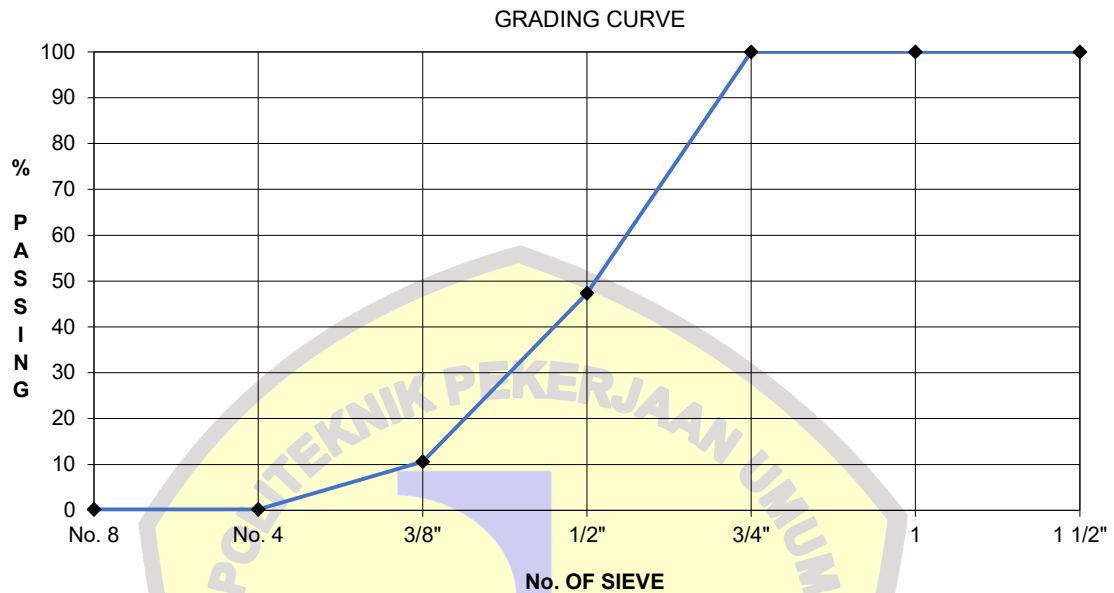
Saringan		Tertahan		Persen Kumulatif		Ket.
No	Diameter	Gram	%	Tertahan	Lolos	
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00%	100.00%	
1	25	0	0.00	0.00%	100.00%	
3/4"	19	0	0.00	0.00%	100.00%	
1/2"	12.5	5038.7	0.53	52.67%	47.33%	
3/8"	9.5	3514.3	0.37	89.40%	10.60%	
No. 4	4.75	995.2	0.10	99.80%	0.20%	
No. 8	2.36	0	0.00	99.80%	0.20%	
No.16	1.18	0	0.00	99.80%	0.20%	
No. 30	0.6	0	0.00	99.80%	0.20%	
No. 50	0.3	0	0.00	99.80%	0.20%	
No. 100	0.15	0	0.00	99.80%	0.20%	
PAN		18.7	0.00	100.00%	0.00%	
Berat Total		9566.9				
Berat Sample				740.90		
Modulus Kehalusan		7.41				

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.7, agregat kasar batu split 1–2 memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 7,41. Distribusi ukuran butiran menunjukkan bahwa sebagian besar agregat tertahan pada saringan 3/4 inch (19 mm) dengan persentase kumulatif tertahan sebesar 89,80%, sedangkan material yang lolos hingga saringan 1/2 inch (12,5 mm) sebesar 10,20%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki ukuran butiran yang sesuai dengan klasifikasi batu split 1–2.

Gradasi agregat yang relatif seragam akan menghasilkan susunan butiran yang stabil sehingga rongga antaragregat dapat diminimalkan. Kondisi ini mendukung terbentuknya campuran beton yang lebih padat serta membantu

meningkatkan ikatan antara agregat dan pasta semen. Dengan demikian, agregat kasar batu split 1–2 yang digunakan pada penelitian ini dinyatakan memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan penyusun beton pada proses *mix design*.



Grafik 4. 1 Analisa Saringan Batu Split 1-2
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)\

Grafik 4.1 menunjukkan distribusi ukuran butiran agregat kasar berdasarkan persentase butiran yang lolos pada setiap ukuran ayakan. Berdasarkan grafik tersebut, seluruh butiran agregat lolos pada ayakan 1½ inci (38,1 mm), 1 inci (25,4 mm), dan ¾ inci (19 mm) dengan persentase lolos sebesar 100%. Pada ayakan ½ inci (12,5 mm), persentase butiran yang lolos sebesar 47%, sedangkan pada ayakan ⅜ inci (9,5 mm) hanya sekitar 10%. Sementara itu, pada ayakan No. 4 (4,75 mm) tidak terdapat butiran yang lolos.

Pola kurva tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar agregat berada pada rentang ukuran ½ inci hingga ¾ inci, sehingga agregat yang digunakan didominasi oleh butiran berukuran sedang hingga besar. Distribusi gradasi yang diperoleh mengindikasikan bahwa agregat kasar memiliki susunan butiran yang cukup baik untuk digunakan sebagai material penyusun beton.

Selanjutnya dilakukan pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar batu split 2-3 dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian ini menjadi salah satu parameter penting dalam penyusunan *mix design*, karena susunan ukuran butiran agregat akan memengaruhi kepadatan campuran, kebutuhan pasta semen, serta karakteristik beton segar dan beton keras.

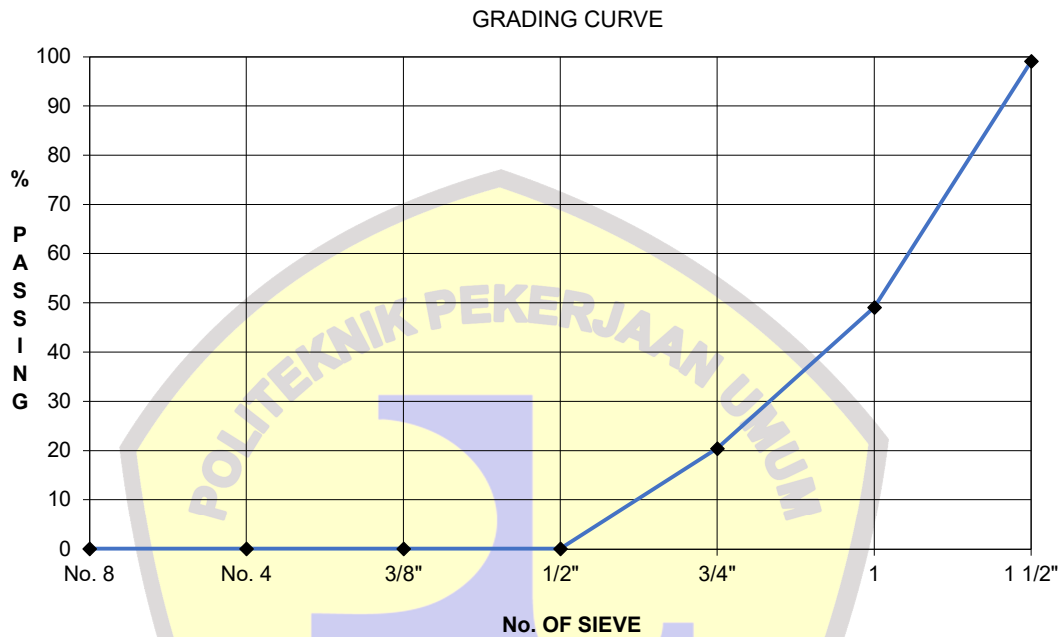
Tabel 4. 8 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Batu 2-3

Saringan		Tertahan		Persen Kumulatif		Ket.
No	Diameter	Gram	%	Tertahan	Lolos	
1 1/2"	37.5	132.2	0.01	0.89%	99.11%	
1	25	7426.9	0.50	50.90%	49.10%	
3/4"	19	4258.4	0.29	79.58%	20.42%	
1/2"	12.5	3021.5	0.20	99.92%	0.08%	
3/8"	9.5	0	0.00	99.92%	0.08%	
No. 4	4.75	0	0.00	99.92%	0.08%	
No. 8	2.36	0	0.00	99.92%	0.08%	
No.16	1.18	0	0.00	99.92%	0.08%	
No. 30	0.6	0	0.00	99.92%	0.08%	
No. 50	0.3	0	0.00	99.92%	0.08%	
No. 100	0.15	0	0.00	99.92%	0.08%	
PAN		11.5	0.00	100.00%	0.00%	
Berat Total		14850.5				
Berat Sample				799.38		
Modulus Kehalusan		7.99				

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, agregat kasar batu split 2–3 memiliki modulus kehalusan sebesar 7,99. Sebagian besar butiran agregat tertahan pada saringan 1 inch (25 mm) dengan persentase kumulatif tertahan sebesar 50,90%, sedangkan pada saringan 3/4 inch (19 mm) persentase kumulatif tertahan mencapai 79,58%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ukuran butiran agregat sesuai dengan karakteristik batu split 2–3 yang digunakan sebagai salah satu variasi agregat kasar dalam penelitian ini.

Nilai modulus kehalusan agregat batu split 2–3 lebih besar dibandingkan batu split 1–2, yang menunjukkan bahwa ukuran butiran agregat cenderung lebih kasar. Perbedaan distribusi ukuran tersebut diperkirakan akan memengaruhi susunan butiran dalam campuran beton, volume rongga antaragregat, serta kebutuhan pasta semen untuk mengisi rongga yang terbentuk.



Grafik 4. 2 Analisa Saringan Batu Split 2-3
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Pada grafik 4.2 menunjukkan hasil analisis gradasi agregat kasar batu split 2–3 berdasarkan persentase butiran yang lolos pada setiap ukuran ayakan. Berdasarkan grafik tersebut, tidak terdapat butiran yang lolos pada ayakan No. 8 (2,36 mm), No. 4 (4,75 mm), $\frac{3}{8}$ inci (9,5 mm), dan $\frac{1}{2}$ inci (12,5 mm). Persentase butiran yang lolos mulai terlihat pada ayakan $\frac{3}{4}$ inci (19 mm) sebesar 20%, kemudian meningkat menjadi 50% pada ayakan 1 inci (25,4 mm), dan mencapai 100% pada ayakan $1\frac{1}{2}$ inci (38,1 mm).

Pola kurva tersebut menunjukkan bahwa agregat yang digunakan didominasi oleh butiran berukuran besar dengan rentang ukuran 19–38 mm, sesuai dengan karakteristik batu split 2–3. Distribusi ukuran butiran yang relatif seragam menunjukkan bahwa agregat memiliki gradasi yang sesuai untuk digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran beton.

Berdasarkan hasil analisis gradasi, batu split 1-2 dan 2-3 memenuhi rentang gradasi agregat kasar menurut SNI 03-2834-2000, sehingga layak digunakan sebagai salah satu material penyusun dalam perancangan campuran beton (*mix design*).

4.1.2.d. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kandungan partikel halus yang melekat pada permukaan agregat. Keberadaan lumpur dalam jumlah yang berlebihan dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga berpotensi menurunkan kualitas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan sebagai salah satu tahapan pengendalian mutu material sebelum agregat digunakan dalam proses penyusunan *mix design*. Pada penelitian ini, pengujian kadar lumpur dilakukan terhadap dua jenis agregat kasar, yaitu batu split 1-2 dan batu split 2-3. Hasil pengujian masing-masing agregat disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Batu Split 1-2

Pengujian	Sample
Berat benda uji kering oven	1000
Berat benda uji kering oven tertahan saringan No. 200	997.9
Kadar lumpur	0.21

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Batu Split 2-3

Pengujian	Sample
Berat benda uji kering oven	1000
Berat benda uji kering oven tertahan saringan No. 200	996.2
Kadar lumpur	0.38

(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.9 dan 4.10, kadar lumpur agregat kasar batu split 1-2 (3/4 inch) diperoleh sebesar 0,21%, sedangkan batu split 2-3 (1½ inch) memiliki kadar lumpur sebesar 0,38%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan partikel halus pada kedua jenis

agregat relatif rendah, sehingga tidak diperkirakan memberikan pengaruh yang berarti terhadap kualitas ikatan antara agregat dan pasta semen pada campuran beton.

Apabila dibandingkan, agregat batu split 2–3 memiliki kadar lumpur sedikit lebih tinggi daripada batu split 1–2, namun selisih tersebut masih berada pada kisaran yang sangat kecil. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, kadar lumpur agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun beton umumnya tidak boleh melebihi 1%, sehingga kedua jenis agregat pada penelitian ini masih memenuhi persyaratan. Dengan demikian, agregat kasar batu split 1–2 maupun 2–3 dinyatakan layak digunakan dalam penyusunan *mix design* dan pembuatan benda uji beton.

4.2 Hasil Perancangan Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2000 (*Mix design*)

4.2.1 Nilai Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton (f'_c) pada umur ke 28 hari sebesar 20 MPa dengan cacat maksimum 5%

4.2.2 Deviasi Standar

Ada beberapa tipikal untuk nilai standar deviasi dengan kondisi yang berbeda, yang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Nilai Standar Deviasi

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

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Nilai deviasi standar yang digunakan dalam perencanaan campuran beton sebesar 5,6 MPa yang berada di tingkat pengendalian mutu pekerjaan cukup.

4.2.3 Nilai atau Margin

$M = k.s$, dimana $k = 1,64$, untuk kegagalan maksimum 5%

$$M = 1,64 \times 4,2$$

$$M = 6,88 \text{ MPa}$$

4.2.4 Kuat Tekan Beton Rencana

Menghitung kuat tekan beton rencana (f'_{cr}) dapat menggunakan persamaan :

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

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

$$F'_{cr} = 20 + 6,88$$

$$F'_{cr} = 26,88 \text{ MPa}$$

4.2.5 Jenis Semen

Jenis semen yang digunakan pada pembuatan beton normal SNI 03-2834-2000 menggunakan Semen *Portland* tipe I.

4.2.6 Jenis Agregat

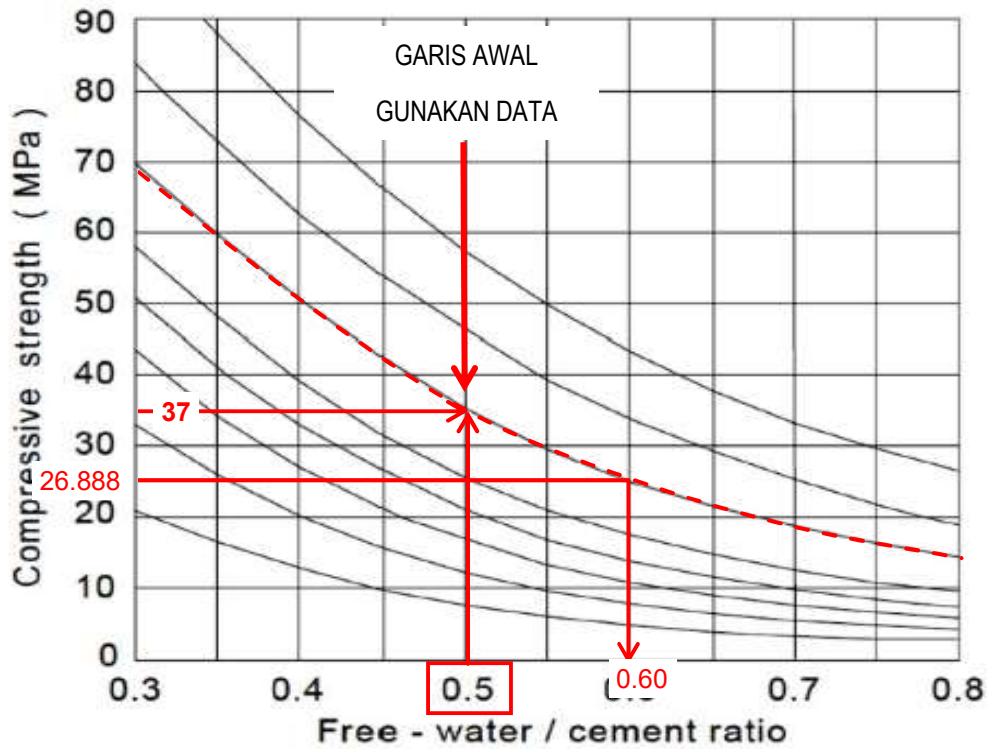
Agregat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir alami yang diperoleh dari sumber material setempat. Pasir alami dipilih karena memiliki ukuran butiran yang sesuai untuk mengisi rongga diantara agregat kasar, sehingga dapat meningkatkan kepadatan campuran beton.

Sementara itu, agregat kasar menggunakan batu pecah (*crushed stone*) yang terdiri atas dua ukuran, yaitu batu split 1–2 dan batu split 2–3. Batu pecah dipilih karena memiliki permukaan yang kasar dan bersudut, sehingga mampu menghasilkan ikatan yang lebih baik dengan pasta semen dibandingkan agregat alami. Kombinasi kedua jenis agregat tersebut diharapkan dapat membentuk gradasi yang lebih baik sehingga mendukung pencapaian mutu beton sesuai dengan rancangan campuran (*mix design*).

4.2.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen dapat ditentukan melalui grafik dengan mengetahui kuat tekan rencana serta nilai margin sesuai ketentuan SNI. Nilai kuat tekan rencana

diplot pada sumbu vertikal (*compressive strenght*). Dari titik tersebut ditarik garis mendatar sehingga memotong kurva hubungan kuat tekan dan faktor air semen. Dari titik perpotongan tersebut, ditarik garis tegak lurus ke sumbu horizontal (*free-water/cement rasio*) untuk memperoleh nilai FAS awal.



Grafik 4. 3 Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan grafik 4. 3 hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen, diperoleh nilai Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,60 yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam perancangan campuran beton sesuai dengan metode SNI 03-2834-2000.

4.2.8 Faktor Air Semen Maksimum

Penentuan nilai faktor air semen (FAS) maksimum pada penelitian ini mengacu pada kondisi lingkungan yang direncanakan sebagai lokasi penggunaan beton. Berdasarkan ketentuan untuk beton yang ditempatkan di luar bangunan dan tidak memperoleh perlindungan terhadap hujan maupun paparan sinar matahari secara langsung, dengan kebutuhan dasar semen minimum sebesar 325 kg/m^3 , nilai factor air semen maksimum yang diperkenankan adalah

0,60. Oleh karena itu, nilai FAS sebesar 0,60 dipilih sebagai dasar dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*). Pemilihan nilai tersebut bertujuan agar campuran beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan ketahanan serta mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan kondisi lingkungan rencana. Menentukan nilai faktor air semen maksimum dapat ditentukan dengan Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan

Kondisi Lingkungan	Jumlah Semen Minimum Per m ³ Beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling kororsif disebabkan oleh kondensasi atau uap-uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan Terik matahari	275	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	352	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah		
Beton yang kontinu berhubungan dengan air		
a. Air tawar		Lihat table
b. Air laut		Lihat table

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Faktor air semen (FAS) maksimum yaitu 0,60 (beton di luar ruang tidak terlindung dari hujan dan terik matahari). Menggunakan nilai fas paling kecil karena semakin kecil nilai fas maka mutu beton akan semakin tinggi. Tetapi dari hasil, memiliki nilai fas yang sama, sehingga nilai FAS nya yaitu 0,6.

4.2.9 Nilai *Slump*

Nilai *slump* dalam penelitian ini ditetapkan sebagai variabel pengujian untuk mengevaluasi pengaruh tingkat kelecakan (*workability*) beton segar terhadap kuat tekan beton. Dua variasi nilai *slump* yang digunakan, yaitu 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm, dipilih untuk menghasilkan tingkat kemudahan pengerjaan yang berbeda pada campuran beton. Batas toleransi sebesar ± 2 cm mengacu pada rentang penyimpangan yang masih diperbolehkan dalam pelaksanaan uji *slump*, sehingga nilai hasil pengujian harus berada pada kisaran 8–12 cm untuk *slump* rencana 10 cm dan 10–14 cm untuk *slump* rencana 12 cm. Perbedaan tingkat kelecakan yang dihasilkan dari kedua variasi tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh *workability* terhadap perkembangan kuat tekan beton, terutama pada setiap variasi komposisi ukuran agregat kasar yang diterapkan dalam penelitian ini.

4.2.10 Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum agregat ditetapkan dari hasil pengujian analisa ayak dan didapat hasil yaitu 40 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh butiran agregat masih berada dalam batas ukuran maksimum yang direncanakan untuk campuran beton. Penentuan ukuran maksimum agregat merupakan salah satu parameter penting dalam penyusunan *mix design*, karena berpengaruh terhadap kebutuhan pasta semen, tingkat *workability*, serta kepadatan campuran beton.

4.2.11 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas dapat ditentukan dengan menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan nilai *slump* rencana dengan tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Perkiraan Kadar Air Bebas

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

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dari tabel diatas, didapat kebutuhan air bebas sebesar 175 kg/m³ untuk penggunaan agregat halus dan 205 kg/m³ untuk penggunaan agregat kasar. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kadar air bebas sebagai berikut.

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

$$W_{air} = \frac{2}{3} (175) + \frac{1}{3} (205)$$

$$W_{air} = 185 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

W_{air} = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m³)

W_h = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya

W_k = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

4.2.12 Kadar Semen

Setelah jumlah air yang dibutuhkan telah diperoleh nilainya, langkah berikutnya adalah menentukan kadar semen yang diperlukan dalam campuran beton. Perhitungan kadar semen dilakukan berdasarkan perbandingan kebutuhan air bebas dan nilai FAS yang telah diperoleh. Hasil perhitungan digunakan untuk mengetahui jumlah semen minimum yang dibutuhkan dalam setiap 1 m³ campuran beton. Kadar semen dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} W_{\text{semen}} &= \frac{W_{\text{air}}}{FAS} \\ &= \frac{185}{0,60} \\ &= 308,33 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Keterangan:

W_{semen} = Berat semen

W_{air} = Berat air

FAS = Faktor air semen

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kebutuhan semen sebesar 308,33 kg/m³. Namun, nilai tersebut belum memenuhi ketentuan kadar semen minimum yang dipersyaratkan, yaitu 325 kg/m³, sehingga kadar semen yang digunakan dalam perencanaan campuran beton ditetapkan 325 kg/m³ agar memenuhi ketentuan yang berlaku dan mampu menghasilkan kuat tekan sesuai dengan rencana.

4.2.13 Kadar Semen Maksimum

Berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000, kadar semen maksimum pada perencanaan campuran beton tidak ditetapkan sehingga pemeriksaan terhadap kadar semen maksimum dapat diabaikan.

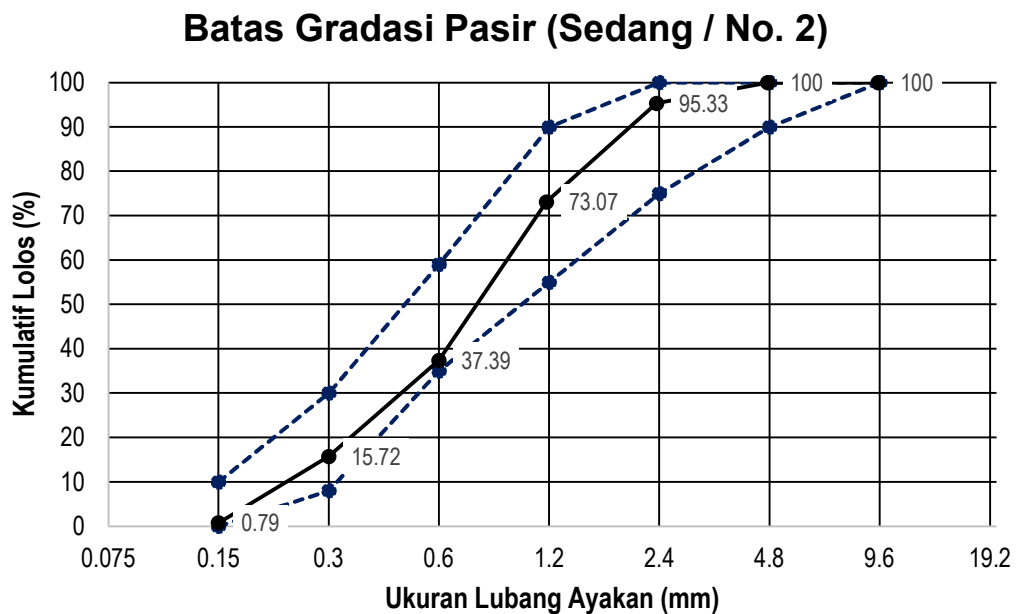
4.2.14 Kadar Semen Minimum

Nilai kebutuhan semen hasil perhitungan diperoleh sebesar 308,33 kg/m³. Namun, berdasarkan ketentuan penetapan faktor air semen (FAS) sebesar 0,60,

kadar semen minimum yang dipersyaratkan adalah 325 kg/m^3 . Oleh karena itu, nilai yang digunakan dalam penyusunan campuran beton bukan hasil perhitungan sebesar $308,33 \text{ kg/m}^3$, melainkan 325 kg/m^3 karena telah memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan. Penetapan tersebut bertujuan untuk memastikan campuran beton memiliki jumlah semen yang memadai sehingga mutu, keawetan, dan kinerja beton sesuai dengan ketentuan perencanaan.

4.2.15 Tipe Gradasi Agregat Halus

Setelah dilakukan analisis saringan terhadap agregat halus, langkah selanjutnya adalah menentukan tipe gradasi pasir berdasarkan hasil persentase kumulatif butiran yang lolos pada setiap ukuran ayakan. Penentuan tipe gradasi bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi ukuran butiran pasir telah memenuhi batas gradasi yang dipersyaratkan dalam SNI 03-2834-2000. Hasil pengelompokan gradasi agregat halus berdasarkan kurva gradasi ditunjukkan pada Grafik 4.4.



Grafik 4. 4 Gradasi Pasir
(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Kurva gradasi pada gambar diatas menunjukkan bahwa distribusi ukuran butiran agregat halus berada di dalam batas gradasi pasir sedang (Gradasi No.

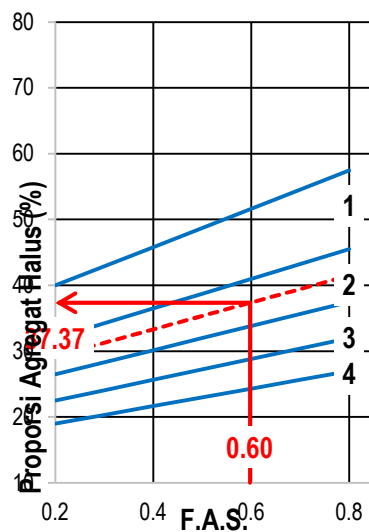
2). Hal tersebut ditunjukkan oleh seluruh nilai persentase lolos pada setiap ukuran ayakan yang masih berada di antara batas atas dan batas bawah daerah gradasi yang dipersyaratkan. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memenuhi klasifikasi gradasi No. 2 dan layak digunakan sebagai material penyusun campuran beton.

Hasil analisis ini juga sejalan dengan nilai modulus kehalusan sebesar 2,78 yang diperoleh pada pengujian sebelumnya. Nilai tersebut berada pada rentang agregat halus yang umum digunakan untuk pembuatan beton normal, sehingga mampu mendukung tercapainya tingkat kelecakan dan kepadatan campuran sesuai dengan rancangan *mix design*. Agregat dengan gradasi yang baik akan mempermudah proses pencampuran, meningkatkan homogenitas beton segar, serta memberikan kontribusi terhadap perkembangan kuat tekan setelah beton mengeras.

Berdasarkan hasil analisis kurva gradasi, dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam gradasi pasir sedang (Gradasi No. 2). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa material telah memenuhi persyaratan gradasi sebagai bahan penyusun beton dan dapat digunakan dalam penyusunan campuran beton mutu f_c 20 MPa.

4.2.16 Presentase Agregat Halus

Setelah nilai faktor air semen (FAS) ditetapkan sebesar 0,60, langkah berikutnya adalah menentukan persentase agregat halus terhadap total agregat menggunakan grafik hubungan antara FAS dan proporsi agregat halus sesuai metode SNI 03-2834-2000. Penentuan nilai ini diperlukan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton. Persentase agregat halus diperoleh dengan memplot nilai FAS pada sumbu horizontal, kemudian menarik garis vertikal hingga memotong kurva sesuai dengan tipe gradasi pasir yang digunakan. Titik potong tersebut selanjutnya diproyeksikan secara horizontal ke sumbu vertikal untuk memperoleh persentase agregat halus. Hasil penentuan persentase agregat halus ditunjukkan pada Grafik 4.5.



Grafik 4. 5 Presentase Agregat Halus terhadap Campuran
(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.5, nilai FAS sebesar 0,60 diplot pada sumbu horizontal, kemudian ditarik garis vertikal hingga memotong kurva nomor 2, yang menunjukkan bahwa pasir yang digunakan termasuk Zona II (pasir agak kasar). Dari titik perpotongan tersebut, garis ditarik secara horizontal menuju sumbu vertikal sehingga diperoleh persentase agregat halus sebesar 37%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dalam perancangan campuran beton, agregat halus digunakan sebesar 37% dari total agregat, sedangkan sisanya 63% merupakan agregat kasar. Persentase ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan masing-masing jenis agregat pada tahap penyusunan *mix design*.

4.2.17 Berat Jenis *Relative* Gabungan

Dari langkah sebelumnya, didapatkan data presentase agregat halus sebesar 37%. Diketahui juga berat jenis agregat kasar dan halus maka dapat dihitung presentase agregat kasar dan berat jenis *relative* gabungan pada tabel 4.14..

Tabel 4. 14 Data Perhitungan Berat Jenis *Relative* Gabungan

Parameter	Nilai
Persentase agregat halus	37%
Persentase agregat kasar	63%
Berat jenis SSD agregat halus	2,51
Berat jenis SSD agregat kasar	2,66

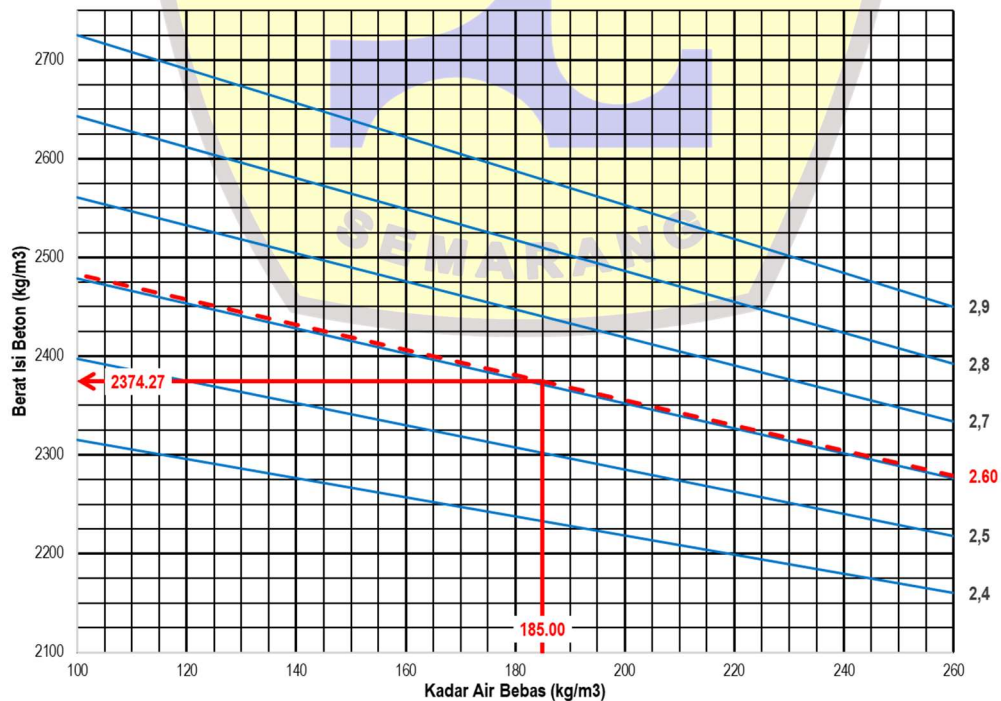
(Sumber : PT. Wika, 2026)

Berat jenis *relative* agregat gabungan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 BJ_{gabungan} &= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \\
 &= (37\% \times 2,51) + (63\% \times 2,66) \\
 &= 2,60
 \end{aligned}$$

4.2.18 Berat Isi Beton

Berdasarkan nilai agregat campuran 2,60 dan kadar air bebas 185 kg/m³, didapat berat jenis beton 2374 kg/m³.



Grafik 4. 6 Hubungan kandungan air, berat jenis, dan berat isi beton
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

4.1.19 Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan di hitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2374 - 325 - 185 \\ &= 1864 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

4.2.20 Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus di hitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat halus} &= \% \text{ agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= 37\% \times 1864 \text{ kg} \\ &= 689,68 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi, diperoleh kadar agregat halus sebesar : 689,68 kg/m³

4.2.21 Kadar Agregat Kasar

Perhitungan selanjutnya yaitu kadar agregat kasar dengan cara pengurangan antara kadar agregat gabungan dengan kadar agregat halus. Perhitungan kadar agregat kasar dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1864 - 689,68 \\ &= 1.174,32 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan kadar agregat kasar, diperoleh nilai sebesar 1.174,32 kg/m³ yang selanjutnya dapat digunakan dalam perencanaan campuran beton.

4.2.22 Proporsi Campuran

Dari perhitungan sebelumnya, dapat dihitung proporsi campuran beton untuk 1 m³ yang dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Kebutuhan Material Proporsi Campuran Komposisi 50:50

Material	Kebutuhan (kg/m ³)
Semen	325,00
Air	185,00
Agregat halus	689,68
Batu split 1-2	587,16
Batu split 2-3	587,16

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan hasil *mix design*, kebutuhan material untuk campuran beton dengan komposisi agregat kasar 50:50 terdiri atas semen sebanyak 325,00 kg/m³, air 185,00 kg/m³, dan agregat halus 689,68 kg/m³. Sementara itu, kebutuhan agregat kasar dibagi secara seimbang antara batu split 1–2 dan batu split 2–3, masing-masing sebesar 587,16 kg/m³. Proporsi tersebut menunjukkan bahwa kedua ukuran agregat kasar digunakan dalam jumlah yang sama sehingga diharapkan mampu menghasilkan distribusi butiran yang merata pada campuran beton. Komposisi ini selanjutnya digunakan sebagai salah satu variasi dalam pembuatan benda uji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap biaya, mutu, dan waktu (Tabel 4.16)

Tabel 4. 16 Kebutuhan Material Proporsi Campuran Komposisi 70:30

Material	Kebutuhan (kg/m ³)
Semen	325,00
Air	185,00
Agregat halus	689,68
Batu split 1-2	822,02
Batu split 2-3	352,03

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Hasil perancangan *mix design* untuk komposisi agregat kasar 70:30 menunjukkan bahwa kebutuhan semen dan air tetap sebesar 325,00 kg/m³ dan 185,00 kg/m³, sedangkan kebutuhan agregat halus sebesar 689,68 kg/m³. Perbedaan dibandingkan variasi sebelumnya terdapat pada proporsi agregat

kasar, yaitu batu split 1–2 sebesar 822,02 kg/m³ dan batu split 2–3 sebesar 352,03 kg/m³. Peningkatan penggunaan batu split 1–2 dilakukan untuk memenuhi komposisi campuran 70:30 sesuai dengan variasi penelitian. Proporsi tersebut kemudian digunakan dalam proses pembuatan benda uji guna mengevaluasi pengaruh perubahan komposisi agregat kasar terhadap karakteristik beton yang dihasilkan.

4.2.23 Koreksi Proporsi Campuran

Setelah diperoleh komposisi campuran beton dalam kondisi SSD, langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi pada proporsi campuran. Koreksi ini bertujuan menyesuaikan jumlah air pencampur serta berat agregat halus dan agregat kasar berdasarkan kondisi air dan penyerapan agregat di lapangan (Tabel 4.17).

Tabel 4. 17 Penyerapan dan Kadar Air Properties

Pengujian	Pasir	Batu Split 1-2	Batu Split 2-3
Penyerapan Air (%)	2,27	1,28	0,86
Kadar Air (%)	2,02	0,29	0,50

(Sumber: Hasil Pengujian Penelitian, 2026)

Dilakukan perhitungan koreksi material untuk komposisi 50:50 dan komposisi 70:30. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komposisi campuran beton telah disesuaikan kondisi aktual agregat di lapangan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Campuran proporsi komposisi 50:50 setelah dikoreksi

Material	Kebutuhan (kg/m ³)
Semen	325,00
Air	190,39
Agregat halus	687,95
Batu split 1-2	581,37
Batu split 2-3	585,03

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Tabel 4. 19 Campuran proporsi komposisi 70:30 setelah dikoreksi

Material	Kebutuhan (kg/m ³)
Semen	325,00
Air	193,55
Agregat halus	687,95
Batu split 1-2	813,92
Batu split 2-3	351,02

(Sumber : Data Penulis, 2026)

Hasil koreksi proporsi campuran pada tabel 4.19 menunjukkan bahwa kebutuhan semen tetap sebesar 325,00 kg/m³, sedangkan kebutuhan air meningkat menjadi 193,55 kg/m³ untuk menyesuaikan kondisi kadar air agregat di lapangan. Kebutuhan agregat halus setelah dikoreksi menjadi 687,95 kg/m³, sedangkan batu split 1–2 dan batu split 2–3 masing-masing sebesar 813,92 kg/m³ dan 351,02 kg/m³. Penyesuaian tersebut dilakukan agar jumlah air efektif dan proporsi material tetap sesuai dengan hasil *mix design*, sehingga mutu beton yang dihasilkan dapat memenuhi mutu rencana.

4.3 Hasil Pengujian *Workability* Beton

4.3.1 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan terhadap variasi ukuran agregat kasar batu split 1-2 dan 2-3. Setiap campuran diuji segera setelah proses pencampuran (*mixing*) selesai untuk memastikan kondisi beton masih dalam keadaan segar dan belum mengalami penurunan kelecakan (*workability*) akibat kehilangan kadar air maupun proses hidrasi awal pada beton.



Gambar 4. 1 Pengujian *Slump* Komposisi 50:50 *slump* 10 ± 2 cm
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026)



Gambar 4. 2 Pengujian *Slump* Komposisi 50:50 *slump* 12 ± 2 cm
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026)



Gambar 4. 3 Pengujian *Slump* Komposisi 70:30 *slump* 10 ± 2 cm
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026)



Gambar 4. 4 Pengujian *Slump* Komposisi 70:30 *slump* 12 ± 2 cm
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2026)

Pengujian *slump* dilakukan pada setiap variasi campuran beton untuk mengetahui tingkat *workability* yang dihasilkan. Nilai *slump* yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan nilai *slump* rencana guna memastikan bahwa campuran memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Variasi Campuran

Variasi Campuran	Kode Sample	Nilai <i>Slump</i> Rencana (mm)	Nilai <i>Slump</i> Hasil Pengujian (mm)	Keterangan
Komposisi 50:50	A.1	100 ± 20	110	Memenuhi
Komposisi 50:50	A.2	120 ± 20	130	Memenuhi
Komposisi 70:30	B.1	100 ± 20	100	Memenuhi
Komposisi 70:30	B.2	120 ± 20	140	Memenuhi

(Sumber: Hasil Pengujian Penelitian, 2026)

Berdasarkan pengujian *slump* yang telah dilakukan untuk seluruh variasi campuran, didapat hasil nilai *slump* masih berada pada rentang nilai *slump* yang telah direncanakan. Pada variasi campuran komposisi 50:50 dengan nilai *slump* rencana 100 ± 20 mm didapat hasil pengujian 110 mm dan untuk komposisi 50:50 dengan nilai *slump* 120 ± 20 mm diperoleh hasil pengujian sebesar 130 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua komposisi tersebut telah memenuhi toleransi nilai *slump* yang telah direncanakan, sehingga *workability*

dari kedua komposisi tersebut dapat dinyatakan sesuai dengan kriteria yang direncanakan.

Kondisi tersebut sama dengan variasi campuran komposisi 70:30 baik dengan nilai *slump* rencana 100 ± 20 mm dan 120 ± 20 mm. Pada variasi campuran 70:30 dengan nilai *slump* rencana 100 ± 20 mm diperoleh hasil pengujian sebesar 100 mm dan untuk nilai *slump* rencana 120 ± 20 diperoleh hasil *slump test* yang lebih tinggi yaitu sebesar 140 mm. Adapun perbedaan nilai *slump* antar variasi campuran, tetapi untuk seluruh hasil pengujian masih memenuhi atau masih dalam kisaran toleransi yang diperkenankan.

Perbandingan untuk variasi campurn komposisi 50:50 dan 70:30 menunjukkan bahwa campuran dengan komposisi 50:50 memperlihatkan variasi nilai yang lebih mendekati dengan nilai yang direncanakan dibandingkan dengan variasi campuran komposisi 70:30 yang memiliki nilai yang lebih besar. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perbedaan komposisi ukuran agregat kasar memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton segar. Variasi tersebut memengaruhi susunan butiran serta besarnya rongga, yang selanjutnya juga memengaruhi kebutuhan pasta semen dalam mengisi rongga dan melapisi permukaan agregat. Kondisi ini berkontribusi terhadap perubahan *workability* campuran yang tercermin dari hasil pengujian *slump*.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi komposisi agregat kasar, baik 50:50 maupun 70:30, mampu menghasilkan nilai *slump* yang sesuai dengan rentang *workability* yang direncanakan. Dengan demikian, seluruh campuran memenuhi persyaratan untuk digunakan pada tahap pengujian kuat tekan beton, sehingga pengaruh variasi ukuran agregat kasar terhadap sifat mekanis beton normal dapat dianalisis secara lebih lanjut.

4.3.2 Pembahasan *Workability* Beton

Workability merupakan salah satu sifat utama beton segar yang menunjukkan kemudahan campuran beton selama proses pencampuran, pengangkutan, penempatan di dalam bekisting, pemadatan, hingga penyelesaian permukaan. Tingkat *workability* yang sesuai akan mempermudah pelaksanaan pengecoran sekaligus membantu menghasilkan beton yang lebih homogen. Sebaliknya,

campuran yang terlalu kaku akan menyulitkan proses pemadatan, sedangkan campuran yang terlalu encer berpotensi mengalami segregasi maupun *bleeding*.

Hasil pengujian *slump* yang telah diperoleh menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki tingkat kelecakan yang masih berada dalam rentang nilai rencana. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proporsi material penyusun beton telah mampu menghasilkan konsistensi campuran yang sesuai untuk pelaksanaan pekerjaan. Dengan tingkat *workability* yang memenuhi spesifikasi, beton diharapkan dapat mengalir secara merata ke seluruh bagian bekisting serta mengisi ruang di antara tulangan tanpa memerlukan penambahan air pada saat pengecoran.

Pada penelitian ini digunakan dua variasi nilai *slump*, yaitu 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm. Variasi tersebut dipilih untuk menghasilkan tingkat *workability* yang berbeda sehingga pengaruhnya terhadap pekerjaan struktur *retaining wall* dapat diamati. Campuran dengan *slump* 12 ± 2 cm memiliki tingkat kelecakan yang lebih tinggi sehingga proses penempatan beton cenderung lebih mudah, terutama pada bagian struktur yang memiliki kepadatan tulangan lebih besar. Sementara itu, campuran dengan *slump* 10 ± 2 cm tetap memberikan kemudahan dalam proses pengecoran, namun memiliki konsistensi yang lebih stabil sehingga bentuk campuran lebih mudah dipertahankan selama proses pemadatan.

Selain dipengaruhi oleh jumlah air pencampur, karakteristik *workability* juga dipengaruhi oleh komposisi agregat kasar yang digunakan. Perubahan proporsi agregat split 1–2 dan split 2–3 menyebabkan perubahan susunan butiran di dalam campuran beton. Susunan agregat yang lebih rapat akan mengurangi volume rongga sehingga kebutuhan pasta semen untuk melapisi permukaan agregat menjadi lebih efisien. Sebaliknya, distribusi butiran yang kurang seragam dapat meningkatkan gesekan antaragregat sehingga memengaruhi kemudahan aliran beton segar. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua variasi komposisi agregat pada penelitian ini masih mampu menghasilkan *workability* yang memenuhi kriteria perencanaan.

Apabila dikaitkan dengan pelaksanaan pekerjaan *retaining wall*, tingkat *workability* yang baik menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung kualitas hasil pengecoran. Beton dengan kelecakan yang sesuai lebih mudah ditempatkan pada bekisting yang memiliki dimensi memanjang dan konfigurasi tulangan yang relatif rapat. Kondisi tersebut membantu proses pemadatan menggunakan vibrator sehingga beton dapat mengisi seluruh bagian cetakan secara lebih merata dan mengurangi kemungkinan terbentuknya rongga (*honeycomb*) maupun cacat permukaan setelah pembongkaran bekisting.

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

Tabel 4. 21 Hasil Kuat Tekan 7 Hari

Variasi Campuran	Kode Sample	Umur (Hari)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 10±2 cm	A.1-1	7	290	16.41	16.58
	A.1-2	7	296	16.75	
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 12±2 cm	A.2-1	7	272	15.39	16.89
	A.2-2	7	325	18.39	
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 10±2 cm	B.1-1	7	289	16.35	16.89
	B.1-2	7	308	17.43	
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 12±2 cm	B.2-1	7	301	17.03	17.43
	B.2-2	7	315	17.83	

(Sumber: Hasil Pengujian Penelitian, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang disajikan pada Tabel 4.21, beton pada umur 7 hari menunjukkan nilai kuat tekan yang berkisar antara 15,39 MPa hingga 18,39 MPa. Pada variasi campuran dengan komposisi agregat kasar 50:50, kuat tekan yang diperoleh berturut-turut sebesar 16,41 MPa, 16,75 MPa, 15,39 MPa, dan 18,39 MPa. Sementara itu, campuran dengan komposisi agregat

kasar 70:30 menghasilkan kuat tekan sebesar 16,35 MPa, 17,43 MPa, 17,03 MPa, dan 17,83 MPa. Perbedaan nilai yang diperoleh pada masing-masing benda uji menunjukkan bahwa variasi komposisi agregat kasar maupun nilai *slump* memberikan respons yang berbeda terhadap perkembangan kekuatan beton pada umur awal.

Secara umum, seluruh benda uji telah mencapai lebih dari 75% kuat tekan rencana pada umur 7 hari. Capaian tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi semen telah berlangsung secara efektif sehingga terbentuk ikatan yang semakin kuat antara pasta semen dan agregat. Terbentuknya produk hidrasi selama periode awal perawatan menyebabkan struktur beton menjadi lebih padat, sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tekan mulai berkembang sesuai dengan umur pengujiannya. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki perkembangan kekuatan awal yang baik dan memenuhi tahapan pertumbuhan kuat tekan sebelum mencapai umur rencana 28 hari.

4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

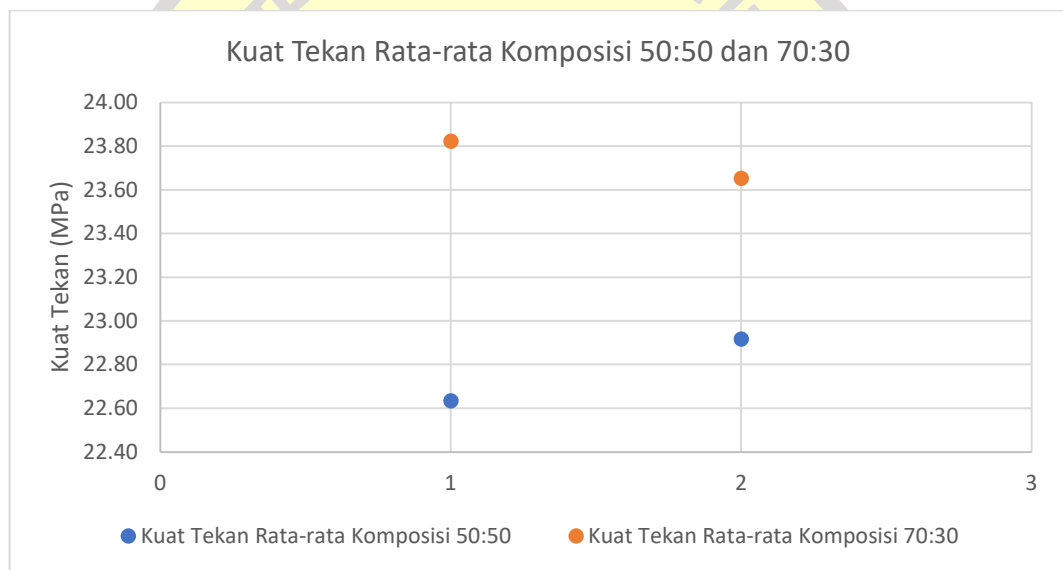
Setelah benda uji menjalani proses perawatan (*curing*) selama 28 hari, pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan pada umur rencana. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi agregat kasar dan nilai *slump* terhadap kuat tekan beton, sekaligus membandingkan hasil yang diperoleh dengan mutu beton rencana sebesar 20 MPa. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji saat pengujian menggunakan mesin uji tekan. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari pada setiap variasi campuran disajikan pada 4.22.

Tabel 4. 22 Hasil Kuat Tekan 28 Hari

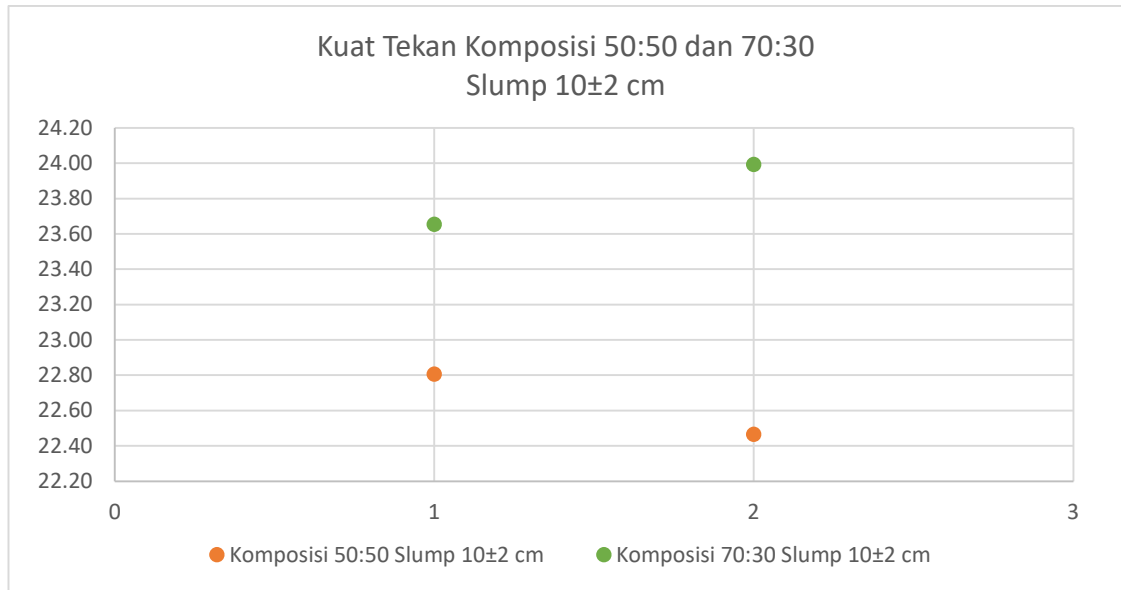
Variasi Campuran	Kode Sample	Umur (Hari)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 10±2 cm	A.1-1	28	403	22.81	22.64

Variasi Campuran	Kode Sample	Umur (Hari)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
	A.1-2	28	397	22.47	
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 12±2 cm	A.2-1	28	410	23.20	22.92
	A.2-2	28	400	22.64	
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 10±2 cm	B.1-1	28	418	23.65	23.82
	B.1-2	28	424	23.99	
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 12±2 cm	B.2-1	28	416	23.54	23.65
	B.2-2	28	420	23.77	

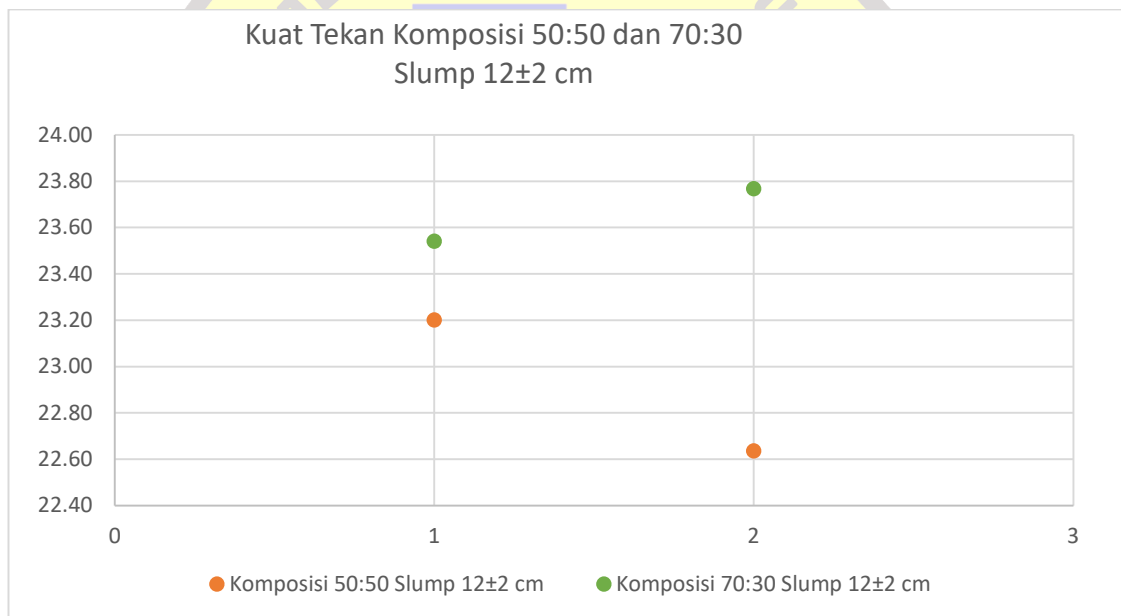
(Sumber: Hasil Pengujian Penelitian, 2026)



Grafik 4. 7 Kuat Tekan Rata-rata Komposisi 50:50 dan 70:30
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)



Grafik 4. 8 Kuat Tekan Komposisi 50:50 dan 70:30 *Slump* 10±2 cm
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)



Grafik 4. 9 Kuat Tekan Komposisi 50:50 dan 70:30 *Slump* 12±2 cm
(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran telah mencapai bahkan melampaui mutu beton yang direncanakan, yaitu 20 MPa. Nilai kuat tekan yang diperoleh berkisar antara 22,47 MPa hingga 23,99 MPa, sehingga seluruh benda uji memenuhi persyaratan kuat tekan rencana. Hasil ini mengindikasikan bahwa rancangan campuran beton yang

digunakan mampu menghasilkan beton dengan karakteristik mekanis yang sesuai dengan target penelitian.

Pada variasi campuran dengan komposisi agregat kasar 50:50, kuat tekan yang diperoleh masing-masing sebesar 22,81 MPa, 22,47 MPa, 23,20 MPa, dan 22,64 MPa. Sementara itu, variasi campuran dengan komposisi agregat kasar 70:30 menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 23,65 MPa, 23,99 MPa, 23,54 MPa, dan 23,77 MPa. Berdasarkan hasil tersebut, campuran dengan komposisi 70:30 memperlihatkan kecenderungan menghasilkan kuat tekan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50, walaupun perbedaannya tidak terlalu besar.

Jika ditinjau terhadap kuat tekan rencana yaitu 20 MPa, persentase pencapaian seluruh benda uji berada pada kisaran 112,33%–119,97%. Pencapaian tersebut menunjukkan bahwa perkembangan kekuatan beton berlangsung secara optimal hingga umur 28 hari. Pada umur ini, reaksi hidrasi semen telah berkembang lebih sempurna sehingga terbentuk matriks pasta semen yang lebih kompak dan ikatan dengan agregat menjadi semakin kuat. Struktur beton yang semakin rapat mengurangi jumlah rongga di dalam campuran, sehingga kemampuan beton dalam menerima beban tekan meningkat dibandingkan pada umur sebelumnya.

Secara keseluruhan, hasil pengujian umur 28 hari memperlihatkan bahwa seluruh campuran telah memenuhi mutu beton yang direncanakan. Meskipun setiap variasi memberikan nilai kuat tekan yang berbeda, selisih yang diperoleh masih berada dalam rentang yang relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi agregat kasar dan variasi nilai *slump* pada penelitian ini tidak menyebabkan perbedaan kuat tekan yang ekstrem, namun tetap memberikan kecenderungan terhadap peningkatan atau penurunan kekuatan beton sesuai karakteristik masing-masing campuran.

4.4.3 Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 dan 28 Hari

Tabel 4. 23 Perbandingan Kuat Tekan 7 dan 28 hari

Variasi Campuran	Kode Sample	Kuat tekan 7 hari (MPa)	Kuat tekan 28 hari (MPa)
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 10±2 cm	A.1	16.58	22.64
Komposisi 50:50 <i>Slump</i> 12±2 cm	A.2	16.89	22.92
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 10±2 cm	B.1	16.89	23.82
Komposisi 70:30 <i>Slump</i> 12±2 cm	B.2	17.43	23.65

(Sumber: Hasil Pengujian Penelitian, 2026)

Perbandingan hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari (Tabel 4.23) dilakukan untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton pada setiap variasi campuran. Pada variasi A.1 dengan komposisi agregat kasar 50:50 dan nilai *slump* 10 ± 2 cm, kuat tekan bertambah dari 16,58 MPa pada umur 7 hari menjadi 22,64 MPa pada umur 28 hari. Dengan demikian, terjadi peningkatan sebesar 36,52% terhadap kuat tekan awal. Sementara itu, variasi A.2 yang menggunakan komposisi agregat sama dengan nilai *slump* 12 ± 2 cm menunjukkan kenaikan dari 16,89 MPa menjadi 22,92 MPa, atau meningkat sebesar 35,68%.

Peningkatan kuat tekan juga terjadi pada campuran dengan komposisi agregat kasar 70:30. Variasi B.1 menghasilkan kuat tekan sebesar 16,89 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 23,82 MPa pada umur 28 hari. Persentase peningkatan pada variasi ini mencapai 41,04%, sehingga menjadi nilai tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Adapun variasi B.2 mengalami kenaikan dari 17,43 MPa menjadi 23,65 MPa, dengan persentase peningkatan sebesar 35,71%.

Apabila seluruh variasi dibandingkan, persentase peningkatan kuat tekan berada pada rentang 35,68% hingga 41,04%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa laju perkembangan kekuatan beton tidak sepenuhnya sama pada setiap

campuran. Variasi komposisi agregat kasar maupun tingkat kelecakan campuran diduga memengaruhi proses pembentukan struktur internal beton selama masa perawatan. Campuran yang memiliki susunan agregat lebih rapat cenderung membentuk matriks beton yang lebih padat, sehingga peningkatan kuat tekan yang terjadi hingga umur 28 hari menjadi lebih besar.

Secara umum, hasil perbandingan antara umur 7 hari dan 28 hari menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kuat tekan pada seluruh variasi campuran. Meskipun besar peningkatannya berbeda pada setiap variasi, seluruh campuran memperlihatkan perkembangan kekuatan yang baik hingga mencapai umur pengujian 28 hari. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi komposisi agregat kasar dan nilai *slump* yang digunakan dalam penelitian tetap mampu menghasilkan beton normal dengan perkembangan kuat tekan yang memenuhi mutu rencana.

4.5 Analisis *Cycle time* Produksi Beton Menggunakan *Concrete Truck Mixer Aimix*

4.5.1 *Cycle time* Produksi Beton

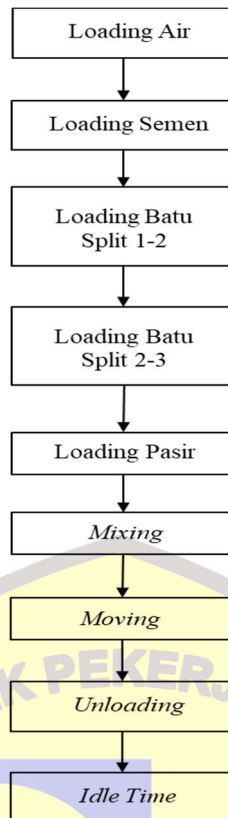
Pelaksanaan pekerjaan struktur *retaining wall* memerlukan pengelolaan waktu yang baik agar setiap tahapan pengecoran dapat berlangsung sesuai dengan rencana. Salah satu aspek yang dapat digunakan untuk menggambarkan efektivitas pelaksanaan tersebut adalah *Cycle Tme* produksi beton. *Cycle time* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus produksi beton, dimulai dari proses pemuatan material ke dalam *Concrete Truck Mixer (CT) Aimix*, dilanjutkan dengan pencampuran (*mixing*), mobilisasi menuju titik pengecoran, hingga seluruh campuran beton selesai dibongkar (*unloading*).

Pada penelitian ini, data *cycle time* diperoleh melalui pengamatan terhadap kegiatan *Trial Job Mix* yang dilaksanakan pada proyek pembangunan *retaining wall*. *Trial Job Mix* tersebut menggunakan *Concrete Truck Mixer Self Loading (CT Aimix)*, sehingga seluruh material penyusun beton dimasukkan langsung ke dalam drum *mixer* di lokasi pekerjaan tanpa menggunakan pasokan beton siap pakai (*ready mix*). Campuran beton yang diamati merupakan campuran operasional proyek dan tidak digunakan sebagai benda uji dalam penelitian ini.

Meskipun demikian, urutan pekerjaan serta durasi setiap aktivitas yang diperoleh dari hasil observasi dapat dijadikan acuan pelaksanaan produksi beton pada pekerjaan *retaining wall*. Oleh karena itu, analisis *cycle time* dalam penelitian ini berfungsi sebagai informasi pendukung untuk menggambarkan proses produksi beton menggunakan *CT Aimix*, bukan sebagai dasar dalam membandingkan variasi komposisi agregat kasar maupun variasi nilai *slump* yang menjadi objek penelitian.

4.5.2 Tahapan *Cycle time* Produksi Beton Menggunakan *CT Aimix*

Satu siklus produksi beton diawali dengan proses pemuatan material penyusun beton ke dalam drum *mixer*. Material yang dimasukkan terdiri atas air, semen, agregat kasar, dan agregat halus sesuai urutan pekerjaan di lapangan. Setelah seluruh material selesai dimuat, proses dilanjutkan dengan pengadukan (*mixing*) hingga campuran mencapai kondisi yang homogen. Beton yang telah tercampur kemudian diangkut menuju lokasi pengecoran menggunakan *CT Aimix* sebelum dilakukan proses pembongkaran (*unloading*) ke dalam bekisting *retaining wall*. Setelah seluruh beton dituang, alat memasuki waktu jeda operasi (*idle time*) sebelum kembali digunakan untuk siklus berikutnya. Urutan kegiatan tersebut membentuk satu siklus produksi beton sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.5 Tahapan *Cycle time* Produksi Beton.



Gambar 4. 5 Tahapan *Cycle time* Produksi Beton

4.5.3 Perhitungan *Cycle time* Produksi Beton Komposisi 50:50

Perhitungan *cycle time* dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung di lapangan selama pengecoran struktur *retaining wall* belangsung. Pengecoran dilakukan menggunakan *CT Aimix* dengan kapasitas 2,5 m³ untuk satu kali *mixing*. Pengamatan dilakukan dari *loading* material, *mixing*, proses *unloading* selesai, dan *idle time*. Hasil pengamatan tersebut digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan kebutuhan waktu produksi beton pada volume pengecoran struktur *retaining wall* (Tabel 4.24).

Tabel 4. 24 Perhitungan Waktu Pengecoran Satu Siklus Aimix Komposisi 50:50

NO.	TAHAPAN	DURASI (MENIT)
1.	Loading Air	6
2.	Loading Semen	22
3.	Loading Batu Split 1-2	2.5
4.	Loading Batu Split 2-3	2.5

NO.	TAHAPAN	DURASI (MENIT)
5.	Loading Pasir	4
6.	<i>Mixing</i>	31
7.	<i>Unloading</i>	25
8.	<i>Idle Time</i>	60
Total Waktu		116

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan pengamatan, didapat total waktu pengecoran untuk volume 2,5 m³ dengan komposisi 50:50 selama 116 menit untuk satu kali *mixing* (Tabel 4.24) Waktu tersebut merupakan akumulasi dari serangkaian tahapan produksi beton muali dari *loading* material hingga *idle time*. *Loading* material dimulai dari loading air selama 6 menit, dilanjutkan dengan loading semen selama 22 menit, loading batu split 1-2 dan batu split 2-3 masing-masing 2,5 menit, loading pasir selama 4 menit. Pada perhitungan waktu *mixing* dimulai ketika mixer mulai bergerak dan didapat lamanya 31 menit. Untuk *unloading* dilakukan selama 25 menit serta *idle time* selama 60 menit.

4.5.4 Perhitungan *Cycle time* Produksi Beton komposisi 70:30

Perhitungan *cycle time* untuk komposisi 70:30 dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan mengamati pelaksanaan pengecoran struktur *retaining wall* di lapangan. Siklus yang diamati meliputi loading materila, *mixing*, *unloading*, dan *idle time*. Dari *cycle time* yang didapat kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan waktu pengecoran sesuai dengan volume beton yang direncanakan.

Tabel 4. 25 Perhitungan Waktu Pengecoran Satu Siklus Aimix Komposisi 70:30

NO.	TAHAPAN	DURASI (MENIT)
1.	Loading Air	6
2.	Loading Semen	22
3.	Loading Batu Split 1-2	4
4.	Loading Batu Split 2-3	2

NO.	TAHAPAN	DURASI (MENIT)
5.	Loading Pasir	4
6.	<i>Mixing</i>	32
7.	<i>Unloading</i>	22
8.	<i>Idle Time</i>	60
Total Waktu		114

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan tabel diatas (Tabel 4.25), diperoleh waktu yang diperlukan untuk satu kali mixing dengan kapasitas volume $2,5 \text{ m}^3$ yaitu selama 114 menit. Waktu tersebut merupakan akumulasi seluruh tahapan mulai dari *loading* material hingga *idle time*. Loading material dimulai dari loading air selama 6 menit, dilanjutkan dengan loading semen selama 22 menit, loading batu split 1-2 selama 4 menit batu dan untuk batu split 2-3 selama 2, loading pasir selama 4 menit. Pada perhitungan waktu *mixing* dimulai ketika *mixer* mulai bergerak dan didapat lamanya 32 menit. Untuk *unloading* dilakukan selama 22 menit serta *idle time* selama 60 menit.

4.5.5 Rekapitulasi *Cycle time* Produksi Beton Menggunakan CT *Aimix*

Setelah dilakukan pengamatan, dilakukan rekapitulasi *cycle time* pada kedua komposisi. Perhitungan waktu dilakukan untuk pengecoran satu segmen *retaining wall* dengan volume sebesar $23,125 \text{ m}^3$ yang dapat dilihat pada tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Rekapitulasi *Cycle time* Produksi Beton dengan volume 23,125 m³

No.	Uraian	Komposisi 50:50	Komposisi 70:30
1.	Volume satu kali mixing (m ³)	2.5	2.5
2.	Volume pengecoran	23.125	23.125
3.	Jumlah kebutuhan mixing	9.25 kali (≈ 10 kali)	9.25 kali (≈ 10 kali)
4.	Total waktu pengecoran	1160 menit	1140 menit
5.	Total waktu	19 jam 20 menit	19 jam
6.	Selisih waktu	20 menit lebih lama	-

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

Hasil observasi menunjukkan bahwa satu siklus produksi beton menggunakan *CT Aimix* terdiri atas beberapa tahapan yang saling berkaitan mulai dari pemuatan material hingga proses pembongkaran beton di lokasi pengecoran. Setiap aktivitas memiliki kontribusi terhadap total waktu produksi, meskipun besarnya durasi pada masing-masing tahapan tidak sama.

Pengecoran menggunakan *CT Aimix* dengan kapasitas satu kali produksi sebesar 2,5 m³. Kebutuhan volume pengecoran sebesar 23,125 m³, baik pada komposisi 50:50 maupun 70:30, jumlah proses *mixing* yang diperlukan kedua komposisi relatif sama yaitu sebanyak 10 kali *mixing*. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan komposisi agregat tidak memengaruhi jumlah siklus *mixing* yang dibutuhkan. Meskipun memiliki siklus *mixing* yang sama, terdapat perbedaan pada total waktu yang diperlukan untuk produksi beton. Pada variasi komposisi 50:50, total waktu yang dibutuhkan selama 1160 menit atau sekitar 19 jam 20 menit. Sedangkan pada variasi 70:30, dibutuhkan total waktu pengecoran selama 1140 menit atau sekitar 19 jam. Dengan demikian, komposisi 70:30 mampu menyelesaikan proses produksi sekitar 20 menit lebih cepat dibanding dengan komposisi 50:50.

Secara keseluruhan, kedua variasi komposisi masih memiliki perbedaan waktu produksi yang tidak jauh. Namun, berdasarkan rekapitulasi *cycle time*, komposisi 70:30 menunjukkan tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan

dengan komposisi 50:50. Oleh karena itu, selain mempertimbangkan aspek kuat tekan beton dan biaya kebutuhan material, pemilihan juga mempertimbangkan efisiensi waktu produksi agar pelaksanaan pekerjaan dapat dilakukan lebih optimal.

4.6 Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian ini menggunakan dua variasi komposisi agregat kasar, yaitu 50:50 dan 70:30, untuk mengetahui pengaruh perubahan proporsi ukuran agregat terhadap kuat tekan beton normal. Perbandingan dilakukan pada masing-masing variasi nilai *slump* sehingga pengaruh komposisi agregat dapat diamati secara lebih objektif.

Pada campuran dengan nilai *slump* 10 ± 2 cm, komposisi agregat kasar 50:50 menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16,58 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 22,64 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, komposisi agregat 70:30 menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16,89 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 23,82 MPa pada umur 28 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposisi 70:30 memberikan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50 pada kedua umur pengujian.

Kondisi yang relatif serupa juga terlihat pada campuran dengan nilai *slump* 12 ± 2 cm. Komposisi agregat 50:50 menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16,89 MPa pada umur 7 hari dan 22,92 MPa pada umur 28 hari. Adapun komposisi agregat 70:30 memperoleh kuat tekan sebesar 17,43 MPa pada umur 7 hari dan 23,65 MPa pada umur 28 hari. Meskipun selisih kuat tekan yang diperoleh tidak terlalu besar, komposisi 70:30 tetap menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa proporsi ukuran agregat kasar memengaruhi kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Komposisi agregat yang memiliki distribusi ukuran lebih seimbang cenderung membentuk susunan butiran yang lebih rapat sehingga volume rongga di dalam campuran menjadi lebih kecil. Berkurangnya rongga menyebabkan kebutuhan pasta semen sebagai bahan pengisi menjadi lebih efisien dan menghasilkan ikatan yang lebih baik antara pasta semen dengan agregat. Kondisi tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya kepadatan beton sehingga kuat tekan yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi agregat kasar memengaruhi kuat tekan. Berdasarkan hasil pengujian, komposisi agregat kasar 70:30 memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50 baik pada umur 7 hari maupun 28 hari, sehingga perubahan proporsi ukuran agregat kasar dapat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kinerja mekanis beton.

4.7 Pengaruh Nilai *Slump* terhadap Kuat Tekan Beton

Selain variasi komposisi agregat kasar, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh tingkat kelecakan campuran beton melalui dua variasi nilai *slump*, yaitu 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm. Perbandingan dilakukan pada setiap komposisi agregat kasar untuk mengetahui hubungan antara *workability* dengan perkembangan kuat tekan beton.

Pada komposisi agregat kasar 50:50, campuran dengan nilai *slump* 10 ± 2 cm menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16,58 MPa pada umur 7 hari dan meningkat menjadi 22,64 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, campuran dengan nilai *slump* 12 ± 2 cm menghasilkan kuat tekan sebesar 16,89 MPa pada umur 7 hari dan 22,92 MPa pada umur 28 hari. Selisih kuat tekan antara kedua variasi *slump* relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa peningkatan nilai *slump* pada komposisi ini belum memberikan perubahan yang signifikan terhadap kuat tekan beton.

Pada komposisi agregat kasar 70:30, campuran dengan nilai *slump* 10 ± 2 cm menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16,89 MPa pada umur 7 hari dan 23,82 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, campuran dengan nilai *slump* 12 ± 2 cm memperoleh kuat tekan sebesar 17,43 MPa pada umur 7 hari dan 23,65 MPa pada umur 28 hari. Meskipun kuat tekan umur 7 hari pada *slump* 12 ± 2 cm sedikit lebih tinggi, pada umur 28 hari campuran dengan *slump* 10 ± 2 cm memberikan hasil yang lebih besar.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai *slump* dalam rentang yang digunakan pada penelitian ini tidak menyebabkan perubahan kuat tekan yang terlalu besar. Hal ini diduga karena kedua nilai *slump* masih berada dalam kisaran *workability* yang memenuhi persyaratan sehingga proses pemadatan beton dapat dilakukan secara optimal, sehingga perbedaan tingkat kelecakan (*workability*) yang

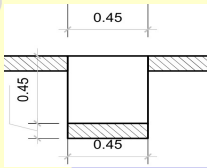
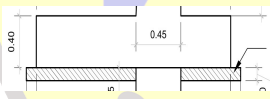
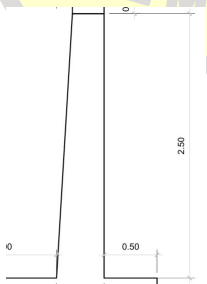
dihasilkan belum cukup besar untuk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton.

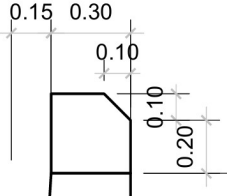
4.8 Analisis Kebutuhan Biaya

4.8.1 Perhitungan Volume Pekerjaan Beton *Retaining wall*

Sebelum dilakukan analisis kebutuhan biaya, terlebih dahulu dihitung volume beton pada setiap bagian struktur *retaining wall*. Perhitungan dilakukan berdasarkan dimensi pada gambar rencana dengan membagi struktur menjadi beberapa elemen, yaitu *shear key*, *footing*, *wall*, dan kepala dinding (*coping*). Pembagian tersebut bertujuan untuk mempermudah proses perhitungan volume serta penyusunan kebutuhan material pada masing-masing bagian struktur. Hasil perhitungan volume setiap elemen disajikan pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Perhitungan Volume Beton Pada *Retaining wall*

No.	Bagian Struktur	Ilustrasi	Perhitungan	Volume (m ³)
1.	<i>Shear Key</i>		$V = P \times L \times T$ $V = 12 \times 0,45 \times 0,45$	2.43
2.	<i>Footing</i>		$V = P \times L \times T$ $V = 12 \times 1,95 \times 0,4$	9.36
3.	<i>Wall</i>		$V = \frac{(a + b)}{2} \times h \times L$ $V = \frac{(0,3 + 0,45)}{2} \times 2,5 \times 12$	11.25

No.	Bagian Struktur	Ilustrasi	Perhitungan	Volume (m ³)
4.	Kepala Dinding (Coping)		$A1 = S \times S$ $A1 = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$ $A2 = \frac{1}{2} \times a \times h$ $A2 = \frac{1}{2} \times 0,1 \times 0,1 = 0,005 \text{ m}^2$ $V = A1 - A2$ $V = 0,09 - 0,005$	0.085
Total Volume				23,125

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

4.8.2 Perhitungan Kebutuhan Material

Perhitungan kebutuhan material dilakukan setelah diperoleh total volume beton pekerjaan *retaining wall* sebesar 23,125 m³ (Tabel 4.27). Kebutuhan setiap material dihitung berdasarkan komposisi campuran hasil *mix design* untuk masing-masing variasi agregat kasar. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui jumlah material yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan analisis kebutuhan biaya. Pada penelitian ini digunakan dua variasi komposisi agregat kasar, yaitu 50:50 dan 70:30, sehingga perhitungan kebutuhan material dilakukan secara terpisah untuk setiap variasi campuran.

A. Variasi Komposisi Agregat Kasar 50:50

Perhitungan kebutuhan material dilakukan dengan mengalikan kebutuhan material untuk 1 m³ beton terhadap total volume pekerjaan sebesar 23,125 m³.

1. Kebutuhan Semen

Kebutuhan semen dihitung menggunakan kadar semen hasil *mix design*, yaitu sebesar 325 kg/m³.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Semen} &= 325 \times 23,125 \\ &= 7.515,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Kebutuhan Agregat Halus

Kebutuhan agregat halus diperoleh dari hasil *mix design* sebesar 687,95 kg/m³, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan agregat halus} &= 687,95 \times 23,125 \\ &= 15.908,92 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Kebutuhan Batu Split 1-2

Jumlah agregat kasar ukuran split 1–2 pada variasi 50:50 adalah 581,37 kg/m³.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan batu split 1-2} &= 581,37 \times 23,125 \\ &= 13.444,23 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Kebutuhan Batu Split 2-3

Jumlah agregat kasar ukuran split 2–3 adalah 585,03 kg/m³.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan batu split 2-3} &= 585,03 \times 23,125 \\ &= 13.528,83 \text{ kg}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan material untuk variasi komposisi agregat kasar 50:50 disajikan pada Tabel 4.28 dibawah ini.

Tabel 4. 28 Kebutuhan Material Satu Segmen *Retaining wall* Komposisi 50:50

Material	Kebutuhan (kg/m ³)	Volume Beton (m ³)	Total Kebutuhan (kg)
Semen	325,00	23,125	7.515,63
Agregat halus	687,95	23,125	15.908,92
Batu split 1-2	581,37	23,125	13.444,23
Batu split 2-3	585,03	23,125	13.528,83

(Sumber : Analisis Penulis, 2026)

B. Variasi Komposisi Agregat Kasar 70:30

Perhitungan kebutuhan material dilakukan dengan mengalikan kebutuhan material untuk 1 m³ beton terhadap total volume pekerjaan sebesar 23,125 m³.

1. Kebutuhan Semen

Kebutuhan semen dihitung menggunakan kadar semen hasil *mix design*, yaitu sebesar 325 kg/m³.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Semen} &= 325 \times 23,125 \\ &= 7.515,63 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Kebutuhan Agregat Halus

Kebutuhan agregat halus diperoleh dari hasil *mix design* sebesar 687,95 kg/m³, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan agregat halus} &= 687,95 \times 23,125 \\ &= 15.908,92 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Kebutuhan Batu Split 1-2

Jumlah agregat kasar ukuran split 1–2 pada variasi 50:50 adalah 813,92 kg/m³.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan batu split 1-2} &= 813,92 \times 23,125 \\ &= 18.821,92 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Kebutuhan Batu Split 2-3

Jumlah agregat kasar ukuran split 2–3 adalah 351,02 kg/m³.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan batu split 2-3} &= 351,02 \times 23,125 \\ &= 8.117,30 \text{ kg}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan material untuk variasi komposisi agregat kasar 70:30 disajikan pada tabel dibawah ini (Tabel 4.29).

Tabel 4. 29 Kebutuhan Material Satu Segmen *Retaining wall* Komposisi 70:30

Material	Kebutuhan (kg/m ³)	Volume Beton (m ³)	Total Kebutuhan (kg)
Semen	325,00	23,125	7.515,63
Agregat halus	687,95	23,125	15.908,92
Batu split 1-2	813,92	23,125	18.821,92
Batu split 2-3	351,02	23,125	8.117,30

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Perubahan proporsi agregat kasar menyebabkan kebutuhan material pada variasi 70:30 berbeda dengan variasi 50:50. Penggunaan batu split 1–2 meningkat menjadi 18.821,92 kg, sedangkan kebutuhan batu split 2–3 berkurang menjadi 8.117,30 kg. Meskipun demikian, kebutuhan semen tetap sama karena

nilai faktor air semen (FAS) dan kadar semen yang digunakan pada kedua variasi campuran tidak mengalami perubahan.

Perhitungan kebutuhan material menunjukkan bahwa perubahan komposisi agregat kasar hanya memengaruhi jumlah penggunaan agregat, sedangkan kebutuhan semen dan agregat halus relatif tetap. Hal ini disebabkan oleh kuat tekan rencana, nilai FAS, dan kadar semen yang digunakan pada kedua variasi campuran dibuat sama, sehingga perubahan hanya terjadi pada proporsi agregat kasar. Data kebutuhan material tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan analisis biaya untuk menentukan variasi campuran yang memberikan kebutuhan biaya paling efisien pada pekerjaan struktur *retaining wall*.

4.8.3 Analisa Harga Satuan Material

Penentuan harga satuan material dilakukan sebagai dasar dalam menghitung biaya produksi beton pada setiap variasi campuran. Harga satuan yang digunakan berasal dari Peraturan Gubernur Sumatera Utara No. 48 Tahun 2025, sedangkan material yang tidak tercantum menggunakan harga dari pemasok (*supplier*) yang menjadi sumber pengadaan material pada lokasi penelitian. Pendekatan ini dipilih agar analisis biaya tetap mencerminkan kondisi pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Berdasarkan sumber harga yang digunakan, material semen *Portlad* dan agregat halus mengacu pada Peraturan Gubernur Sumatera Utara No. 48 Tahun 2025, sedangkan agregat kasar berupa batu split 1–2 dan 2–3 menggunakan harga dari pemasok karena kedua material tersebut tidak tercantum secara spesifik dalam Peraturan Gubernur Sumatera Utara. Dengan demikian, seluruh harga satuan yang digunakan masih dapat dipertanggungjawabkan sebagai dasar perhitungan biaya pada pekerjaan struktur *retaining wall* yang dapat dilihat pada Tabel 4.30 Harga Satuan Material.

Tabel 4. 30 Harga Satuan Material

No.	Material	Satuan	Harga Satuan	Sumber
1.	Semen <i>Portlad</i>	zak	Rp 123,732.00	Peraturan Gubernur Sumatera Utara No. 48 Tahun 2025
2.	Pasir	m ³	Rp 99,825.00	Peraturan Gubernur Sumatera Utara No. 48 Tahun 2025
3.	Batu Split 1-2	m ³	Rp 341,300.00	Harga Supplier
4.	Batu Split 2-3	m ³	Rp 283,500.00	Harga Supplier

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

4.8.4 Perbandingan Kebutuhan Biaya

Selain mengevaluasi karakteristik mekanis beton, penelitian ini juga membandingkan kebutuhan biaya material pada masing-masing variasi komposisi agregat kasar. Analisis dilakukan berdasarkan harga satuan material serta kebutuhan setiap bahan dalam penyusunan 1 m³ campuran beton mutu f'c 20 MPa. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan komposisi agregat terhadap total biaya campuran beton.

Tabel 4. 31 Kebutuhan Biaya Beton F'c 20 MPa Komposisi 50:50

Material	Kebutuhan (kg)	Volume (m ³)	Konversi	Harga Satuan	Total Biaya
Semen <i>Portlad</i>	7,515.63	2.386	150.3 zak	Rp 123,732.00	Rp 18,598,466.25
Pasir	15,908.92	6.214	6.214 m ³	Rp 99,825.00	Rp 620,354.52

Material	Kebutuhan (kg)	Volume (m ³)	Konversi	Harga Satuan	Total Biaya
Batu Split 1-2	13,444.23	5.035	5.035 m ³	Rp 341,300.00	Rp 1,718,544.84
Batu Split 2-3	13,528.83	5.048	5.048 m ³	Rp 283,500.00	Rp 1,431,127.84
Total Biaya					Rp 22,368,493.46

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Tabel 4. 32 Kebutuhan Biaya Beton F'c 20 MPa Komposisi 70:30

Material	Kebutuhan (kg)	Volume (m ³)	Konversi	Harga Satuan	Total Biaya
Semen <i>Portlad</i>	7,515.63	2.386	150.3 zak	Rp 123,732.00	Rp 18,598,466.25
Pasir	15,908.92	6.214	6.214 m ³	Rp 99,825.00	Rp 620,354.52
Batu Split 1-2	18,821.92	7.049	7.049 m ³	Rp 341,300.00	Rp 2,405,962.78
Batu Split 2-3	8,117.30	3.029	3.029 m ³	Rp 283,500.00	Rp 858,676.71
Total Biaya					Rp 22,483,460.26

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Tabel 4. 33 Perbandingan Kebutuhan Biaya

Komposisi Agregat	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Biaya Material (Rp/m ³)	Selisih Biaya (%)
50:50	22.78	Rp 22,368,493.46	
70:30	23.74	Rp 22,483,460.26	+ 0.51

(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya, campuran beton dengan komposisi agregat kasar 50:50 memerlukan biaya material sebesar Rp 22,368,493.46/m³ (Tabel 4.31), sedangkan campuran dengan komposisi 70:30 membutuhkan biaya sebesar Rp 22,483,460.26/m³ (Tabel 4.32). Dengan demikian, penggunaan komposisi agregat kasar 70:30 memerlukan biaya yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50, dengan selisih sebesar Rp 114,966.80/m³ atau sekitar 0,51% yang dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Perbedaan biaya tersebut dipengaruhi oleh proporsi penggunaan masing-masing ukuran agregat kasar dalam campuran beton. Pada komposisi 70:30,

kebutuhan agregat kasar ukuran 1–2 lebih besar dibandingkan kebutuhan pada komposisi 50:50. Mengingat harga agregat ukuran 1–2 lebih tinggi dibandingkan agregat ukuran 2–3, peningkatan jumlah material tersebut menyebabkan total biaya campuran ikut meningkat. Sebaliknya, kebutuhan agregat ukuran 2–3 pada komposisi 70:30 lebih rendah, dibanding pada komposisi 50:50.

Apabila dikaitkan dengan hasil pengujian kuat tekan, campuran dengan komposisi agregat 70:30 memang menghasilkan kuat tekan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50. Akan tetapi, peningkatan kuat tekan tersebut diikuti dengan kenaikan biaya material sekitar 0,51%. Di sisi lain, campuran 50:50 masih mampu menghasilkan kuat tekan rata-rata di atas mutu rencana 20 MPa dengan biaya yang lebih rendah.

Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua variasi campuran memiliki keunggulan yang berbeda, di mana komposisi 70:30 lebih unggul dari aspek kuat tekan, sedangkan komposisi 50:50 lebih ekonomis dalam penggunaan material. Apabila prioritas utama adalah memperoleh kuat tekan yang sedikit lebih tinggi, maka komposisi 70:30 dapat dipertimbangkan. Namun, apabila efisiensi biaya menjadi pertimbangan utama tanpa mengurangi pencapaian mutu beton rencana, komposisi 50:50 merupakan alternatif yang lebih ekonomis karena tetap mampu memenuhi kuat tekan yang disyaratkan dengan kebutuhan biaya material yang lebih rendah.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan mengenai pengaruh variasi ukuran agregat kasar serta nilai *slump* terhadap pekerjaan struktur *retaining wall*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi agregat kasar 70:30 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan komposisi 50:50. Pada umur 28 hari, komposisi 70:30 dengan *slump* 10 ± 2 cm menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 23,82 MPa, sedangkan komposisi 70:30 dengan *slump* 12 ± 2 cm sebesar 23,65 MPa. Sementara itu, komposisi 50:50 menghasilkan kuat tekan rata-rata 22,64 MPa pada *slump* 10 ± 2 cm dan 22,92 MPa pada *slump* 12 ± 2 cm. Hasil Tersebut menunjukkan bahwa proporsi agregat kasar dengan komposisi 70:30 mampu membentuk susunan butir yang lebih padat sehingga meningkatkan kuat tekan beton.
2. Seluruh variasi campuran memenuhi target nilai *slump* yang direncanakan yaitu 10 ± 2 cm dan 12 ± 2 cm, sehingga *workability* beton berada pada kondisi yang baik. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari, nilai *slump* 10 ± 2 cm menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi, yaitu 23,82 MPa pada komposisi agregat 70:30. Maka, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai *slump* 10 ± 2 cm merupakan variasi yang menghasilkan kuat tekan beton yang paling baik, meskipun selisihnya terhadap *slump* 12 ± 2 cm tidak terlalu signifikan.
3. Dari aspek mutu, komposisi agregat 70:30 dengan *slump* 10 ± 2 cm menghasilkan kuat tekan tertinggi. Dari aspek waktu, komposisi 70:30 memiliki total *cycle time* sekitar 19 jam, lebih cepat sekitar 20 menit dibandingkan komposisi 50:50 yang membutuhkan 19 jam 20 menit untuk volume pengecoran 23,125 m³. Dari aspek biaya, komposisi 50:50 lebih ekonomis dengan kebutuhan biaya material sebesar Rp22.368.493,46, sedangkan komposisi 70:30 membutuhkan Rp22.483.460,26, atau lebih tinggi sekitar 0,51%. Oleh karena itu, apabila prioritas utama adalah memperoleh mutu beton dan efisiensi waktu yang lebih baik, komposisi 70:30 dengan *slump*

10 ± 2 cm lebih direkomendasikan. Namun, apabila efisiensi biaya menjadi pertimbangan utama, komposisi 50:50 tetap layak digunakan karena seluruh hasil kuat tekan telah melampaui mutu rencana 20 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi komposisi agregat kasar yang lebih beragam sehingga pengaruh distribusi ukuran agregat terhadap karakteristik beton dapat dianalisis secara lebih komprehensif.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi nilai *slump* yang lebih luas, misalnya 8 ± 2 cm, 10 ± 2 cm, dan 15 ± 2 cm, sehingga hubungan antara *workability* dan kuat tekan beton dapat diketahui lebih jelas.
3. Analisis biaya sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan kebutuhan material, tetapi juga memasukkan komponen biaya tenaga kerja, peralatan, serta biaya operasional selama proses produksi dan pelaksanaan pengecoran agar diperoleh gambaran biaya yang lebih mendekati kondisi di lapangan.
4. Dalam pelaksanaan pekerjaan *retaining wall*, pemilihan komposisi agregat kasar hendaknya mempertimbangkan tidak hanya pencapaian kuat tekan, tetapi juga kemudahan pengerjaan (*workability*) dan efisiensi biaya, sehingga campuran beton yang digunakan dapat memberikan kinerja yang optimal sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Lidya, V. N., Ophiyandri, T., & Hidayat, B. (2025). *Identifikasi faktor penting dalam manajemen material pelaksanaan pekerjaan konstruksi jalan*. Jurnal Teknik Sipil Arsitek Perencanaan Wilayah (J-TSIAP), 4(1), 19–30.
- Permana, S., & Nardiansyah, A. (2025). *Pengaruh besar butiran agregat kasar terhadap kuat tekan beton normal*. Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan, 4(1), 357–363. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i1.1592>
- Wijayana, H., Susanti, E., & Septiarsilia, Y. (2020). *Studi perbandingan letak shear wall terhadap perilaku struktur dengan menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 467–474.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Badan Standardisasi Nasional.
- Putra, H. (2021). *Beton sebagai material konstruksi*. Gre Publishing. ISBN 978-623-97343-5-0.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002: Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004: Semen Portlad*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2834-2002: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Badan Standardisasi Nasional.
- Hujiyanto, H., Lakawa, I., Hakiman, H., & Paembonan, M. Y. (2024). Analisis pengaruh ukuran maksimum agregat kasar terhadap kuat tekan dan porositas pada beton normal. *Sultra Civil Engineering Journal (SCiEJ)*, 5(2), 384–397. <https://doi.org/10.54297/sciej.v5i2.676>

- Fitriani, H. (2022). *Pengaruh penggunaan limbah batu bata sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton* (Skripsi Sarjana, Universitas Mataram). Repository Universitas Mataram. <https://eprints.unram.ac.id/47222/2/ARTIKEL%20ILMIAH%20HIDAYAT%20UL%20FITRIANI%20%28F1A018032%29.pdf>
- Andini, F., Suryani, L., & Amri, H. (2019). *Review industri semen*. INA-Rxiv. <https://doi.org/10.31227/osf.io/4djwv>
- Gunawan, A. (2016). *Pengaruh pencampuran dua jenis agregat kasar terhadap kuat tekan beton*. Jurnal Inersia, 8(1), 59–67.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Material

Lampiran 2 *Mix design* SNI 03-2834-2000

Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian *Slump*

Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan

Lampiran 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Lampiran 6 Gambar Kerja *Retaining wall*

Lampiran 7 Lembar Asistensi



Lampiran 1 Hasil Pengujian Material



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM MATERIAL
Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155, Indonesia
Telp. (061) 8210371, 8210436, 8213951, Fax: (061) 8215845
<http://www.polmed.ac.id> e-mail: polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id



Lampiran 4:

DATA PEMERIKSAAN AGREGAT

Pemohon : PT. WIJAYA KARYA (PERSERO)
Proyek : Penanganan Mendesak Tanggap Darurat Bencana Alam Kab. Tapanuli Selatan, Kab. Tapanuli Tengah,
Asal Material : Pasir quarry PT. ANRA
Split quarry PT. ANRA

1. Analisa Ayak Agregat

- Agregat Kasar 3/4"

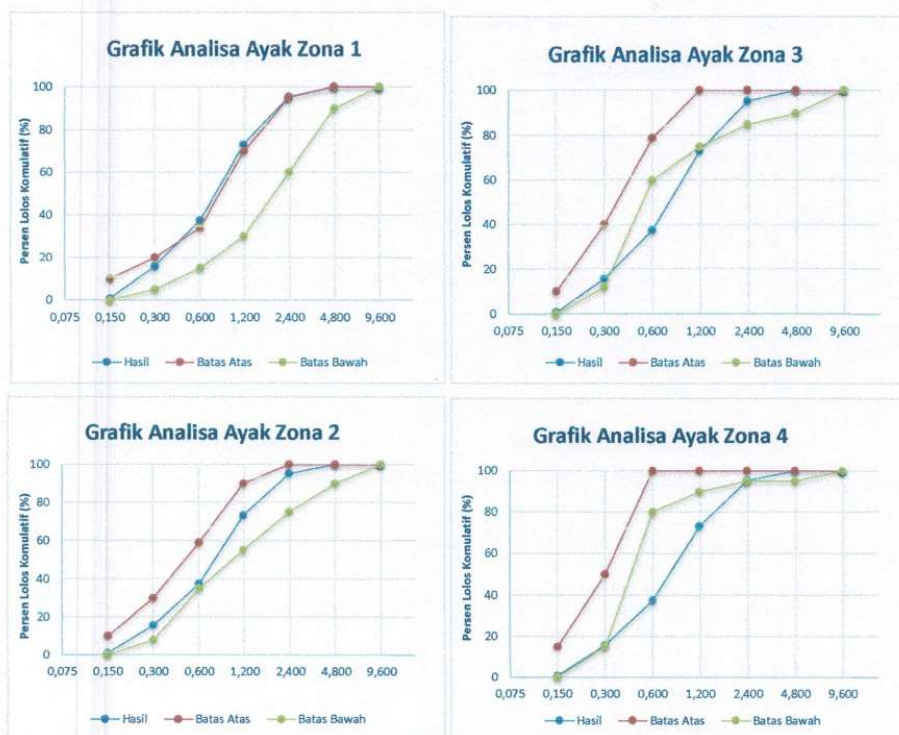
No	Diameter (mm)	Tertahan		Persen Kumulatif		Catatan
		Gram	%	Tertahan	Lolos	
	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	
	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
	12,500	5036,70	52,66	52,66	47,34	
	9,500	3514,30	36,74	89,40	10,60	
	4,750	995,20	10,40	99,80	0,20	
	2,360	0,00	0,00	99,80	0,20	
	1,180	0,00	0,00	99,80	0,20	
	0,600	0,00	0,00	99,80	0,20	
	0,300	0,00	0,00	99,80	0,20	
	0,150	0,00	0,00	99,80	0,20	
	PAN	18,70	0,20	100,00	0,00	
	Total Weight	9564,9				
	Sampel Weight			688,23		
	Find Modulus			6,88		

- Agregat Kasar 1 1/2"

No	Diameter (mm)	Tertahan		Persen Kumulatif		Catatan
		Gram	%	Tertahan	Lolos	
	37,500	132,20	0,89	0,89	99,11	
	25,000	7426,90	50,01	50,90	49,10	
	19,000	4258,40	28,68	79,58	20,42	
	12,500	3021,50	20,35	99,92	0,08	
	9,500	0,00	0,00	99,92	0,08	
	4,750	0,00	0,00	99,92	0,08	
	2,360	0,00	0,00	99,92	0,08	
	1,180	0,00	0,00	99,92	0,08	
	0,600	0,00	0,00	99,92	0,08	
	0,300	0,00	0,00	99,92	0,08	
	0,150	0,00	0,00	99,92	0,08	
	PAN	11,50	0,08	100,00	0,00	
	Total Weight	14850,5				
	Sampel Weight			779,03		
	Find Modulus			7,79		

- Agregat Halus

No	Diameter (mm)	Tertahan		Persen Kumulatif		Catatan
		Gram	%	Tertahan	Lolos	
	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00	
	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00	
	2,360	22,50	4,67	4,67	95,33	
	1,180	107,20	22,25	26,93	73,07	
	0,600	171,90	35,69	62,61	37,39	
	0,300	104,40	21,67	84,28	15,72	
	0,150	71,90	14,93	99,21	0,79	
	PAN	3,80	0,79	100,00	0,00	
	Total Weight	481,70				
	Sampel Weight	500		277,70		
	Find Modulus			2,78		



2. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

- Agregat Kasar

Pemeriksaan	Split 3/4"	Split 1 1/2"
Berat benda uji keadaan SSD (JPK)	1325,60	1285,70
Berat piknometer + benda uji + air	1737,9	1712,2
Berat Piknometer + air	910	910
Berat Benda Uji Kering Oven	1308,9	1274,7
Perhitungan	gram/cm³	gram/cm³
Berat Jenis (Bulk)	2,63	2,64
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,66	2,66
Penyerapan (%)	1,28	0,86

- Agregat Halus

Pemeriksaan	gram
Berat benda uji keadaan SSD (JPK)	504,30
Berat piknometer + benda uji + air	859,3
Berat Piknometer + air	556
Berat Benda Uji Kering Oven	494,6
Perhitungan	gram/cm³
Berat Jenis (Bulk)	2,46
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,51
Penyerapan (%)	1,96

3. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat

Pemeriksaan	Split 3/4"	Split 1 1/2"	Pasir
Berat benda uji kering Oven	1000	1000	500
Berat Benda Uji kering oven tertahan saringan No. 200	997,9	996,2	481,9
Kadar Lumpur	0,210	0,380	3,620
Kadar Lumpur (%)	0,210	0,380	3,620

4. Pemeriksaan Bobot Isi Agregat

Pemeriksaan		Split 3/4"	Split 1 1/2"	Pasir
Berat bejana + Agregat, dipadatkan (gram)	Wcac	14749,40	14778,30	5914,50
Berat bejana (gram)	Wc	4775,00	4775,00	2180,00
Volume bejana (Cm ³)	Vc	7065,00	7065,00	2649,38
Berat Isi Padat Agregat (Gram/Cm ³)	$\frac{Wcac-Wc}{Vc}$	1,4118	1,4159	1,4096

5. Pemeriksaan Kadar Air

Pemeriksaan	Split 3/4"	Split 1 1/2"	Pasir
Berat benda uji Lapangan	1002,5	1004,5	500
Berat Benda Uji kering oven	999,6	999,5	492,5
Kadar Air	0,290	0,500	1,523
Kadar Air (%)	0,290	0,500	1,523

Medan, 16-Apr-26

Lampiran 2 Mix design SNI 03-2834-2000

No	Uraian	Tabel/ Grafik/ Perhitungan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder) $f_c = 20$ MPa - pada 28 hari, bayakak memenuhi syarat 5% (1,64)	Ditetapkan
2	Deviasi Standar $S_r = 4,2$ MPa	Butir 4.3.2.1.1. (2 tabel 1)
3	Nilai tambah (margin) $M = 1,64 \times S_r = 6,888$ MPa	Butir 4.2.3.1.2)
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan $f_{cr} = f_c + 1,64 S_r = 26,888$ MPa	1+3
5	Jenis semen = Semen Portland Tipe 1	Ditetapkan
6	Jenis agregat: - halus = Asam - kasar = Batu Pecah	Ditetapkan
7	Faktor air semen bebas FAS bebas = 0,60	Tabel 2, Grafik 1

Kuat tekan rencana harus ditambah margin slag safety factor / spare besarnya margin tergantung besarnya deviasi standar, tergantung kondisi beton misal untuk kondisi terkontrol (pemeriksaan tabung, sirip), Si rendah sedangkan untuk beton yg dikerjakan di lapangan, maka Si lebih tinggi

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

Tabel 2
Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

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

Grafik 1
Compressive strength (MPa) vs Free - water / cement ratio

fo rencana = 20 MPa
fo target = 26,888 MPa

0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
72	63	57	53	50	48
0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
26,888	26,888	0	37	37	37
15,5	15,5	0,5	0	0	0

max = 92,4 0,036681
y = 195,72x - 324,96 + 151,9
x = 15,626451

Air = 190,39 liter
Semen = 325,00 kg
Agregat halus = 687,96 kg
Agregat kasar = 1,788,37 kg

8 Faktor air semen maksimum
FAS max = 0,60

Butir 4.2.3.2.2)

Tabel 4
Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam penempatan dalam lingkungan kelas

Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan a keadaan kering non-korosi b keadaan kering korosi	275	0,60
Beton di luar ruang bangunan a tidak terlindung dari hujan dan tidak menahan langsung b terlindung dari hujan dan tidak menahan langsung	325	0,52
Beton untuk: dalam tanah a mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275	0,60
Beton yang kontinu berhubung: a air tawar b air laut	325	0,55

9 Slump
Slump = 80 - 180 mm

Ditetapkan, Butir 4.2.3.3

Ukuran agregat maksimum = 40 mm

Ditetapkan, Butir 4.2.3.4

Kadar air bebas
W = 2 x Wh + 1 x Wk

Dik: Wh adalah persentase jumlah air untuk agregat halus
Wk adalah persentase jumlah air untuk agregat kasar

W = 2 x 175 + 1 x 205 = 555 kg/m³

Tabel 3
Perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan beton

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

Kadar semen
C = W/FAS
C = 309,59 kg/m³

Kadar semen maksimum
C max = 341,667

Kadar semen minimum
C min = 325,00 kg/m³

Faktor air semen yang disesuaikan
C disesuaikan = 325,00 kg/m³

Uraian
 ##### Susunan besar butir agregat halus
 Jenis pasir = Sedang (Daerah gradasi No. 2)

Tabel / Grafik / Perhitungan
 Grafik 3 s.d 6

2 OPRON BUTTON JEMAS PASIR



Area Teks

☐ Kasar (Daerah Gradasi No. 1)
☒ Sedang (Daerah Gradasi No. 2)
☐ Agak Halus (Daerah Gradasi No. 3)
☐ Halus (Daerah Gradasi No. 4)

Memasukkan hasil analisis sampel pasir ke sheet "GRADING PASIR",
 cek masuk ke aplikasi dasar bawah 2 area pasir/jenis apa

Susunan agregat kasar atau gabungan

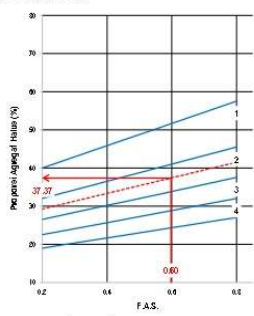
Grafik 7, 8, 9 atau Tabel 7, Grafik 10, 11, 12

Tabel 7
 Persyaratan batas-batas ukuran besar butir agregat kasar (Kerikil Atau Korali)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
38.1	94-100	100	94-100
47.5	85-100	94-100	100
75	70-100	85-100	94-100
150	0-5	0-10	0-10

Persen agregat halus

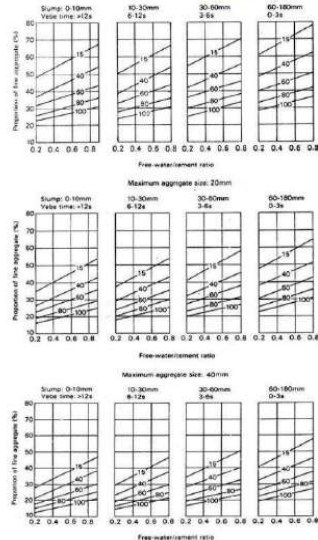
Grafik 13 s.d 15 atau perhitungan



* Peren bahan yang lebih halus dari 4,8 mm:
 Ini akan dalam Grafik 15 untuk menentukan besar agregat maksimum
 pada nilai slump
 dan nilai rasio air semen
 Bagi agregat halus pasir yang termasuk daerah susunan butir no. 2 diperoleh harga antara

40 mm
 80 - 180 mm
 0.59

37.37 %



Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan) Diketahui/dianggap

* Berat jenis relatif agregat: ini akan berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan agregat kasar dan agregat halus.
 Oleh karena agregat halus dalam hal ini merupakan gabungan pasir dari dua macam agregat halus berbeda, antara pasir dan kerikil,
 maka berat jenis sebelum mengolah berat jenis agregat gabungan
 Dengan demikian perhitungan berat jenis relatif menjadi sebagai berikut:
 - Di agregat gabungan
 Halus dan kasar

= 0.37 x 2.51 + 0.63 x 2.66

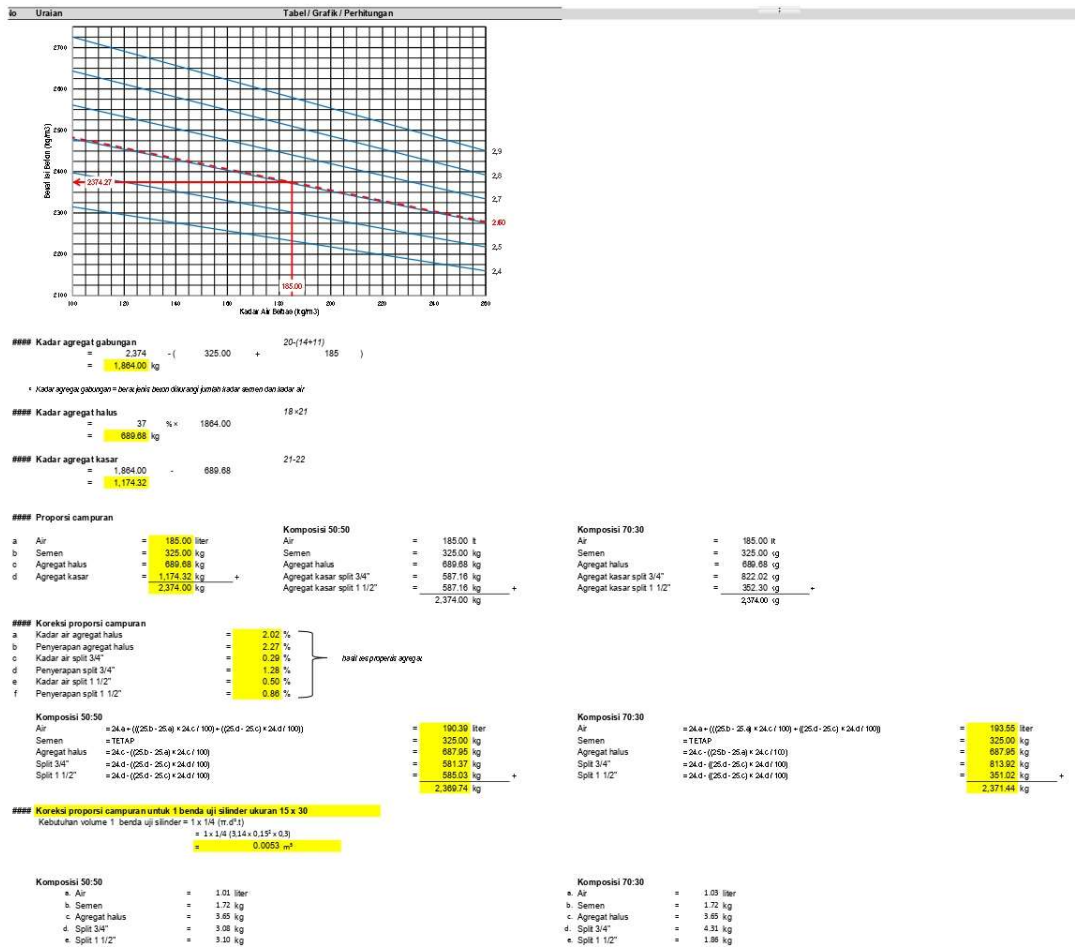
= 2.60

Berat isi beton

Grafik 16

Kadar air bebas
 = 185.00 kg/m3

* Berat jenis beton: diperoleh dari Grafik 16 dengan jalan membaca grafik baru yang sesuai dengan
 nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2.60
 Nilai yang grafik baru akan dengan angka yang menunjukkan kadar air bebas (pakai bar ini)
 185 kg/m3, menunjukkan nilai berat jenis beton yang diperoleh akan
 Berat isi beton diperoleh angka 2.374,27 kg/m3



Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian *Slump*

a. *Slump test* komposisi 50:50 *slump* 10 ± 2 cm



b. *Slump test* komposisi 50:50 *slump* 12 ± 2 cm



c. *Slump test* komposisi 70:30 *slump* 10 ± 2 cm



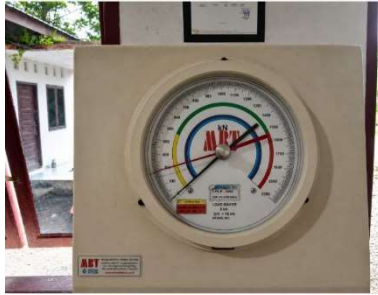


d. *Slump test* komposisi 70:30 slump 12 ± 2 cm



Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan

a. Pembacaan dial *Compression Testing Machine* (CTM)



b. Benda uji setelah di uji kuat tekan



Lampiran 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

a. Kuat Tekan 7 Hari

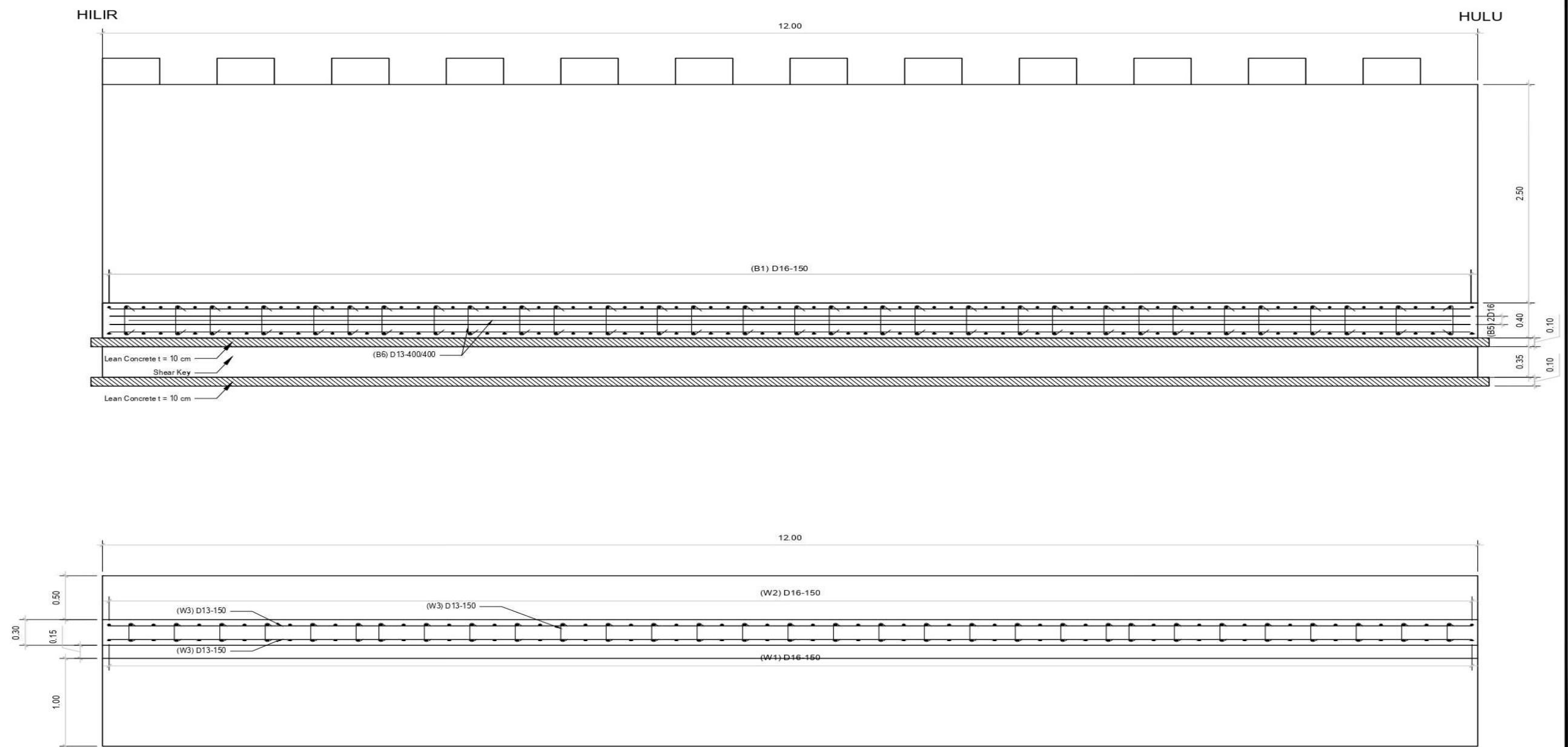
No	Tanggal		Umur (hari)	Kode Sample	Mutu (F'c)	Area (mm ²)	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Persen (%)
	Pembuatan	Pengetesan								
1.	18 Mei 2026	24 Mei 2026	7	A.1-1	20	176.714	11.366	290	16.41	82.05
2.	18 Mei 2026	24 Mei 2026	7	A.1-2	20	176.714	12.34	296	16.75	83.75
3.	18 Mei 2026	24 Mei 2026	7	A.2-1	20	176.714	12.36	272	15.39	76.96
4.	18 Mei 2026	24 Mei 2026	7	A.2-2	20	176.714	11.87	325	18.39	91.96
5.	19 Mei 2026	26 Mei 2026	7	B.1-1	20	176.714	11.371	289	16.35	81.77
6.	19 Mei 2026	26 Mei 2026	7	B.1-2	20	176.714	12.77	308	17.43	87.15
7.	19 Mei 2026	26 Mei 2026	7	B.2-1	20	176.714	12.26	301	17.03	85.17
8.	19 Mei 2026	26 Mei 2026	7	B.2-2	20	176.714	12.68	315	17.83	89.13

b. Kuat Tekan 28 Hari

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode Sample	Mutu (F'c)	Area (mm ²)	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Persen (%)
	Pembuatan	Pengetesan								
1.	17 Mei 2026	14 Juni 2026	28	A.1-1	20	176.714	12.084	403	22.81	114.03
2.	17 Mei 2026	14 Juni 2026	28	A.1-2	20	176.714	12.73	397	22.47	112.33
3.	17 Mei 2026	14 Juni 2026	28	A.2-1	20	176.714	12.112	410	23.20	116.01
4.	17 Mei 2026	14 Juni 2026	28	A.2-2	20	176.714	12.592	400	22.64	113.18
5.	19 Mei 2026	16 Juni 2026	28	B.1-1	20	176.714	12.72	418	23.65	118.27
6.	19 Mei 2026	16 Juni 2026	28	B.1-2	20	176.714	12.371	424	23.99	119.97
7.	19 Mei 2026	16 Juni 2026	28	B.2-1	20	176.714	12.035	416	23.54	117.70
8.	19 Mei 2026	16 Juni 2026	28	B.2-2	20	176.714	12.104	420	23.77	118.84

The drawing consists of three main views of a bridge structure:

- Cross-section (Top Left):** Shows a T-shaped pier. The total width at the base is 1.95m, with a top width of 0.50m. The height is 2.50m. The base is reinforced with (B1) D16-150 and (B2) 7 D16. The top is reinforced with (D1) D13-300 and (D2) D13-300. The base is labeled "Lean Concrete t = 10 cm".
- Longitudinal section (Bottom):** Shows the bridge deck with a width of 12.00m and a height of 2.50m. The deck is reinforced with (W1-W2) D16-150. The base is reinforced with (B1) D16-150 and (B2) 7 D16. The base is labeled "Lean Concrete t = 10 cm".
- Detail view (Top Right):** Shows a cross-section of the pier with reinforcement details. The dimensions are: total width 1.95m, top width 0.50m, and height 2.50m. The base is reinforced with (B1) D16-150 and (B2) 7 D16. The top is reinforced with (D1) D13-300 and (D2) D13-300. The base is labeled "Lean Concrete t = 10 cm".



Lampiran 6 Lembar Asistensi



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM

Kampus I Politeknik Pekerjaan Umum - Jalan Prof. Soedarto No. 15, Tembalang - Semarang 50275
Kampus II Politeknik Pekerjaan Umum - Jalan Soekarno Hatta Nomor 100 - Dayaman - Semarang 50166
Telepon (024) 51104116 - Website: www.politeknikpu.ac.id e-mail: info@politeknikpu.ac.id



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa 1 /NIM : Rochul Mey Isnaini / 231050
Nama Mahasiswa 2/ NIM : Marsha Aulia Rizki / 231037
Nama Proyek : Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pascabencana di Wilayah Sumatera Utara
Nama Perusahaan : BBWS Sumatera II Medan, PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk
Lokasi : Kecamatan Tukka, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara
Nama Dosen Pembimbing : Dr. Wildan Herwindo, S.IP., S.T., M.T.

No.	Tanggal	Uraian	Tandatangan
1.	12 Februari 2026	- Pembahasan topik untuk Tugas Akhir - Pemilihan judul Tugas Akhir yang akan diambil	
2.	30 Maret 2026	- Pengajuan judul Tugas Akhir - Pengarahan terkait data yang diperlukan - Referensi jurnal terkait topik Tugas Akhir - Mempelajari metode pelaksanaan pekerjaan Sabodam (rencana awal topik Tugas Akhir)	
3.	6 April 2026	- Pengajuan kembali judul baru untuk Tugas Akhir - Mempelajari terkait Quantity Surveyor pekerjaan retaining wall (rencana topik Tugas Akhir) - Mencari referensi jurnal terkait Quantity Surveyor - List data yang diperlukan	
4.	12 Mei 2026	- Pengajuan kembali judul baru untuk Tugas Akhir - Mencari referensi jurnal terkait variasi ugreget beton untuk Tugas Akhir - Minimal variasi yaitu 3 - List data yang diperlukan dalam penyusunan Tugas Akhir	

No.	Tanggal	Uraian	Tandatangan
5.	21 Juli 2026	• Perhatikan kerapian penulisan Tugas Akhir • Masukkan Lampiran-lampiran • Perhatikan penulisan Tugas Akhir • Tambahkan foto-foto dokumentasi	
6.	28 Juli 2026	Sudah siap untuk diujikan.	