

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH *PAPER PULP* SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DALAM
CAMPURAN BETON
(*ANALYSIS OF THE EFFECT OF PAPER PULP AS A
PARTIAL SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE IN
CONCRETE MIXTURE*)**

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



**ALDI FADLAN
20511113**


**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 20 Mei 2024
Yang membuat pernyataan,




Aldi Fadlan
(20511113)

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH *PAPER PULP* SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DALAM CAMPURAN BETON (*ANALYSIS OF THE EFFECT OF PAPER PULP AS A PARTIAL SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE IN CONCRETE MIXTURE*)

Disusun oleh



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

Diuji pada Tanggal 17 Mei 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

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

Penguji II

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

DEDIKASI



In the realm of dreams, where stars embrace the night, Two guiding lights shone with unwavering might. Through the labyrinth of knowledge, they held my hand, My steadfast pillars, in this academic land.

With every page turned, and each sleepless night, They lit the way with love, oh, what a sight. Their encouragement, a melody of hope, In the stormy seas of research, helped me cope.

For every trial, they offered a smile, Their unwavering support stretched a mile. In this journey of learning, side by side, My parents, my anchors, my endless pride.

As the last chapter closed, the ink of my pen, I dedicate this thesis to you, again and again. For your love and guidance, I'll forever sing, In this ode to parents, my eternal spring.

ABSTRAK

Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi memiliki dampak positif maupun negatif yang signifikan terhadap lingkungan, terutama dalam pengambilan agregatnya. Untuk mengurangi dampak tersebut, inovasi dilakukan dengan mencampur beton dengan limbah kertas sludge. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi efek penambahan limbah kertas sludge, terutama dari PT. Pindo Deli, terhadap sifat-sifat mekanis beton.

Pengujian dilakukan untuk mencari nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton setelah substitusi limbah kertas kertas sludge, terutama limbah kertas sludge PT. Pindo Deli. Perhitungan campuran beton dilakukan sesuai dengan metode perencanaan beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan target kuat tekan 21,7 MPa. Perawatan sampai sampel beton mencapai umur 28 hari, dan pengujian dilaksanakan setelah lebih dari 28 hari.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi limbah kertas sludge menyebabkan penurunan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Penurunan ini terjadi secara berturut-turut dengan peningkatan persentase limbah, yaitu pada variasi 15%, 35%, dan 45%. Sebagai contoh, terdapat penurunan kuat tekan sebesar 24,10%, 47,95%, dan 59,17% untuk masing-masing variasi tersebut, dibandingkan dengan beton tanpa limbah kertas sludge. Penurunan sifat-sifat mekanis ini disebabkan oleh kemampuan penyerapan air yang tinggi dari material kertas, yang mengakibatkan penurunan nilai ikatan pada semen. Hal ini menghasilkan beton dengan kemampuan penyerapan air dan penguapan yang lebih tinggi, sehingga mengurangi kekuatan dan kekerasan beton.

Kata kunci: Beton, Beton normal, Batako, Limbah kertas, *Paper pulp*.

ABSTRACT

The use of concrete as a construction material has a significant positive and negative impact on the environment, especially in the extraction of aggregates. To reduce this impact, innovation is carried out by mixing concrete with sludge paper waste. The study was conducted to evaluate the effect of adding sludge paper waste, especially from PT. Pindo Deli, to the mechanical properties of concrete.

The test was carried out to find the value of compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity of concrete after the substitution of waste sludge paper, especially waste sludge paper PT. Pindo Deli. The calculation of concrete mixture is carried out according to the normal concrete planning method (SNI 03-2834-2000) with a compressive strength target of 21.7 MPa. Treatment until the concrete sample reaches a lifespan of 28 days, and testing is carried out after more than 28 days.

The test results show that the substitut of waste sludge paper causes a decrease in the value of compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity of concrete. This decrease occurred consecutively with an increase in the percentage of waste, namely in variations of 15%, 35%, and 45%. For example, there were compressive strength reductions of 24.10%, 47.95%, and 59.17% for each of these variations, compared to concrete without sludge paper waste. This decrease in mechanical properties is due to the high water absorption ability of the paper material, resulting in a decrease in the bonding value of the cement. This results in concrete with higher water absorption and evaporation capabilities, thereby reducing the strength and hardness of concrete.

Keywords: *Concrete, Normal concrete, Brickwork, Waste paper, Paper pulp.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Pengaruh Paper Pulp Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Pada Campuran Beton*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak Jafar, S.T., MURP., M.T., selaku Dosen Penguji I,
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Dr. Eng. Yunalia Muntafi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
5. Teman-teman terutama bro Hanif, bro Roby, bro Ishom, bro Khairul, madam Alief, mimi Minek, dek Dhicep dan kekasih tersayang Erni Sri Fujianingsih yang selalu menguatkan dan selalu ada dalam segala kondisi apapun dan,
6. Bapak dan ibu penulis tercinta yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 20 Mei 2024
Penulis,

Aldi Fadlan
20511113

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
TUGAS AKHIR	iii
DEDIKASI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 <i>Paper Pulp</i> atau <i>Sludge Kertas</i>	5
2.3 Penggunaan Limbah Kertas Sebagai Material Campuran Beton	6
2.4 Pengaruh Penambahan <i>Paper Pulp</i> Terhadap Beton	7
2.5 Penelitian Sebelumnya	8
2.6 Keaslian Penelitian	12
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Beton	13
3.1.1 Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.	14
3.1.2 Beton Berdasarkan jenisnya.	15
	viii

3.2	Bahan Campuran Beton	15
3.2.1	Agregat	15
3.2.2	Semen Portland	27
3.3.3	Air	28
3.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	29
3.4	Pemanfaatan Limbah Kertas	38
3.5	Kertas Sebagai Pengganti Bahan Kontruksi	39
3.6	Kertas Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Pada Campuran Beton Ringan	41
3.7	Uji Slump	42
3.8	Kuat Tekan Beton (<i>Compressive Strength</i>)	42
3.9	Modulus Elastisitas Beton	44
3.10	Kuat Tarik Beton	46
3.11	Penyerapan Air Beton	46
BAB IV METODE PENELITIAN		47
4.1	Tinjauan Umum	47
4.2	Variabel Penelitian	47
4.3	Bahan yang Digunakan	48
4.4	Alat yang Digunakan	50
4.5	Benda Uji	56
4.6	Pelaksanaan Penelitian	57
4.6.1	Persiapan Penelitian	57
4.6.2	Pembuatan Limbah Kertas	57
4.6.3	Pengujian Agregat	58
4.6.4	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	59
4.6.5	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> dengan Umur 3 hari	59
4.6.6	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	59
4.6.7	Pengujian Benda Uji	60
4.6.8	Olah, analisis, dan pembahasan data	60
4.6.9	Kesimpulan dan Saran	60

4.6.10 Diagram Alir Penelitian	60
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	63
5. 1 Tinjauan Umum	63
5. 2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton	63
5. 3 Perencanaan Proporsi Campuran Beton	82
5. 4 Pengujian Slump	93
5. 5 Pengujian Penyerapan Air	95
5. 6 Pengujian Kuat Tekan Beton	99
5. 7 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	105
5. 8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	109
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	115
6.1 Kesimpulan	115
6.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	118
LAMPIRAN	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Senyawa <i>Paper Pulp</i>	6
Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton	27
Tabel 3. 2 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Yang Tersedia Kurang	31
Tabel 3. 3 Tabel Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang di Pakai	33
Tabel 3. 4 Tabel Penentuan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan Berdasarkan Penentuan Nilai Slump	35
Tabel 3. 5 Hubungan Antara Umur Beton dan Kuat Tekan Beton	43
Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji Beton	59
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus	66
Tabel 5. 2 Gradasi Agregat Halus	67
Tabel 5. 3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus	69
Tabel 5. 4 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Halus	70
Tabel 5. 5 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Halus	71
Tabel 5. 6 Hasil Uji Lolos Saringan No. 200	72
Tabel 5. 7 Hasil Uji Analisa Saringan pada Agregat kasar	73
Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Kasar	74
Tabel 5. 9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	76
Tabel 5. 10 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Kasar	77
Tabel 5. 11 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Kasar	77
Tabel 5. 12 Hasil Uji Analisis Saringan Limbah Kertas	79
Tabel 5. 13 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Kertas	81
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil dari Perencanaan Campuran Beton	92
Tabel 5. 15 Hasil Proporsi Campuran dengan Variasi Kertas Sludge yang Digunakan	93
Tabel 5. 16 Hasil Rekapitulasi Pengujian Slump	94
Tabel 5. 17 Hasil Uji Penyerapan Air	97

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	101
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	106
Tabel 5. 22 Hasil Tegangan dan Regangan Beton 0% No. 1	109
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen	29
Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata dan FAS	32
Gambar 3. 3 Tabel Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jumlah Semen Maksimum dari Jenis Lokasi Pempatan	34
Gambar 3. 4 Persentase Agregat Halus dengan Ukuran Butir Agravt Kasar Maksimum 20 mm	36
Gambar 3. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton	37
Gambar 3. 6 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton	44
Gambar 4. 1 Agregat Halus	49
Gambar 4. 2 Agregat Kasar	49
Gambar 4. 3 Semen Portland	50
Gambar 4. 4 Air	50
Gambar 4. 5 Saringan Agregat	51
Gambar 4. 6 Timbangan	52
Gambar 4. 7 Oven	52
Gambar 4. 8 Piknometer	53
Gambar 4. 9 Sekop	53
Gambar 4. 10 <i>Concrete Mixer</i>	54
Gambar 4. 11 Kerucut Abrams	55
Gambar 4. 12 Bekisting Beton	56
Gambar 4. 13 <i>Compression Testing Machine</i>	56
Gambar 4. 14 Limbah Kertas (<i>Paper Pulp</i>)	58
Gambar 4. 15 Diagram Alir Penelitian	62
Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II	67
Gambar 5. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm	74
Gambar 5. 3 Gradasi I Analisis Saringan Limbah Kertas	80
Gambar 5. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang Biasa di Pakai di Indonesia	84

Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk benda Uji Silinder 150 x 300 mm	84
Gambar 5. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum	85
Gambar 5. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan	86
Gambar 5. 8 Gradasi Pasir yang Digunakan	87
Gambar 5. 9 Persentase Agregat Halus terhadap Kadar Agregat Total	88
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Persentase Proporsi Agregat Halus dan FAS dengan Rencana Slump 60-180 mm	88
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan antara Berat Isi Beton	90
Gambar 5. 12 Grafik Hasil Pengujian Nilai Slump Per Variasi	95
Gambar 5. 13 Grafik Hasil Daya Penyerapan Air Beton Per Variasi	99
Gambar 5. 14 Grafik Tren Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Per Variasi	103
Gambar 5. 15 Grafik Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Per Variasi	103
Gambar 5. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 0%	104
Gambar 5. 18 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	108
Gambar 5. 19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton dengan Limbah Kertas	108
Gambar 5. 20 Grafik Tegangan-Regangan Variasi 0% pada silinder 1	111
Gambar 5. 21 Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Time Schedule Tugas Akhir	121
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian	122
Lampiran 3 Gambar Hasil Pengujian Benda Uji	129
Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Bahan	133
Lampiran 5 Data Hasil Mix Design	137
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Penyerapan Air dan Slump Beton	138
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas Beton	142

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f_c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f_{cr}	= Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan (MPa)
M	= Nilai Tambah (MPa)
D_s	= Standar Deviasi (MPa)
k	= Faktor Pengali Deviasi Standar
Wh	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Halus
Wk	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Kasar
BJAG	= Berat Jenis Agregat Gabungan
BJAH	= Berat Jenis Agregat Halus
BJAK	= Berat Jenis Agregat Kasar
%AH	= Persentase Agregat Halus
%AK	= Persentase Agregat Kasar
FAS	= Faktor Air Semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PCC	= Portland Composit Cement
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= Saturated Surface-Dry
W_c	= Berat Isi Beton (kg/m^3)
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm^2)
σ	= Tegangan (N/mm^2)
ϵ	= Regangan
E_c	= Modulus Elastisitas (MPa)
S2	= Tegangan saat 40% dari Beban Maksimum (MPa)
S1	= Tegangan pada saat Regangan Longitudinal, $\epsilon_1 = 0,00005$
(MPa)	
ϵ_2	= Regangan Longitudinal yang dihasilkan pada saat S2
f_{ct}	= Kuat Tarik Belah (MPa)

l = Panjang benda uji pada bagian yang tertekan (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang terdiri dari empat bahan utama yaitu semen, agregat, air, dan bahan tambahan, menjadi semakin diminati seiring berjalannya waktu. Agregat, sebagai salah satu komponen penting dalam beton, menjadi perhatian dalam penyusunan material bangunan. Agregat, yang digunakan dalam pembuatan beton, diperoleh melalui penambangan atau pengepulan batuan untuk mendapatkan agregat kasar dan agregat halus. Dengan peningkatan permintaan beton, aktivitas penambangan agregat juga meningkat. Meskipun memberikan tambahan pendapatan bagi warga lokal, penambangan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara, kerusakan lahan, risiko longsor, pencemaran air, dan potensi banjir di sekitar wilayah pertambangan agregat.

Indonesia memiliki banyak sungai dan komponen di dalamnya, dengan 5950 Daerah Aliran Sungai (DAS) menurut data Kementerian Lingkungan Hidup. Kegiatan penambangan dan pengerukan pasir di sungai menjadi salah satu permasalahan terkait DAS. Penipisan kandungan dalam DAS menyebabkan erosi tebing sungai, sedimentasi, dan penurunan ketersediaan air bersih untuk memenuhi kebutuhan di wilayah DAS tersebut. (Saam & Siregar, 2018).

Oleh karena itu, penting menangani masalah pengambilan agregat, khususnya pasir, yang dapat merusak kelestarian lingkungan. Dengan meningkatnya kebutuhan bahan beton, aktivitas pengerukan dan penambangan pasir di daerah gunung dan sungai semakin meningkat, menciptakan tantangan berkelanjutan terhadap kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkannya solusi dengan inovasi kreatif pengganti sebagian agregat halus untuk mengurangi penggunaan pasir dalam campuran beton serta mengontrol penambangan pasir guna menghentikan kerusakan lingkungan secara berkelanjutan.

PT Pindo Deli merupakan perusahaan yang berkembang dalam bidang pembuatan kertas. Pabrik Kertas Pindo Deli dalam pembuatan kertasnya menghasilkan 150 – 180 ton/hari limbah kertas sludge. Limbah ini tercatat telah berhasil dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan batu bata. Hal ini menyebabkan adanya potensi penanggulangan pencemaran kelestarian lingkungan dari aktivitas penambangan pasir dengan menggunakan limbah kertas sludge pada sektor bidang konstruksi (Muharam dkk, 2020).

Menurut penelitian Rouf Abdur Md. dan Hossain Delwar MD. (2006), batu bata yang menggunakan limbah kertas sludge memiliki kuat tekan maksimal 80% dari batu bata biasa, dan dalam uji TCLP, limbah kertas sludge tidak dianggap beracun untuk batu bata. Studi oleh Hardiani dan Sugesty (2009) menunjukkan bahwa limbah padat dari industri kertas dapat dicampurkan dalam pembuatan bata beton, terutama karena kandungan CaCO_3 dan CaO -nya. Penelitian lain menunjukkan bahwa sludge atau serat kertas dari IPAL industri kertas yang memproses waste paper dengan deinking dapat menghasilkan batako berkualitas tipe I dan II dengan komposisi tertentu.

Dengan mengetahui bahwa *sludge* kertas atau *paper pulp* memiliki butiran yang mirip dengan pasir dan pernah digunakan sebagai bahan pembuatan batu bata, ini membuka peluang untuk memanfaatkannya sebagai bahan bangunan. Dengan kata lain, *paper pulp* dapat digunakan sebagai pengganti bahan baku tradisional. Dengan pertumbuhan perumahan dan pembangunan lainnya, kebutuhan masyarakat terhadap bahan bangunan seperti pasir, semen, kapur, dan sejenisnya semakin meningkat secara signifikan, penggunaan *paper pulp* dalam produksi beton dapat membantu mengurangi permasalahan pencemaran lingkungan dalam aktivitas pembuatan beton yang cenderung meningkat.

Pada tugas akhir ini limbah kertas dijadikan *paper pulp* kemudian dijadikan bahan material sebagai substitusi parsial agregat halus. Peneliti menganalisis bagaimana pengaruh dari substitusi parsial agregat halus dengan *paper pulp* menjadi beton normal. Beton normal dengan substitusi parsial kertas terhadap agregat halus adalah beton ramah lingkungan yang terbuat dari campuran serat kertas daur ulang, semen, agregat halus, agregat kasar dan air.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian ini, rumusan masalah yang digunakan untuk penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Paper Pulp* sebagai substitusi parsial agregat halus pada karakteristik beton?.
2. Berapa besar nilai kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, penyerapan air dan modulus elastisitas beton yang dapat dicapai dengan menggunakan *paper pulp* sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton, dengan variasi 0%, 15%, 35%, dan 45% dari berat total agregat halus?.
3. Bagaimana kelayakan mekanis substitusi parsial agregat halus dengan *paper pulp* dalam campuran beton?.

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah didapat tujuan pada penelitian ini. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Meneliti pengaruh penggunaan *Paper pulp* sebagai substitusi parsial agregat halus dalam campuran beton pada karakteristik beton.
2. Mengetahui besar nilai kuat tekan, kuat tarik belah, penyerapan air dan modulus elastisitas pada beton dengan menggunakan *paper pulp* sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton dengan persentase 0%, 15%, 35%, dan 45% *paper pulp* pada umur 28 hari.
3. Mendapatkan seberapa kelayakan mekanis substitusi parsial agregat halus dengan *paper pulp* dalam campuran beton dimulai dari mendapatkan nilai *slump test* dari beton tanpa penambahan *paper pulp* dan beton dengan campuran *paper pulp* dengan persentase 0%, 15%, 35%, dan 45%.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi hal-hal berikut.

1. Menambah wawasan terkait ilmu pembetonan dan pemanfaatan limbah sebagai bahan konstruksi.
2. Memberikan informasi terkait pemanfaatan limbah kertas yang dijadikan *paper pulp* sebagai prasarana pengganti sebagian agregat halus pada

campuran beton sebagai solusi penanggulangan permasalahan kelestarian lingkungan.

1.5 Batasan

Pada penelitian ini perlu dibatasi oleh beberapa Batasan yang diharapkan memberi arah yang jelas pada penelitian tugas akhir itu. Batasan yang diperlukan tersebut sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana ($f'c$) adalah 21,7 MPa atau setara dengan beton K-250 yang merupakan beton kelas menengah untuk pembangunan struktural.
2. Dasar perencanaan campuran beton normal SNI 03-2834-2000.
3. Variasi penggunaan paper pulp terhadap berat pasir pada campuran beton normal yaitu 0%, 15%, 35% dan 45%.
4. Penelitian ini dilakukan pengujian beton pada umur 28 hari.
5. Benda uji dirawat dengan perendaman.
6. Agregat halus menggunakan pasir yang diambil dari sungai progo.
7. Agregat kasar yang digunakan diambil dari kerikil yang berlokasi di Clereg yang berada pada laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
8. Semen yang digunakan semen portland tipe I yaitu semen tiga roda.
9. Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak tercampur zat-zat yang dapat mempengaruhi penelitian ini yang berasal dari laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
10. Limbah kertas didapatkan dari hasil limbah Perusahaan kertas HVS PT. pindo deli pulp and paper mills yang telah berbentuk butiran kertas
11. Pada peneliitian ini tidak melakukan proses analisis kandungan ilmiah di dalam limbah kertas.
12. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton dapat diklasifikasikan sebagai suatu komposit yang terdiri dari matriks berfungsi sebagai perekat (semen) dan bahan pengisi (filler) berupa agregat, seperti batu kecil atau pasir (Mulyono, 2005). Dalam beton, terjadi proses penguatan ikatan antar agregat melalui hidrasi semen. Selama reaksi hidrasi ini, terbentuk fase-fase seperti kalsium silikat hidrat (CS), kalsium aluminat hidrat (CA), dan kalsium alumina silikat hidrat (CAS). Proses penguatan atau pengerasan beton sangat dipengaruhi oleh rasio berat air terhadap semen, yang umumnya berkisar antara 0,4 hingga 1,0 (Mulyono, 2005).

Menurut SNI-2847-2019, definisi beton adalah hasil dari pencampuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, mungkin dengan atau tanpa penambahan bahan campuran tambahan. Beton dianggap sebagai substansi komposit yang terdiri dari berbagai bahan, dengan komponen utamanya mencakup campuran agregat halus, agregat kasar, air, semen, dan mungkin bahan tambahan dalam proporsi tertentu. Penting untuk dicatat bahwa kualitas beton sangat tergantung pada kualitas masing-masing bahan penyusun yang digunakan, karena beton merupakan hasil dari komposit tersebut (Tjokrodinuljo, 2007).

2.2 *Paper Pulp* atau *Sludge Kertas*

Sludge kertas atau paper pulp adalah residu padat dari industri pulp dan kertas, biasanya memiliki warna hitam atau abu-abu, dan terdiri sekitar 90% padatan dan 10% air. Residu ini dihasilkan melalui proses pengendapan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Sludge yang dihasilkan oleh IPAL masih mengandung sejumlah besar bahan organik serat dan bahan anorganik lainnya. Jumlah dan karakteristik lumpur IPAL sangat tergantung pada sifat air limbah yang masuk dan metode pengolahan yang digunakan, apakah itu melalui proses fisika, kimia, atau biologi. Berikut ini adalah kandungan senyawa kimia pada paper pulp atau sludge kertas menurut penelitian yang dilakukan Khusna dan Himnill (2012).

Tabel 2. 1 Kandungan Senyawa Paper Pulp

Komposisi Kimia	Kadar (%)
CaO	59,72
SO ₃	8,28
SiO ₂	4,34
MgO	2,99
Al ₂ O ₃	2,75
Fe ₂ O ₃	0,73

Sumber : Khusna, Himnil. (2012). “Analisis Kandungan Kimia dan Pemanfaatan Sludge Industri Kertas sebagai Bahan Pembuatan Batako”

2.3 Penggunaan Limbah Kertas Sebagai Material Campuran Beton

Mulyati dan Arafan (2019) telah melakukan penelitian yang melibatkan penggunaan abu kertas sebagai bahan tambahan campuran beton. Penelitian ini melibatkan variasi abu kertas sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% dari berat semen, sementara sikacim, suatu aditif beton, ditambahkan pada tingkat masing-masing sebesar 0,7% dari volume air. Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi tercapai pada penggunaan abu kertas sebesar 0,25% dan sikacim 0,7%, dengan nilai rata-rata kuat tekan mencapai 295,14 kg/cm².

Israini, D., & Rahman, A. (2018) menyatakan bahwa beton merupakan salah satu pilihan utama dalam pembangunan, dengan terus berkembangnya teknologi. Pengembangan ini bertujuan untuk mencapai beton yang lebih kuat dan ekonomis. Pusat perhatian utama adalah penelitian tentang bahan-bahan pembentuk beton yang mampu mencapai tujuan tersebut. Beton kertas atau Papercrete, yang menggunakan kertas sebagai substitusi, sering digunakan sebagai bahan dinding karena memiliki kelebihan berupa bobot yang lebih ringan dan aspek ekonomis. Penggunaan kertas bekas ini juga memberikan kontribusi positif terhadap pengelolaan sampah kertas, sehingga bahan ini dapat dianggap sebagai opsi yang ramah lingkungan.

Safarizki, H. A., & Ristanto, I. (2018) menyatakan bahwa Papercrete merupakan alternatif beton ringan yang menggunakan limbah kertas yang tersedia di sekitar kita. Namun, kelemahan dari Papercrete terletak pada mutu kuat tekan yang rendah akibat dari bahan dasarnya yang berupa kertas. Tujuan dari penelitian ini adalah merumuskan desain campuran (mix design) Papercrete dengan mutu tinggi yang mampu menahan beban, dengan menambahkan limbah keramik sebagai bahan tambahan yang ramah lingkungan.

Menurut Rahmadhon (2009), beton kertas atau *papercrete* adalah suatu bahan yang terdiri dari campuran kertas dengan semen Portland. Kertas yang digunakan dalam pembuatan beton ini merupakan kertas bekas yang diolah menjadi bubur kertas untuk mempermudah proses pengadukan campuran. Beton kertas dapat berfungsi sebagai alternatif untuk pembuatan dinding partisi, blok, panel, plesteran, dan berbagai aplikasi lainnya yang bersifat ramah lingkungan. Untuk meningkatkan kinerjanya, dapat ditambahkan agregat seperti pasir, kaolin, dan bahan lainnya ke dalam campuran beton kertas, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan karakteristik beton kertas yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

2.4 Pengaruh Penambahan Paper Pulp Terhadap Beton

Maidayani (2009) dalam penelitiannya menyampaikan, bahwa penambahan limbah padat (sludge) pada beton cenderung menurunkan nilai densitas beton karena sebagian air yang terikat di dalam sludge dapat terlepas selama proses pengeringan. Waktu pengeringan yang optimal disarankan selama 28 hari, dan apabila waktu pengeringan diperpanjang, dampak terhadap nilai densitas beton tidak terlalu signifikan. Selain itu, penambahan kertas juga cenderung menurunkan nilai kuat tekan dan kuat tarik beton. Dalam penelitian tersebut, dengan komposisi 25% bubur kertas dan 10% lateks serta waktu pengeringan selama 28 hari, hasilnya adalah beton dengan karakteristik sebagai berikut: densitas = 2,01 gram/cm³, penyerapan air = 21,9%, penyusutan = 0,102%, konduktivitas termal = 0,34 w/moK, kuat tekan = 16,52 MPa, kuat patah = 3,60 MPa, dan kuat tarik = 2,99 MPa.

Semakin banyak bubur kertas yang dicampurkan dalam papan beton, maka nilai berat/volume semakin kecil, sehingga papan beton menjadi lebih ringan.

Penambahan bubuk kertas dengan pengurangan pasir dalam komposisi papan beton menunjukkan penurunan nilai berat panel. Perubahan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor penyusun, di antaranya adalah berat jenis. Berat jenis pasir dan kerikil berkisar antara 2,1-2,2 gr/cm³, yang lebih besar dibandingkan dengan berat jenis bubuk kertas sekitar 1,24 gr/cm³ (Hardiani dan Sugesty, 2009).

Analisis yang dilakukan oleh Sihombing (2009) terhadap batako ringan yang terbuat dari sludge dengan bahan agregat berbasis sludge dan pasir, menggunakan semen sebagai matrik perekat, menunjukkan hasil sebagai berikut. Variasi rasio sludge terhadap pasir, yaitu 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; dan 0:100 (dalam % volume), menunjukkan bahwa batako ringan dengan komposisi terbaik adalah dengan rasio 60% (volume) sludge dan 40% (volume) pasir. Jumlah semen tetap (31,75 cm³) dan waktu pengeringan 28 hari. Pada komposisi tersebut, batako ringan yang dihasilkan memiliki densitas sebesar 1,56 gr/cm³. Karakteristik lainnya meliputi penyerapan air sebesar 31,7%, kuat tekan sebesar 9,1 MPa, kuat tarik sebesar 1,83 MPa, dan kuat patah sebesar 1,19 MPa. Batako ringan ini juga menunjukkan kemampuan yang baik dalam menyerap suara pada frekuensi 125, 270, 500, dan 1000 Hz, dengan koefisien penyerapan suara pada frekuensi tersebut masing-masing sekitar 20%, 30%, 15,8%, dan 9%. Analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa sludge berupa serat dengan ukuran diameter sekitar 5 µm dan panjang 30 µm, partikel pasir atau semen dengan ukuran sekitar 2 µm, dan batako yang dihasilkan relatif berpori dengan ukuran mencapai 20 µm.

2.5 Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian sebelumnya untuk tolak ukur dan bahan referensi penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terlebih Dahulu					
Peneliti	Rangga P. Tandipayuk. (2016).	Pratama, E., & Hisyam, E. S. (2016)	Hadi, H. S. (2018)	Putra, D. M. (2018).	Israini, D., & Rahman, A. (2018).
Judul Penelitian	Karakteristik Beton Ringan Kuat Tekan 35 MPa Menggunakan Limbah Kertas sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus.	Kajian kuat Tekan dan kuat tarik belah beton kertas (papercrete) dengan bahan tambah serat nylon.	Analisis Penambahan Limbah Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan.	Pengaruh Abu Batu Sebagai Analisa Pengaruh Penambahan Limbah Kertas terhadap Kuat Tekan Beton Ringan untuk Partisi Gedung. Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi	Analisis Proporsi Bubur Kertas dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton Kertas (Papercrete).
Parameter yang diuji	Kuat tekan beton, kuat lentur dan modulus elastisitas	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton
Metode Penelitian	enelitian ini variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi persentase limbah sampah (paper pulp) dalam agregat (50%; 25%; dan 0%) dan persentase silica fume (10% dan 15%) sementara variabel terikat dalam penelitian ini yaitu agregat lainnya seperti semen, pasir, kerikil dan air. Sampel tiap variasi dalam penelitian ini adalah 6 sampel benda uji silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk	Mengambil bahan-bahan pembentuk mortar yaitu semen, pasir dan bubuk kertas dengan perbandingan 1:2:2. 2. Mencampur semen, air, kertas dalam ember dengan alat bor pencampur. Hal ini dimaksudkan agar semen dan kertas dapat tercampur secara sempurna. 3. Menambahkan nylon (diameter 0.8 mm, panjang 40mm) pada adukan dengan kadar penambahan 0,25%; 0,50; 0,75%; 1,00% terhadap berat semen, masing-masing berjumlah 6 benda uji untuk setiap kadar penambahan. 4. Memasukkan adukan ke dalam alat cetak berbentuk	Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Total 9 (sembilan) benda uji dibuat, terdiri dari 3 (tiga) benda uji untuk beton normal tanpa campuran kertas, 3 (tiga) benda uji dengan penambahan kertas sebesar 10%, dan 3 (tiga) benda uji dengan penambahan kertas sebesar 20%. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.	Dalam penelitian ini, telah ditetapkan memakai perbandingan pc : ps = 1:2. Selanjutnya perbandingan ini dikonversikan ke dalam perbandingan volume. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah perencanaan kebutuhan bahan per adukan dalam membuat sejumlah benda uji beton ringan. Sedangkan kebutuhan limbah kertas yang digunakan untuk membuat beton ringan sudah dilebur dan sudah dibandingkan 0%; 25%; dan 40% dari volume pasir yang diperlukan.	perencanaan campuran beton (concrete mix design) berdasarkan metode coba-coba (trial). Perencanaan ini didasarkan atas perbandingan volume sehingga untuk mendapatkan berat material yang digunakan diperoleh dengan cara membandingkan berat material untuk 1 volume benda uji trial dengan volume benda uji untuk penelitian Komposisi semen : agregat = 1: 2 dengan agregat yang dimaksud terdiri dari bubuk kertas dan pasir.

	<p>pengujian kuat tekan dan 3 sampel benda uji balok 10 cm x 10 cm x 40 cm untuk pengujian kuat lentur dengan target mutu beton $f'_c = 35$ MPa. Untuk pengujian kuat tekan akan diuji pada umur beton 7 dan 28 hari, sedangkan pengujian kuat lentur dan modulus elastisitas hanya akan diuji pada umur beton 28 hari.</p>	<p>silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm (untuk penambahan nylon 0,00%). Adukan dimasukkan ke dalam cetakan secara berlapis dan dalam penelitian ini sebanyak 3 lapis, dan setiap lapisnya ditumbuk sebanyak 25 kali dengan menggunakan stik besi. 5. Alat cetak dibuka setelah mengeras, pada penelitian ini dibuka pada waktu 1x24 jam.</p>			
<p>Hasil Penelitian</p>	<p>Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan beberapa pengujian yang dilaksanakan, maka dapat penulis sampaikan beberapa hal yang dapat menjadi kesimpulan yakni :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beton dengan atau tanpa penambahan bulir kertas mengalami kenaikan kuat tekan sampai dengan umur 28 hari. 2. Pergantian bulir kertas sebagai agregat halus dapat mereduksi berat isi beton hingga mencapai 3.87% atau 88.98 kg/m³ pada variasi P50-0. 3. Penambahan bulir kertas pada campuran beton menurunkan kuat tekan beton sebesar 3.72%, tetapi penambahan bulir kertas dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 6.79%, demikian juga pada nilai modulus elastisitas beton meningkat sebesar 19.90% pada beton P25-0 dibandingkan dengan beton NC-0. 4. Tidak ditemukan adanya pengaruh positif silica 	<p>Jumlah serat nylon yang digunakan sangat mempengaruhi kekuatan beton kertas, yaitu semakin banyak serat nylon yang digunakan maka semakin besar nilai kuat tekan beton kertas, pada penambahan serat nylon pada persentase 0,25 %, 0,50 %, 0,75 %, dan 1 % terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton kertas dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa penambahan serat nylon atau beton kertas normal. Dalam penelitian ini nilai kuat tekan beton kertas yang terbaik didapat dengan persentase serat nylon 1 % sebesar 0,918 MPa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kuat tekan beton yang dihasilkan dengan campuran 1Pc :2Ps : 3 Ba tanpa limbah kertas sebanyak (0%), - didapatkan kuat tekan sebesar 17,342 Mpa. - 2. Kuat tekan beton yang dihasilkan dengan campuran 1Pc :2Ps : 3 Ba dengan persentase penambahan - limbah kertas sebanyak 10%, didapatkan kuat tekan sebesar 20,324 Mpa. - 3. Kuat tekan beton yang dihasilkan dengan 	<p>Dari hasil penelitian mengenai penggunaan agregat kertas diameter butiran 10-20 mm sebagai agregat beton ringan dengan perbandingan semen : agregat = 1:2 untuk variasi prosentase volume agregat kertas 0%, 25%, dan 40% dari volume agregat keseluruhan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Berat satuan beton agregat kertas dengan variasi campuran 0%, 25%, dan 40% menghasilkan rata rata per m³ adalah 1.0926,8 kg/m³ sampai 1.3117,5 kg/m³. Berdasarkan klasifikasi agregat yang mengacu pada kuat tekan beton yang dihasilkannya menurut Nadiroh (1980), agregat kertas buatan ini dapat digolongkan ke dalam kelas agregat ringan dengan kekuatan sedang karena menghasilkan beton dengan kekuatan tekan antara 4.70Mpa sampai 6.53Mpa. Berdasarkan hasil praktikum kuat tekan maksimal terjadi pada variasi 40% yaitu 5.478Mpa</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Semakin besar proporsi bubuk kertas semakin menurunkan kekuatan tarik belah dan lentur beton kertas. Penurunan minimal adalah 31-33% pada proporsi 30-40% 2. Proporsi bubuk kertas yang maksimal terhadap tarik belah beton kertas adalah 40% yaitu sebesar 21,254 kg/cm² Proporsi bubuk kertas yang maksimal terhadap kuat tarik lentur beton kertas adalah 30 % yaitu sebesar 47,025 kg/cm² 3. Penggunaan bubuk kertas pada proporsi 40-50 % memberikan berat jenis sebesar 1,882 dan 1,699 atau hanya 80,80 % dan 72,94 % dari beton normal pembanding dengan berat jenis 2,329. Beton kertas pada

	<p>fume terhadap karakteristik beton kertas pada umur 28 hari. 5. Secara umum dapat disimpulkan bahwa bulir kertas dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus dalam produksi beton dengan kuat tekan minimal 37 MPa dengan persentase substitusi bulir kertas sebesar $\pm 25\%$.</p>		<p>campuran 1Pc :2Ps : 3 Ba dengan persentase penambahan limbah kertas sebanyak 20%, didapatkan kuat tekan sebesar 18,874 Mpa.</p>		<p>proporsi 40% dan 50% dapat dikategorikan Beton Ringan dengan kekuatan menengah (Moderate Strength Concrete) dan dapat diaplikasikan pada bangunan sederhana (non engineering building).</p>
--	---	--	--	--	--

2.6 Keaslian Penelitian

Penelitian ini menunjukkan perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Pendekatan yang digunakan adalah dasar dari campuran beton normal dengan kuat tekan 21,7 MPa atau setara dengan mutu beton K-250. Penelitian ini fokus pada pengamatan uji slump, berat jenis, kuat tekan, modulus elastisitas beton, penyerapan air dan kuat tarik belah beton yang telah dicampur dengan limbah kertas (Paperpulp) dari PT. Pindo Deli, dengan variasi perbandingan komposisi limbah kertas terhadap berat pasir sebesar 0%, 15%, 35%, dan 45%. Metode yang digunakan mencakup uji coba pencampuran beton normal dengan umur rencana 28 hari. Dengan dasar ini, penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan atas keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang terbentuk dari campuran semen, air, dan agregat seperti kerikil atau pasir. Definisi beton secara umum tidak mengalami banyak perubahan selama lima tahun terakhir karena sifat dasarnya yang sudah stabil. Meskipun begitu, beberapa penelitian terbaru telah mengeksplorasi penggunaan bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan material tersebut. Beton tetap menjadi salah satu bahan konstruksi yang paling umum digunakan di seluruh dunia, karena memiliki kekuatan, daya tahan, dan kemampuan untuk dibentuk dalam berbagai bentuk dan ukuran. Penggunaan beton umumnya ditemui dalam proyek konstruksi besar seperti jembatan, gedung bertingkat, jalan raya, dan bendungan.

Beton memiliki karakteristik utama, termasuk berat jenis yang relatif tinggi, yang dapat memengaruhi kapasitas beban dari konstruksi yang menggunakan beton. Berat jenis beton memiliki dampak signifikan terhadap daya dukung struktur. Sebagian besar produsen beton memanfaatkan sumber daya alam, terutama pasir, sebagai salah satu bahan utama dalam campuran beton. Meskipun pasir memiliki peran penting dalam keberhasilan beton, penggunaan pasir yang berlebihan di seluruh dunia dapat mengakibatkan penurunan sumber daya alam, dan akhirnya, dapat mengakibatkan kehabisan pasir. Hal ini memicu kebutuhan untuk mengeksplorasi alternatif atau inovasi dalam formulasi beton untuk mengurangi ketergantungan pada pasir dan melestarikan sumber daya alam.

Selain berat jenis, karakteristik lain yang berpengaruh pada kegunaan beton adalah struktur yang baik dan kepadatan yang memadai. Beton dengan struktur yang baik memiliki kemampuan menopang beban bangunan konstruksi sehingga mengurangi risiko retak. Standarisasi yang harus dipenuhi dalam penggunaan beton untuk konstruksi bangunan termasuk kekuatan. Kualitas struktur beton tidak hanya ditentukan oleh kekuatan dan ketebalan, tetapi juga oleh faktor air-semen yang

digunakan. Selain itu, tekstur yang dimiliki oleh beton juga menjadi faktor penentu kualitasnya. Semua faktor ini bersama-sama memainkan peran penting dalam menentukan daya tahan dan kualitas keseluruhan dari sebuah struktur beton.

Beton terbentuk dari campuran air, semen, dan udara, yang umumnya mencakup sekitar 21% dari total komposisi beton. Sisanya terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Campuran beton memiliki perbandingan yang bervariasi, dan setelah mengeras, beton tersebut memperoleh karakteristik dan sifat-sifat yang berbeda. Faktor-faktor seperti perbandingan campuran, metode pembuatan, dan lainnya dapat mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengaturan perbandingan campuran beton menjadi kunci dalam mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan pada material konstruksi tersebut.

Secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok menurut Mulyono (2006) sebagai berikut.

3.1.1 Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.

1. Beton kelas I

Beton kelas I merupakan beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap kekuaran tekan tidak diisyratkan pemeriksaan.

2. Beton Kelas II

Beton kelas II merupakan beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya perlu keahlian-keahlian yang cukup dan dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.

3. Beton Kelas III

Beton kelas III merupakan beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratoriu beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan penawasan mutu beton secara kontinu.

3.1.2 Beton Berdasarkan jenisnya.

1. Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 MPa.

2. Beton Normal

Beton normal merupakan beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan sekitar 15 – 40 MPa.

3. Beton Berat

Beton berat merupakan beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4. Beton Massa (*mass concrete*)

Beton massa digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan massif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi dan jembatan.

3.2 Bahan Campuran Beton

3.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan yang digunakan untuk memberikan kekuatan, stabilitas, dan volume pada beton. Agregat ini biasanya terdiri dari pasir, kerikil, atau batu pecah yang dicampurkan dengan semen dan air untuk membuat campuran beton yang kuat dan tahan lama. Agregat memiliki beberapa fungsi penting dalam campuran beton. Pertama, agregat memberikan kekuatan pada beton. Semakin besar ukuran agregat, semakin besar pula kekuatan beton. Kedua, agregat

membantu mengisi rongga-rongga dalam campuran beton sehingga mengurangi kerapuhan beton dan meningkatkan kekuatannya. Ketiga, agregat memberikan volume pada campuran beton sehingga menghasilkan struktur yang kokoh dan stabil.

Agregat dalam campuran beton biasanya memiliki ukuran yang berbeda-beda, mulai dari yang sangat kecil seperti pasir hingga yang sangat besar seperti batu-batu besar. Ukuran agregat dapat mempengaruhi sifat-sifat campuran beton seperti kekuatan, kerapuhan, dan kekakuan. Oleh karena itu, dalam membuat campuran beton, harus diperhatikan ukuran dan jenis agregat yang digunakan serta proporsi yang tepat agar menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama.

Agregat pada campuran beton harus memenuhi agregat beton ringan berdasarkan ASTM C330M. agregat merupakan material yang menempati 70-75% dari total volume beton yang kualitasnya sangat dipengaruhi terhadap mutu dari beton (Antoni dan Nugraha P, 2007). Agregat juga dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat hanya sebagai material pengisi, akan tetapi agregat sangat mempengaruhi beton yang dihasilkan. Berikut pada tabel 3.3 dapat dilihat pengaruh pada beton cair maupun beton keras.

1. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2847-2019, agregat kasar merupakan material pengisi adukan campuran pada beton. Agregat kasar terdiri dari kerikil yang merupakan hasil dari proses batuan pecah yang memiliki ukuran butir 5,00 samapi 40 mm. Agregat kasar memiliki standart yang menjadi acuan dari persyaratan umum agregat kasar yang dapat digunakan sebagai campuran beton. Persyaratan tersebut diatur dalam SK SNI-S-04-1989-F, persyaratan-persyaratan tersebut sebagai berikut.

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang kuat dan tidak memiliki pori-pori.
- b. Agregat kasar memiliki sifat ketahanan yang tinggi, artinya tidak akan pecah atau hancur karena pengaruh cuaca eksternal, seperti sinar matahari yang terik atau hujan.

- c. Agregat kasar merupakan bahan konstruksi yang dapat berupa kerikil yang berasal dari batuan alam atau batu pecah yang dihasilkan dari pemecah batu.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang bersifat reaktif dan dapat merusak beton, seperti zat alkali yang bersifat reaktif.
- e. Ukuran butiran agregat kasar maksimum harus mematuhi persyaratan tertentu yang disebutkan sebagai berikut: ukuran butiran maksimum tidak boleh melebihi $1/5$ dari jarak terkecil antara dua sisi cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, atau $3/4$ jarak bersih antar tulangan beton.
- f. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika kadar lumpur melebihi angka ini, maka agregat kasar harus dicuci.

Dalam penentuan agregat kasar yang dapat digunakan dalam campuran beton ada beberapa pengujian yang dapat dilakukan sebagai parameter agregat kasar dapat digunakan. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian berat jenis pada agregat kasar adalah prosedur untuk mengukur berat jenis atau kerapatan agregat kasar. Berat jenis adalah perbandingan antara berat agregat kasar dengan berat air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Tujuan utama dari pengujian berat jenis adalah untuk menentukan kerapatan atau bobot relatif agregat kasar terhadap air. Sedangkan, pengujian penyerapan air pada agregat kasar adalah prosedur yang digunakan untuk mengukur kemampuan agregat kasar dalam menyerap air. Penyerapan air adalah parameter penting karena dapat memengaruhi sifat-sifat fisik agregat dan kualitas campuran beton. Pengujian ini adalah parameter penting karena dapat memengaruhi kualitas campuran beton.

- 1) Berat jenis kering permukaan (*Saturated and surface dry/SSD*)

Berat jenis kering permukaan pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kerapatan agregat kasar pada permukaan butiran, yaitu berat dari permukaan agregat kasar yang tidak termasuk pori-pori dan retakan

yang terbuka. Ini adalah satu aspek penting dari berat jenis agregat kasar dan memberikan informasi tambahan tentang kerapatan atau kepadatan agregat tersebut. Perhitungan analisa berat jenis kering permukaan pada agregat kasar pada persamaan 3.1 berikut ini.

$$\text{Berat jenis kering permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.1)$$

Dengan :

B_j = berat kerikil kering mutlak (gram),

B_a = berat kerikil dalam air (gram).

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

Berat jenis semu pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur berat jenis agregat kasar bersama dengan pori-pori yang ada dalam butiran agregat tersebut. Dalam pengertian yang lebih umum, berat jenis semu mencakup ruang pori-pori dan retakan di dalam agregat kasar. Dengan kata lain, berat jenis semu memperhitungkan kerapatan agregat bersama dengan ruang pori-pori yang ada dalam agregat tersebut. Berat jenis semu agregat kasar dapat digunakan untuk memahami sejauh mana agregat kasar akan berinteraksi dengan campuran beton. Semakin tinggi berat jenis semu, semakin sedikit pori-pori yang ada dalam agregat, dan ini dapat berarti bahwa agregat lebih kompak atau padat. Hal ini dapat berdampak positif pada kinerja campuran beton karena agregat yang lebih padat cenderung memberikan struktur yang lebih kuat dan daya tahan yang lebih baik. Perhitungan analisa berat jenis semu pada agregat kasar pada persamaan 3.2 berikut ini.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.2)$$

Dengan :

B_k = berat kerikil kering mutlak (gram),

B_a = berat kerikil dalam air (gram).

3) Berat jenis mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kerapatan atau berat relatif agregat kasar tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam butiran agregat. Dalam kata lain, berat jenis kering mutlak mengukur kerapatan agregat kasar pada tingkat terbesar, yaitu jika semua pori-pori dalam agregat tersebut dihapus atau diisi dengan bahan yang padat. Dalam konteks agregat kasar, berat jenis kering mutlak adalah ukuran kerapatan atau kepadatan agregat kasar dalam keadaan paling padat yang mungkin. Ini adalah parameter penting karena dapat memengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik agregat, serta kinerja campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut. Perhitungan analisa berat jenis mutlak pada agregat kasar pada persamaan 3.3 berikut ini.

$$\text{Berat jenis mutlak} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.3)$$

Dengan :

B_k = berat kerikil kering mutlak (gram),

B_j = berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan/SSD (gram),

B_a = berat kerikil dalam air (gram).

4) Penyerapan air

Penyerapan air pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kemampuan agregat kasar untuk menyerap air. Ini adalah salah satu karakteristik penting dari agregat kasar yang dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut. Penyerapan air mengacu pada berapa banyak air yang dapat diserap oleh agregat kasar dan berapa banyak air yang dapat dipegang oleh pori-pori dan retakan di dalam agregat tersebut. Perhitungan analisa penyerapan air pada agregat kasar pada persamaan 3.4 berikut ini.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \quad (3.4)$$

Dengan :

B_j = berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan/SSD (gram),

B_k = berat kerikil kering mutlak (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat merupakan prosedur pengujian yang digunakan untuk mengukur berat atau massa agregat padat pada kondisi tertentu. Agregat padat mengacu pada agregat yang tidak memiliki ruang pori atau retakan yang berisi udara atau air. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berapa berat dari agregat yang benar-benar padat tanpa adanya ruang kosong. Perhitungan analisa berat isi padat pada agregat kasar pada persamaan 3.5 berikut ini.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{\text{Vol}} \quad (3.5)$$

Dengan :

W = berat agregat (gram),

Vol = volume silinder yang digunakan (cm³).

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian analisis saringan pada agregat kasar adalah salah satu metode pengujian yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat kasar. Metode ini memisahkan agregat kasar menjadi berbagai fraksi berdasarkan ukuran butiran masing-masing. Hal ini penting karena distribusi ukuran butiran agregat dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal, seperti kekuatan, kerapatan, dan tekstur. Perhitungan analisa saringan dan modulus kehalusan pada agregat kasar pada persamaan 3.6 dan 3.7 berikut ini.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma (\% \text{kom}) - 100}{100} \quad (3.7)$$

Dengan :

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

Σ (%kom.) = berat tertinggal kumulatif (%).

2. Agregat Halus

Agregat halus memiliki ukuran butiran yang lebih kecil daripada agregat kasar, umumnya dengan diameter butiran kurang dari 4,75 milimeter (mm). Pasir adalah contoh umum dari agregat halus, dan kualitas pasir sangat penting dalam pembuatan campuran beton yang berkualitas. Agregat halus mempengaruhi sifat-sifat campuran beton, termasuk kekuatan, kerapatan, daya tahan, tekstur, dan kemudahan pengolahan. Agregat halus dalam campuran beton adalah komponen yang terdiri dari pasir alami atau pasir buatan yang memiliki ukuran butiran lebih kecil daripada agregat kasar. Agregat halus digunakan bersama dengan agregat kasar, semen, dan air dalam campuran beton untuk membentuk pasta beton yang dapat mengisi dan mengikat butiran agregat, menciptakan struktur kuat dan tahan lama. Persyaratan agregat halus menurut SNI 03-6821-2002 sebagai berikut.

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras serta tidak mudah rusak oleh cuaca panas atau hujan.
- b. Butiran halus dalam agregat halus harus memiliki sifat kekal, yang berarti mereka tidak akan pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca. Sifat kekal dapat diuji dengan menggunakan larutan garam jenuh, dan jika agregat tahan terhadap natrium sulfat maksimum sebanyak 10% dari beratnya dapat hancur.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Jika kadar lumpur melebihi 5%, maka pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam konstruksi.

Persyaratan ini penting untuk memastikan kualitas dan kinerja agregat halus dalam penelitian ini. Agregat halus yang memenuhi persyaratan tersebut akan membantu dalam menciptakan campuran beton yang kuat, tahan lama, dan sesuai dengan spesifikasi penelitian. Pada penelitian ini,

agregat halus yang digunakan yaitu pasir Merapi. Ada beberapa pengujian yang harus dilakukan sebelum penggunaan agregat halus pasir Merapi ini, pengujian tersebut yaitu sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus

Pengujian berat jenis pada agregat halus adalah prosedur yang digunakan untuk mengukur berat jenis atau kerapatan agregat halus. Berat jenis adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan berat volume yang sama dari air murni pada suhu tertentu. Pengujian berat jenis berguna untuk menilai kerapatan agregat halus, yang dapat memengaruhi sifat-sifat campuran. Sedangkan, Pengujian penyerapan air pada agregat halus adalah prosedur yang digunakan untuk mengukur kemampuan agregat halus untuk menyerap air. Penyerapan air adalah parameter penting karena tingkat penyerapan air dapat memengaruhi kinerja campuran beton atau aspal serta ketahanan agregat terhadap cuaca dan lingkungan.

1) Berat jenis kering permukaan (*saturated and surface dry/SSD*)

Berat jenis kering permukaan pada agregat halus adalah parameter yang mengukur berat jenis atau kerapatan agregat halus pada permukaan butiran, yaitu berat agregat halus yang tidak memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam permukaan butiran agregat. Dalam kata lain, berat jenis kering permukaan mengukur kerapatan agregat halus pada tingkat permukaan tanpa memperhitungkan ruang pori-pori atau retakan yang ada di dalam agregat tersebut. Berat jenis kering permukaan agregat halus adalah salah satu aspek dari berat jenis agregat halus secara keseluruhan. Parameter ini berguna dalam mengevaluasi kerapatan agregat halus pada permukaan butiran, yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beton atau aspal. Ketika permukaan agregat halus padat, itu dapat memiliki dampak positif pada interaksi dengan pasta semen dalam campuran beton. Perhitungan analisa berat jenis kering permukaan pada agregat halus pada persamaan 3.8 berikut ini.

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{B+500 - Bt} \quad (3.8)$$

Dengan :

B = berat piknometer berisi air (gram),

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gram).

2) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak pada agregat halus adalah parameter yang mengukur kerapatan atau berat relatif agregat halus tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam butiran agregat tersebut. Dalam kata lain, berat jenis kering mutlak mengukur kerapatan agregat halus pada tingkat terbesar, yaitu jika semua pori-pori dalam agregat tersebut dihapus atau diisi dengan bahan yang padat. Berat jenis kering mutlak agregat halus adalah salah satu parameter penting yang digunakan dalam pengujian agregat untuk mengevaluasi sifat fisiknya. Pengukuran ini memberikan informasi tentang kerapatan agregat halus tanpa memperhitungkan ruang pori-pori atau retakan dalam butiran. Kerapatan agregat halus dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut. Perhitungan analisa berat jenis kering mutlak pada agregat halus pada persamaan 3.9 berikut ini.

$$\text{Berat jenis kering mutlak} = \frac{Bk}{B+500 - Bt} \quad (3.9)$$

Dengan :

Bk = berat pasir kering mutlak (gram),

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram).

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

Berat jenis semu pada agregat halus adalah parameter yang mengukur berat jenis agregat halus bersama dengan ruang pori-pori yang ada dalam butiran agregat tersebut. Dalam kata lain, berat jenis semu memperhitungkan kerapatan agregat halus bersama dengan pori-pori

yang ada dalam agregat tersebut. Pengukuran berat jenis semu agregat halus adalah cara untuk memperhitungkan pengaruh pori-pori atau ruang kosong dalam agregat terhadap berat jenis agregat secara keseluruhan. Ini adalah parameter yang penting dalam analisis agregat karena dapat memengaruhi kinerja agregat dalam campuran beton. Perhitungan analisa berat jenis kering semu pada agregat halus pada persamaan 3.10 berikut ini.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B+B_k-B_t} \quad (3.10)$$

Dengan :

B_k = berat pasir kering mutlak (gram),

B_t = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram).

4) Penyerapan air

Berat jenis semu pada agregat halus adalah parameter yang mengukur berat jenis agregat halus bersama dengan ruang pori-pori yang ada dalam butiran agregat tersebut. Dalam kata lain, berat jenis semu memperhitungkan kerapatan agregat halus bersama dengan pori-pori yang ada dalam agregat tersebut. Pengukuran berat jenis semu agregat halus adalah cara untuk memperhitungkan pengaruh pori-pori atau ruang kosong dalam agregat terhadap berat jenis agregat secara keseluruhan. Ini adalah parameter yang penting dalam analisis agregat karena dapat memengaruhi kinerja agregat dalam campuran beton. Perhitungan analisa penyerapan air pada agregat halus pada persamaan 3.11 berikut ini.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-B_k}{B_k} \quad (3.11)$$

Dengan :

B_k = berat pasir kering mutlak (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat pada agregat halus adalah prosedur pengujian yang digunakan untuk menentukan berat jenis atau berat isi padat dari agregat halus. Berat isi padat mengukur kerapatan agregat halus pada keadaan terpadat tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam agregat tersebut. Hal ini berguna untuk mengevaluasi kerapatan agregat yang dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton. Perhitungan analisa berat isi padat pada agregat halus pada persamaan 3.12 berikut ini.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{\text{Vol}} \quad (3.12)$$

Dengan :

W = berat agregat (gram),

Vol = volume silinder yang digunakan (cm³).

c. Analisa saringan

Analisis saringan pada agregat halus adalah metode pengujian yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat halus, seperti pasir, dalam sampel yang diberikan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memisahkan agregat halus menjadi berbagai fraksi berdasarkan ukuran butiran masing-masing. Hasil dari analisis saringan akan menunjukkan persentase agregat halus dalam masing-masing fraksi ukuran butiran yang berbeda. Perhitungan analisa saringan dan modulus kehalusan pada agregat halus pada persamaan 3.13 dan 3.14 berikut ini.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.13)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma (\% \text{kom}) - 100}{100} \quad (3.14)$$

Dengan :

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

Σ (%kom.) = berat tertinggal kumulatif (%).

d. Pengujian lolos saringan no.200

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah bahan yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) setelah agregat dicuci hingga air cucian menjadi jernih. Hal ini dilakukan untuk mengukur kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus dan agregat kasar. Lumpur adalah materi halus yang menutupi permukaan butiran agregat dan lolos saringan no. 200. Kandungan kadar lumpur pada permukaan butiran agregat memengaruhi ikatan antara pasta semen dan agregat dalam campuran beton atau aspal. Kadar lumpur yang tinggi dapat mengurangi kekuatan, ketahanan, dan kualitas campuran. Lumpur dan debu halus yang dihasilkan dari pemecahan batu adalah partikel berukuran sangat kecil. Kandungan lumpur dan tanah liat dalam agregat dapat memengaruhi konsumsi air dalam pencampuran beton. Hal ini juga dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dan agregat, mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Selain itu, dapat menyebabkan penyusutan dan creep yang berlebihan pada beton. SNI 03-2461-2002 menetapkan batasan kadar lumpur dalam agregat. Kadar lumpur yang diperbolehkan adalah tidak lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar. Ini adalah standar yang harus dipatuhi untuk memastikan kualitas campuran beton yang baik. Perhitungan analisa kandungan lumpur pada agregat halus pada persamaan 3.15 dan dapat dilihat pengaruh sifat agregat pada sifat beton pada tabel 3.3 berikut ini.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.15)$$

Dengan:

W1 = berat agregat halus kering oven (gram),

W2 = berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton

Sifat Agregat	Pengaruh	Sifat
Bentuk, tekstur dan gradasi	Beton cair	Kelecekan pengikatan dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, dan mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, dan ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber: Antoni dan Nugraha P (2007)

3.2.2 Semen Portland

Semen Portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan dalam konstruksi bangunan. Semen Portland dibuat dari bahan utama yaitu batu kapur, tanah liat, pasir besi, dan bijih besi yang dicampurkan dalam proporsi tertentu dan dipanaskan pada suhu tinggi dalam kiln hingga mencapai tahap kalsinasi atau pembakaran. Setelah proses pembakaran, bahan mentah tersebut dihasilkan menjadi klinker yang kemudian dihaluskan menjadi bubuk halus berwarna abu-abu. Bubuk semen Portland ini dicampur dengan air untuk membentuk pasta semen yang kemudian digunakan untuk menempelkan batu bata, beton, atau bahan bangunan lainnya.

Keunggulan semen portland antara lain adalah kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan, serta kemampuan untuk mengeras dan mengikat dengan kuat ke permukaan yang ditemelinya. Selain itu, semen portland juga mudah ditemukan di pasaran dan harganya relatif terjangkau. Semen portland memiliki beberapa jenis, yaitu:

1. semen portland tipe I: digunakan untuk konstruksi bangunan umum,
2. semen portland tipe II: digunakan untuk konstruksi bangunan yang terkena sulfat,
3. semen portland tipe III: digunakan untuk konstruksi bangunan dengan kecepatan pengeringan yang cepat,
4. semen portland tipe IV: digunakan untuk konstruksi bangunan dengan tingkat keamanan yang tinggi seperti bendungan atau Pelabuhan,

5. semen portland tipe V: digunakan untuk konstruksi bangunan yang terkena sulfat tinggi.

Dalam penggunaannya, harus diperhatikan proporsi campuran semen Portland dengan agregat dan air yang tepat agar menghasilkan campuran beton yang kuat dan tahan lama.

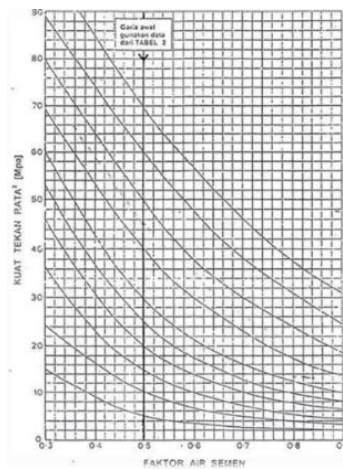
3.3.3 Air

Air adalah bahan yang sangat penting dalam campuran beton karena air digunakan untuk mereaksikan semen dan membentuk pasta semen yang mengikat agregat dan memberikan kekuatan pada beton. Tanpa air, semen tidak dapat mengeras dan membentuk beton yang kuat dan tahan lama. Namun, penggunaan air yang berlebihan dalam campuran beton juga dapat berdampak buruk pada kekuatan dan kualitas beton. Jumlah air yang terlalu banyak dalam campuran beton dapat menyebabkan beton menjadi lebih lunak dan mudah retak, serta mempercepat waktu pengeringan dan penuaan beton.

Untuk menghasilkan campuran beton yang kuat dan tahan lama, sebaiknya penggunaan air dalam campuran beton harus diatur dengan cermat. Jumlah air yang digunakan harus diukur dengan tepat dan harus disesuaikan dengan jenis semen dan agregat yang digunakan. Selain itu, sebaiknya air yang digunakan dalam campuran beton bersih dan bebas dari bahan-bahan lain yang dapat merusak kualitas beton. Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan jumlah air yang tepat dalam campuran beton, antara lain:

1. Jenis semen yang digunakan
2. Jenis dan ukuran agregat yang digunakan
3. Tekstur dan konsistensi campuran beton yang diinginkan
4. Lingkungan sekitar tempat pengerjaan beton (misalnya suhu udara, kelembapan udara, dan waktu pengeringan yang tersedia)

Pemakaian air dalam campuran beton disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lapangan, sebaiknya dengan memperhatikan rekomendasi dari produsen semen dan agregat yang digunakan. Dibawah ini dapat dilihat pada gambar 3.1 merupakan grafik hubungan FAS dengan kuat tekan beton.



Gambar 3. 1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton adalah proses merancang dan mengembangkan komposisi campuran beton yang sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi tertentu. Tujuan utama dari perencanaan campuran beton adalah menciptakan campuran yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan, seperti kekuatan, daya tahan, kerapatan, dan sifat mekanik lainnya, yang sesuai dengan spesifikasi proyek dan persyaratan lingkungan. Pencampuran beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang tata cara rencana pembuatan campuran beton normal.

Perlu diingat bahwa proporsi campuran beton yang tepat harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran agregat yang digunakan, serta faktor-faktor lingkungan dan teknis lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas beton ringan. Oleh karena itu, sebaiknya mengacu pada SNI yang telah berlaku tentang beton normal serta memperhatikan faktor-faktor penting lainnya seperti konsistensi campuran, kekuatan beton yang dibutuhkan, dan penggunaan beton pada kondisi lingkungan tertentu. Pemilihan proporsi campuran beton memiliki ketentuan-ketentuan yang telah diatur dalam SNI 03-2834 tahun 2000.

- a. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan beton terhadap berat jenis dan berat jenis terhadap jumlah fraksi agregat.
- b. Kuat hancur agregat tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan.

Pada pemilihan proporsi campuran beton diperlukan juga perhitungan didalamnya. Perhitungan tersebut meliputi kuat tekan rata-rata yang ditargetkan, berat isi beton yang disyaratkan, pemilihan agregat ringan, proporsi campuran beton ringan, koreksi proporsi campuran. tata cara perencanaan proporsi campuran beton normal tersebut tersebut sebagai berikut.

1. Kuat tekan yang diisyaratkan

Kuat tekan yang diisyaratkan merupakan kuat tekan yang akan direncanakan pada perencanaan di umur 28 hari ($f'c$). Kuat tekan ini sebagai patokan awal perencanaan campuran beton yang akan dipergunakan dalam pembuatan beton

2. Deviasi standar

Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton adalah sebuah ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur variabilitas atau sebaran data pada kuat tekan rata-rata beton. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton menunjukkan seberapa jauh kuat tekan rata-rata beton dari nilai rata-rata yang diharapkan. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton dihitung dengan mengukur kuat tekan beton dari sejumlah sampel beton, kemudian menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar dari sampel-sampel tersebut. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton dapat memberikan informasi penting mengenai seberapa homogen beton yang dihasilkan dan seberapa besar variasi kuat tekan beton yang dihasilkan dari campuran beton yang sama. Menurut SNI 03-2834 (2000) deviasi standar yang didapat dari pengalaman dilapangan selama produksi beton menurut rumus:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}}{n-1} \quad (3.16)$$

Dengan :

S = Deviasi standar.

x_i = Kuat tekan beton ringan yang didapat dari masing-masing benda uji.

x = Kuat tekan beton rata-rata.

n = Jumlah nilai hasil uji yang harus diambil minimum 30 buah yang

Dua hasil benda uji yang akan digunakan, untuk menghitung deviasi standar mempunyai persyaratan sebagai berikut.

- a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton yang diisyaratkan $f'c$ yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai fcr yang ditentukan.
- c. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang diurutkan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- d. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi poin a, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali pada tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3. 2 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Yang Tersedia Kurang

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI-03-2834-2000

- e. Bila data uji lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan $f'cr$ harus diambil tidak kurang dari ($f'c + 12$ MPa)
3. Nilai tambah
- Nilai tambah dihitung dengan rumus:

$$M = k \times s \quad (3.17)$$

Dimana:

M = nilai tambah.

K = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase hasil uji yang lebih rendah dari $f'c$, c. Dalam hal ini diambil 5% dan nilai $k = 1,64$.

s = deviasi standar.

4. Kuat tekan rata-rata

$$f'cr = f'c + M \quad (3.18)$$

dengan:

$f'cr$ = Kuat tekan beton rata-rata (MPa),

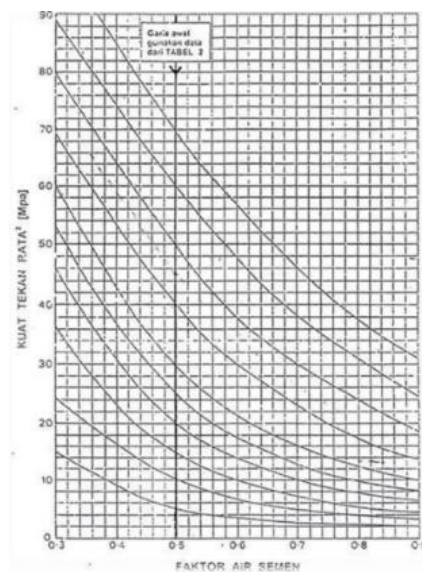
$f'c$ = kuat tekan beton yang direncanakan (Mpa),

M = Nilai tambah/margin (MPa)

5. Pemilihan Faktor Air Semen

Menurut SNI 2834 (2000), pemilihan faktor air semen diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan yang didasarkan oleh:

- Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data .
- Penentuan faktor air semen didasarkan pada grafik 3.2 dibawah ini hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji dengan bentuk doolinder 150 mm dan tinggi 300 mm).



Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata dan FAS
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

- c. Penentuan kuat tekan rata-rata untuk melakukan target dari grafik yang akan dibuat merupakan diambil dari tabel 3.5 tentang perkiraan kuat tekan beton dari SNI-03-2834-2000 dibawah ini.

Tabel 3. 3 Tabel Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang di Pakai

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI-03-2834-2000

- d. Setelah menegetahui FAS yang dari tabel dan grafik yang digunakan menurut SNI-03-2834-2000 dapat ditentukan FAS maksimum yang akan digunakan menurut tabel yang ada di SN-03-2834-2000. Gambar 3.3 tentang tabel tersebut dapat dilihat dibawah ini.

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

Gambar 3. 3 Tabel Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jumlah Semen Maksimum dari Jenis Lokasi Pembetonan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

6. Penentuan Nilai Slump
Menurut SNI-03-2834-2000, nilai slump ditentukan dengan kondisi pelaksanaan di lapangan sehingga diperoleh beton yang mudah untuk dikerjakan dan dituangkan, didapatkan dan diratakan.
7. Penentuan Ukuran Agregat Maksimum
Menurut SNI-03-2834-2000, ukuran atau besar butir agregat maksimum dipilih dengan persyaratan yang tidak boleh melebihi:
 - a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
 - b. Sepertiga dari tebal pelat,
 - c. Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.
8. Penentuan Kadar Air Bebas
Penentuan kadar air bebas dilakukan untuk mengetahui seberapa kadar air yang digunakan dengan perkiraan jumlah agregat yang dipakai. Kadar air bebas menurut SNI-03-2834-2000 dapat ditentukan dengan:

- a. Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada grafik penentuan slump dan pada tabel 3.6 dibawah ini merupakan tabel penentuan kadar air bebas,

Tabel 3. 4 Tabel Penentuan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan Berdasarkan Penentuan Nilai Slump

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

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

- b. Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.19)$$

dengan:

W = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³),

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

9. Penentuan Kebutuhan Semen

Penentuan kadar kebutuhan semen ini digunakan untuk penentuan kebutuhan pengikat hidrolis pada beton. Penentuna kebutuhan kadar semen dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut. Perhitungan kebutuhan semen, digunakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{fas} \quad (3.20)$$

dengan:

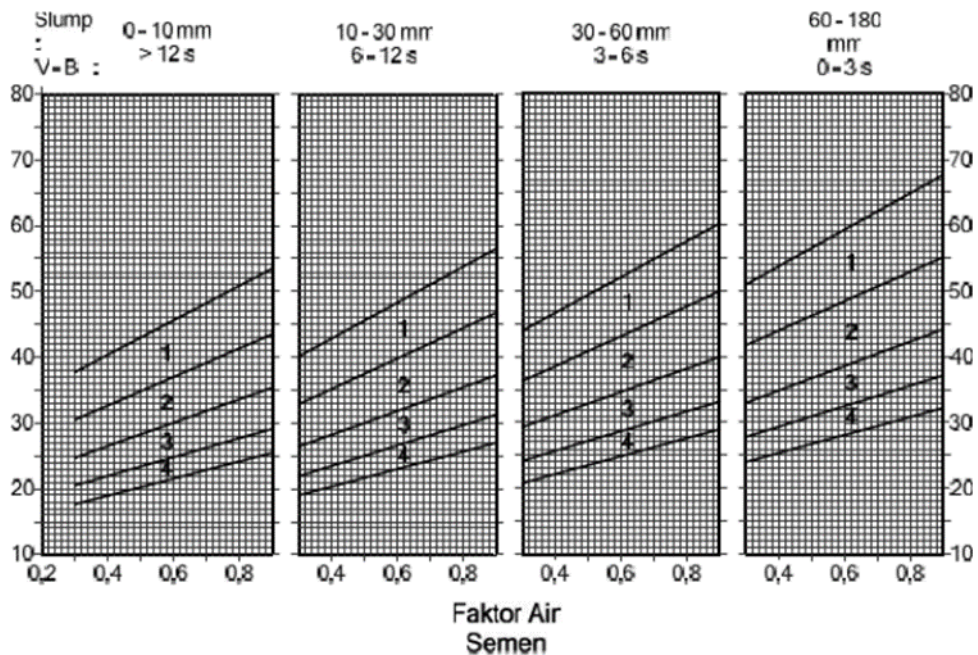
W_{semen} = jumlah semen yang dibutuhkan,

W_{air} = jumlah air yang dibutuhkan,

Fas = nilai fas yang digunakan.

10. Penentuan Persentase Jumlah Agregat Halus

Penentuan jumlah agregat halus menurut SNI-03-2834-2000 ditentukan dengan menggunakan penggunaan besar ukuran agregat maksimum dari agregat kasar, nilai slump, daerah gradasi agregat halus dan faktor air semen. Penentuan persentase jumlah agregat halus menggunakan gambar 3.4 grafik dibawah ini.



Gambar 3. 4 Persentase Agregat Halus dengan Ukuran Butir Agragt Kasar Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

11. Penentuan Berat Jenis Relatif Gabungan

Penentuan berat jenis relative gabungan antara agregat digunakan persamaan untuk menentukan berat jenis relative gabungannya. Persamaan tersebut dapat dilihat dibawah ini.

$$Bj_{gabungan} = \%AH \times Bj_{halus} + \%AK \times Bj_{kasar} \quad (3.21)$$

dengan:

$Bj_{gabungan}$ = berat jenis agregat gabungan,

Bj_{halus} = berat jenis agregat halus,

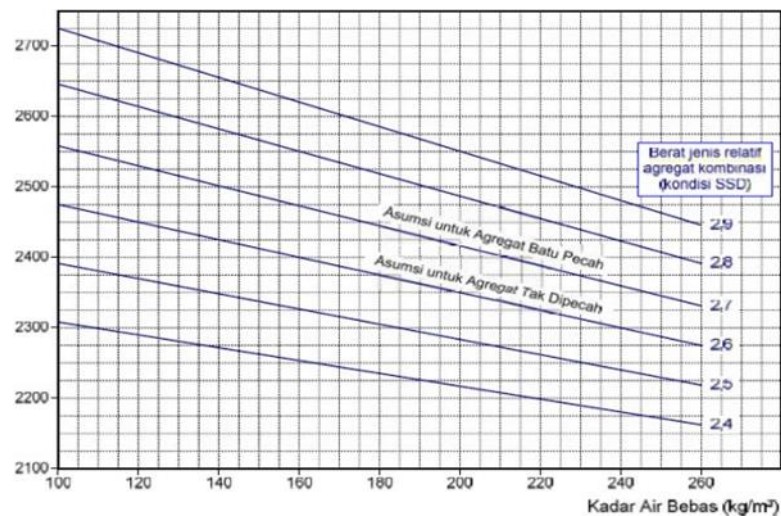
Bj_{kasar} = berat jenis agregat kasar,

%AH = persen agregat halus,

%AK = persen agregat kasar.

12. Penentuan Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton digunakan untuk mengetahui perkiraan berat dari seluruh campuran dalam beton. Untuk menentukan berat isi beton dapat menggunakan gambar 3.5 grafik dibawah ini.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

13. Penentuan Proporsi Campuran Beton

Penentuan proporsi campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$W_{halus} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AH \quad (3.22)$$

$$W_{kasar} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AK \quad (3.23)$$

dengan:

W_{halus} = berat isi beton,

W_{halus} = berat semen,

W_{halus} = berat air,

%AH = persen agregat halus,

%AK = persen agregat kasar.

14. Penentuan Berat Volume beton

Penentuan berat volume beton didapatkan dengan membandingkan antara berat beton dan volume beton. Berat volume beton dapat diketahui dengan persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$\text{Berat Volume} = \frac{\text{Berat Beton (kg)}}{\text{Volume Beton (m}^3\text{)}} \quad (3.24)$$

dengan:

D = diameter silinder (m),

T = tinggi silinder (m³)

3.4 Pemanfaatan Limbah Kertas

Kertas adalah salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan dari berbagai industri seperti pencetakan, percetakan, dan kemasan. Limbah kertas dapat mencakup berbagai jenis kertas seperti koran, kertas hvs, karton, kertas kemasan, dan lain sebagainya. Sebagai limbah padat, kertas dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik, terutama jika dikumpulkan dan dibuang secara tidak teratur. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kertas menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut.

Salah satu cara paling efektif untuk memanfaatkan limbah kertas adalah dengan mendaur ulang atau *recycling* kertas. Dalam proses *recycling*, kertas limbah diolah kembali menjadi kertas baru yang dapat digunakan kembali. Proses *recycling* dapat mengurangi jumlah limbah kertas yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) dan mengurangi pemanfaatan sumber daya alam yang digunakan dalam pembuatan kertas baru. Daur ulang kertas tidak selamanya merubah kertas lama menjadi kertas baru. Semakin majunya teknologi dan pengembangan semakin banyak juga pemanfaatan limbah menjadi bahan yang lebih berguna. Salah satunya yaitu menjadikan limbah kertas menjadi salah satu bahan konstruksi yang bisa bermanfaat bagi khalayak ramai dan jangka panjang.

Kertas adalah produk yang terbuat dari serat selulosa, yang diperoleh dari kayu atau bahan tanaman lainnya seperti kapas atau serat tumbuhan lainnya. Zat

yang terkandung dalam kertas meliputi serat selulosa, lignin, resin, dan bahan pengisi.

1. Serat selulosa: Serat selulosa adalah bahan utama yang digunakan untuk membuat kertas. Serat ini diperoleh dari kayu atau bahan tanaman lainnya dan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kertas. Serat selulosa yang digunakan dalam pembuatan kertas harus memiliki kualitas yang baik, yaitu memiliki panjang, kekuatan, dan kehalusan yang sesuai dengan jenis kertas yang dibuat.
2. Lignin: Lignin adalah bahan pengikat yang terdapat pada serat kayu. Meskipun lignin memberikan kekuatan pada kayu, tetapi jika terdapat dalam kertas, dapat menyebabkan kertas mudah rusak dan berubah warna. Oleh karena itu, dalam pembuatan kertas, lignin dihilangkan atau dikurangi dengan proses pemutihan atau bleaching.
3. Resin: Resin adalah bahan yang terkandung dalam kayu dan berfungsi untuk memberikan kekuatan dan kekakuan pada kayu. Resin dapat mengganggu proses pemutihan atau bleaching pada pembuatan kertas, sehingga perlu dihilangkan atau dikurangi.
4. Bahan pengisi: Bahan pengisi digunakan untuk meningkatkan ketebalan dan kehalusan kertas, serta untuk mengurangi biaya pembuatan kertas. Bahan pengisi yang digunakan dapat berupa kaolin, kalsium karbonat, atau titanium dioksida.

Dalam proses pembuatan kertas, limbah kertas dapat dihasilkan dari proses pemotongan, penggilingan, atau pemutihan. Limbah kertas tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan baku untuk industri lainnya seperti bahan pengganti agregat halus pada beton ringan.

3.5 Kertas Sebagai Pengganti Bahan Kontruksi

Limbah kertas dapat digunakan sebagai pengganti bahan konstruksi dalam beberapa cara, seperti pembuatan beton kertas, panel dinding kertas, dan bahan isolasi. Beton kertas dibuat dari campuran agregat, semen, limbah kertas yang dicampur dengan air dan dicetak menjadi beton. Beton kertas ini cukup kuat untuk

digunakan dalam konstruksi, namun harganya lebih murah dibandingkan bata konvensional. Panel dinding kertas dibuat dengan menggabungkan serat kertas bekas, seperti koran atau karton, dengan bahan perekat alami seperti pati jagung atau lem kayu. Panel dinding kertas ini cukup kuat dan tahan air, serta mudah diinstal dan dihias. Bahan isolasi kertas dapat digunakan sebagai pengganti bahan isolasi konvensional seperti fiberglass atau wol mineral. Bahan isolasi kertas terbuat dari kertas bekas yang dihancurkan menjadi serat-serat halus dan kemudian diikat bersama dengan bahan perekat. Bahan ini dapat digunakan untuk mengurangi suara dan meningkatkan efisiensi energi di dalam bangunan.

Penggunaan limbah kertas sebagai pengganti bahan konstruksi dapat membantu mengurangi limbah kertas yang dibuang ke tempat pembuangan sampah, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah kertas. Selain itu, penggunaan limbah kertas juga dapat membantu mengurangi penggunaan bahan konstruksi konvensional yang lebih mahal dan lebih berbahaya bagi lingkungan.

Limbah kertas dapat digunakan sebagai bahan pengganti campuran beton ringan dengan cara membuat bubur kertas yang dijadikan bubuk kertas. Beton kertas memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan beton normal karena kandungan kertas bekas yang digunakan. Namun, beton kertas ini cukup kuat untuk digunakan dalam konstruksi ringan seperti pembuatan dinding, partisi, dan pagar.

Untuk membuat beton kertas, limbah kertas terlebih dahulu dicacah menjadi serbuk halus. Serbuk kertas ini kemudian direndam 24 jam menggunakan air bersih kemudian diblender dan dikeringkan sehingga menjadi bubuk kertas. Bubuk kertas tersebut sebagai pengganti Sebagian dari berat pasir yang digunakan Air ditambahkan ke dalam campuran tersebut dan kemudian dicetak menjadi beton ringan. Keuntungan dari penggunaan limbah kertas sebagai bahan pengganti campuran beton ringan adalah tahan api dan tahan suara, sehingga cocok untuk digunakan sebagai bahan konstruksi pada bangunan yang memerlukan perlindungan terhadap api dan kebisingan.

3.6 Kertas Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Pada Campuran Beton Ringan

Kertas dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton ringan. Agregat halus biasanya terdiri dari pasir dan debu batu. Namun, penggunaan kertas sebagai bahan pengganti dapat memberikan manfaat dalam hal keberlanjutan dan efisiensi. Penggunaan kertas sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dapat mengurangi jumlah limbah kertas yang dibuang ke tempat pembuangan sampah, sehingga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah kertas. Selain itu, penggunaan kertas sebagai bahan pengganti juga dapat mengurangi penggunaan pasir dan batu yang semakin sulit didapatkan dan semakin mahal harganya.

Untuk membuat campuran beton ringan dengan penggunaan kertas sebagai bahan pengganti, kertas terlebih dahulu dicacah menjadi serpihan kecil. Serpihan kertas ini kemudian dicampur dengan pasir dan semen dalam perbandingan tertentu. Air ditambahkan ke dalam campuran tersebut dan kemudian dicetak menjadi beton ringan. Namun, penggunaan kertas sebagai bahan pengganti harus dilakukan dengan hati-hati karena kertas tidak memiliki kekuatan seperti pasir dan batu. Penggunaan kertas dalam jumlah yang terlalu banyak dapat mengurangi kekuatan beton ringan.

Campuran beton ringan yang mengandung kertas sebagai bahan pengganti dapat memiliki berat yang lebih ringan dan daya dukung yang lebih rendah daripada campuran beton konvensional. Namun, penggunaan kertas juga dapat memberikan keuntungan tambahan, seperti sifat isolasi termal dan akustik yang lebih baik serta ramah lingkungan.

Meskipun penggunaan kertas sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton ringan memiliki potensi keuntungan, namun perlu dilakukan uji coba terlebih dahulu untuk memastikan bahwa campuran beton yang dihasilkan memenuhi standar dan memiliki sifat yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi konstruksi.

3.7 Uji Slump

Uji slump pada beton adalah salah satu metode pengujian yang dilakukan untuk menentukan kekonsistenan beton segar. Uji ini biasanya dilakukan di lapangan atau di laboratorium konstruksi pada saat pembuatan beton segar. Uji slump dilakukan dengan memasukkan beton segar ke dalam sebuah alat uji berbentuk kerucut yang terdiri dari tiga bagian yaitu kerucut bawah, kerucut tengah, dan kerucut atas. Beton kemudian dipadatkan dengan cara dipukul-pukul dan diratakan permukaannya. Setelah itu, kerucut atas diangkat secara perlahan dan kemudian diukur jarak jatuhnya. Jarak jatuhnya ini disebut dengan nilai slump atau kekonsistenan slump.

Nilai slump menunjukkan kekonsistenan beton segar. Jika nilai slump rendah, artinya beton segar tersebut lebih kental dan tidak mudah mengalir. Sedangkan jika nilai slump tinggi, artinya beton segar tersebut lebih encer dan mudah mengalir. Nilai slump yang ideal akan tergantung pada jenis konstruksi yang dibuat, dan umumnya berkisar antara 10-12 cm.

Hasil dari uji slump pada beton berguna untuk menentukan kualitas beton dan memastikan bahwa campuran beton yang dihasilkan memiliki konsistensi yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi konstruksi. Uji slump juga membantu mengidentifikasi apakah campuran beton perlu ditambah atau dikurangi kandungan airnya untuk mencapai konsistensi yang optimal.

3.8 Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength*)

Uji kuat tekan beton adalah salah satu metode pengujian yang dilakukan untuk menentukan kekuatan beton. Uji ini biasanya dilakukan di laboratorium konstruksi pada beton yang sudah mengeras. Uji kuat tekan dilakukan dengan cara memotong sampel beton segar dan menempatkannya dalam sebuah mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*). Sampel beton kemudian diberi beban tekan secara perlahan-lahan hingga sampai pada titik pecah. Kekuatan yang dibutuhkan untuk merusakkan sampel beton kemudian diukur dalam satuan Newton per milimeter persegi (N/mm²) atau dalam satuan megapascal (MPa).

Hasil dari uji kuat tekan beton dapat digunakan untuk menentukan kualitas beton dan memastikan bahwa beton yang digunakan dalam konstruksi memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan beban yang diterimanya. Selain itu, hasil dari uji kuat tekan beton juga berguna untuk mengevaluasi kualitas campuran beton, jenis pengisi yang digunakan, waktu pengeringan, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kekuatan beton.

Standar kuat tekan beton bervariasi tergantung pada jenis konstruksi dan aplikasi yang digunakan. Misalnya, untuk bangunan rumah tangga, standar kuat tekan beton umumnya berkisar antara 17-30 MPa, sedangkan untuk bangunan bertingkat tinggi atau jembatan, standar kuat tekan beton biasanya lebih tinggi, berkisar antara 30-60 MPa.

Mulyono. T (2004) mengatakan, pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui akan kekuatan tekan beton ringan pada umur 28 hari apakah sesuai standar yang telah disyaratkan atau tidak.

Tabel 3. 5 Hubungan Antara Umur Beton dan Kuat Tekan Beton

Umur (hari)	Kuat Tekan Beton (%)
7	65
14	88
21	95
28	100

Sumber: Mulyono. T (2004)

Dalam tabel 3.7 di atas diketahui bahwa, umur pada beton juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Maka biasanya pengujian yang dilakukan pada penelitian kuat tekan beton dilakukan tidak hanya dilakukan dalam umur beton 28 saja untuk mengetahui nilai kadar optimum pada beton.

Nilai kuat tekan didapatkan dengan melakukan uji tekan dengan mesin uji tekan. Menurut SNI 1974 (2011), kuat tekan beton didapatkan dengan persamaan yang berpengaruh dengan hasil pengujian di laboratorium dengan sampel beton. Berikut merupakan persamaan 3.25 yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.25)$$

Dengan :

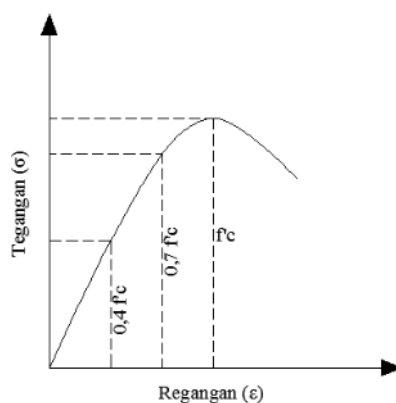
$f'c$ = kuat tekan (MPa),

P = beban tekan (N),

A = luas penampang benda uji (mm^2).

3.9 Modulus Elastisitas Beton

Menurut Nawy (1990), pengetahuan tentang hubungan antara tegangan dan regangan beton merupakan suatu keharusan agar dapat menghasilkan persamaan-persamaan analisis dan desain yang diperlukan, serta prosedur-prosedur yang relevan dalam konteks struktur beton. Modulus elastisitas beton, yang juga dikenal sebagai *modulus Young*, merujuk pada perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi elastis. Dengan demikian, modulus elastisitas mencerminkan kemampuan suatu material untuk mengalami perubahan bentuk dan kembali ke bentuk asalnya ketika dikenai beban pada benda uji. Modulus elastisitas digunakan sebagai indikator kekakuan suatu material, sehingga semakin besar nilai modulusnya, semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi ketika material diberi gaya, dan semakin kecil regangan elastis yang terjadi, menunjukkan karakteristik kekakuan yang lebih tinggi (SNI 2826-2008). Perbandingan tegangan dan regangan dapat dilihat dengan hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 3.6 Betikut ini.



Gambar 3. 6 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

(Sumber: Nawy (1990))

Analisis modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan menurut SNI-2847-2019 pasal 19.2.2, beton normal dengan W_c antara 1440 – 2560 kg/m³. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.26 dan 3.27 sebagai berikut.

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.26)$$

Dan,

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.27)$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa),

W_c = Berat isi beton (kg/m³).

Adapun perhitungan nilai modulus elastisitas pada pengujian menggunakan rumus dari ASTM C-469. Pada pengujian dilakukan olah data dan analisis perhitungan seperti persamaan sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad (3.28)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa),

S_1 = kuat tekan beton pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_2 = 0.00005$,

S_2 = kuat tekan beton pada saat 40% dari beban maksimum (MPa),

ε_2 = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2 .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan:

ΔL = deformasi longitudinal (mm),

L_0 = tinggi efektif pengukuran (mm).

3.10 Kuat Tarik Belah Beton

Uji kuat tarik pada pengujian silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm dan panjang 30 cm menggunakan mesin yang sama dengan pengujian kuat tekan beton. Pengujian ini dilakukan dengan benda uji diletakkan di alat uji secara memanjang atau horizontal, kemudian benda uji ditekan sambil diberi beban secara merata tegak lurus dari atas keseluruhan panjang silinder. Berdasarkan SNI 03-2491-2014, untuk menganalisis kuat tarik/belah dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan, persamaan tersebut terdapat di persamaan 3.28 berikut ini.

$$f_{ct} = \frac{2.P}{\pi.D.L} \quad (3.28)$$

dengan:

f_{ct} = Kuat tarik/belah beton pada umur 28 hari (MPa),

P = Beban maksimum (N),

L = Tinggi silinder beton (mm), dan

D = diameter silinder beton (mm).

3.11 Penyerapan Air Beton

Penyerapan air adalah proses di mana beton menyerap sejumlah air tertentu. Kehadiran agregat atau bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan beton dapat menjadi faktor utama yang mempengaruhi tingkat penyerapan air. Untuk mengukur penyerapan air, kita dapat menggunakan persamaan 3.29 yang telah disediakan dalam pengujian yang relevan.

$$W = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100\% \quad (3.29)$$

dengan:

W = Persentase Penyerapan air

W_w = Berat beton SSD (Kg)

W_s = Berat beton kering (Kg)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah cara atau prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data dalam rangka memecahkan masalah atau menjawab pertanyaan penelitian. Metode penelitian ini mencakup berbagai teknik dan alat yang digunakan untuk mengumpulkan data seperti survei, wawancara, observasi, eksperimen, studi kasus, dan sebagainya. Tujuan dari metode penelitian adalah untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari penelitian dapat diandalkan dan dapat dijadikan dasar untuk mengambil kesimpulan atau membuat rekomendasi. Oleh karena itu, metode penelitian harus memenuhi prinsip-prinsip penelitian yang baik seperti validitas, reliabilitas, dan generalisasi.

Pada penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Dalam penelitian eksperimen, peneliti melakukan pengamatan secara sistematis terhadap dua kelompok atau lebih yang dibandingkan dengan cara mengubah satu variabel independen pada kelompok eksperimen, sedangkan kelompok kontrol tetap tidak berubah. Hasil dari penelitian eksperimen dianggap lebih dapat diandalkan karena adanya kontrol atas variabel-variabel lain yang mungkin mempengaruhi hasil penelitian. Benda uji pada penelitian ini yaitu beton ringan dengan menggunakan 0%, 15%, 35%, dan 45% pengganti sebagian agregat halus dengan menggunakan *Paper Pulp* kedalam campuran beton ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paperpulp sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan beton.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah sebuah konsep, sifat, atau karakteristik yang dapat diukur, diamati, atau dimanipulasi dalam sebuah penelitian. Variabel-variabel ini dapat mempengaruhi hasil penelitian dan merupakan faktor yang penting dalam

menentukan arah dan kesimpulan dari penelitian. Berikut merupakan variable penelitian ini.

1. Variabel Independen atau variabel bebas

variabel yang diubah atau dimanipulasi dalam penelitian dan mempengaruhi variabel terikat. Variabel ini juga sering disebut sebagai variabel penyebab atau faktor risiko dalam penelitian. Variabel independent pada penelitian ini yaitu kadar substitusi parsial paperpulp terhadap agregat halus dalam campuran beton.

2. Variabel Terikat

variabel yang diukur atau diamati dalam penelitian dan dipengaruhi oleh variabel independen. Variabel ini juga sering disebut sebagai variabel hasil atau efek dalam penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah karakteristik beton dan kuat tekan beton.

3. Variabel Kontrol

Variabel yang dapat mempengaruhi hubungan antara variabel independen dan variabel terikat. Variabel kontrol dapat memperlemah atau memperkuat hubungan antara kedua variabel utama dalam penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu kuat tekan beton rencana (f^c) dan dimensi benda uji.

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Agregat halus pada penelitian ini berasal dari sungai progo, DI Yogyakarta dengan dilakukan analisi saringan agregat halus terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat.



Gambar 4. 1 Agregat Halus

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu batu pecah dengan maksimum berdiameter 20mm dari Clereng, DI Yogyakarta.



Gambar 4. 2 Agregat Kasar

3. Semen *Portland*

Semen porland pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengikat. Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen *Portland* tipe I dengan merek tiga roda dengan berat 40kg.



Gambar 4. 3 Semen Portland

4. Air

Air pada penelitian ini menggunakan air yang berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan secara visual bersih dan tidak mengandung benda-benda lain didalamnya.



Gambar 4. 4 Air

5. Bahan Pengganti Agregat Halus

Bahan Pengganti yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kertas HVS dari limbah perusahaan kertas PT. Pindo deli pulp. Kertas di olah dari perusahaan untuk menghilangkan limbah B3.

4.4 Alat yang Digunakan

Penelitian ini juga memerlukan alat untuk melakukan pengujian didalamnya. Alat yang digunakan tersebut sebagai berikut.

1. Saringan Agregat

Saringan agregat adalah alat yang digunakan untuk memisahkan agregat (bahan kasar seperti pasir, kerikil, batu pecah, dll.) menjadi berbagai ukuran partikel yang berbeda. Alat ini terdiri dari beberapa lapisan saringan yang memiliki ukuran lubang yang berbeda-beda.

Proses pemisahan pada saringan agregat biasanya dilakukan dengan cara mengayak bahan tersebut melalui lapisan saringan. Partikel-partikel yang lebih kecil akan lolos melalui lubang-lubang pada saringan yang lebih besar, sedangkan partikel-partikel yang lebih besar akan terperangkap di atas lapisan saringan yang lebih halus.



Gambar 4. 5 Saringan Agregat

2. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat atau massa suatu benda atau substansi. Timbangan memiliki berbagai jenis dan digunakan dalam berbagai macam aplikasi, dari aplikasi kecil seperti mengukur berat bahan penelitian.



Gambar 4. 6 Timbangan

3. Oven

Oven merupakan alat yang digunakan untuk mengeringkan sampel beton atau bahan beton lainnya pada suhu dan waktu yang ditentukan sebelum melakukan pengujian fisik dan mekanik pada bahan tersebut. Oven digunakan untuk memastikan bahwa sampel beton dalam kondisi kering dan stabil sebelum pengujian dilakukan, sehingga hasil pengujian dapat lebih akurat dan konsisten.

Proses pengeringan sampel beton pada oven dilakukan dengan memanaskan sampel pada suhu tertentu, biasanya antara 60-70 derajat Celsius, selama beberapa jam atau hari tergantung pada ukuran dan jenis sampel beton yang akan diuji. Pengeringan dengan oven bertujuan untuk menghilangkan kelembaban dari sampel beton dan membantu mengurangi pengaruh kelembaban dalam pengujian yang dapat memengaruhi keakuratan hasil.



Gambar 4. 7 Oven

4. Piknometer

Piknometer adalah alat laboratorium yang digunakan untuk mengukur kerapatan atau densitas suatu cairan atau zat padat. Alat ini berbentuk tabung atau botol yang terbuat dari kaca atau bahan lain yang tahan terhadap bahan yang akan diukur densitasnya. Piknometer juga dilengkapi dengan tutup dan pengukur volume yang biasanya terukir di badan tabung atau botolnya.



Gambar 4. 8 Piknometer

5. Sekop

Sekop atau corong beton adalah alat yang digunakan untuk mencampurkan adukan beton dan memindahkan campuran beton dari tempat pencampuran ke tempat pengecoran. Sekop biasanya terbuat dari logam atau plastik dengan pegangan yang ergonomis untuk memudahkan penggunaannya.



Gambar 4. 9 Sekop

6. *Concrete Mixer*

Concrete mixer atau mesin pencampur beton adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan konstituen beton, yaitu agregat kasar, agregat halus, semen, dan air, menjadi campuran beton yang homogen dan konsisten. Mesin pencampur beton umumnya terdiri dari sebuah drum atau tabung yang berputar di sekitar porosnya, dan memiliki sudut kemiringan yang memungkinkan bahan-bahan konstituen untuk dicampur secara efektif.

Pada saat mesin pencampur beton dinyalakan, drum akan berputar dengan kecepatan yang stabil, dan bahan-bahan konstituen dimasukkan ke dalam drum melalui pintu yang ada di atasnya. Drum akan terus berputar, sehingga bahan-bahan konstituen tercampur secara merata dan terbentuk adukan beton yang konsisten dan homogen. Selama proses pencampuran, air ditambahkan ke dalam campuran secara bertahap untuk memastikan konsistensi yang diinginkan.



Gambar 4. 10 *Concrete Mixer*

7. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams adalah alat ukur yang digunakan untuk menentukan konsistensi beton segar dan kemampuan pemadatan. Alat ini dinamai dari insinyur Amerika Serikat bernama Charles F. Abrams yang mengembangkan metode pengujian konsistensi beton pada tahun 1918.

Kerucut Abrams terbuat dari logam atau plastik dengan ukuran dan bentuk yang standar. Kerucut ini memiliki lubang di bagian bawahnya yang berukuran 20

mm x 10 mm dan berfungsi untuk mengalirkan adukan beton selama pengujian. Kerucut ini juga dilengkapi dengan pegangan untuk memudahkan penanganan.

Pengujian dengan Kerucut Abrams dilakukan dengan cara uji slump dengan mengisi kerucut dengan adukan beton segar yang telah diambil dari tempat pencampuran. Kemudian, adukan beton tersebut dicetak dengan menempatkan kerucut di atas permukaan datar dan menekannya dengan menggunakan stempel khusus yang disebut dengan "tamping rod" hingga 25 kali. Setelah itu, kerucut diangkat beton untuk mengalir keluar dari lubang pada bagian bawah kerucut diukur dengan alat ukur.



Gambar 4. 11 Kerucut Abrams

8. Bekisting Beton

Bekisting beton adalah sebuah struktur *temporary* yang digunakan untuk membantu membentuk dan mendukung beton selama proses pengecoran. Bekisting ini umumnya terbuat dari bahan kayu, logam, atau plastik dan dirancang sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan dari beton yang akan dicor. Pada penilitan ini digunakan bekisting dalam bentuk silinder berdiameter 15 dan tinggi 30 cm.



Gambar 4. 12 Bekisting Beton

9. *Compression Testing Machine*

Compression Testing Machine adalah perangkat yang digunakan untuk menguji kekuatan tekan beton. Mesin ini biasanya digunakan dalam laboratorium atau pengujian material untuk menentukan kualitas beton yang dibuat dan memastikan bahwa beton memenuhi standar yang ditetapkan.



Gambar 4. 13 *Compression Testing Machine*

4.5 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini merupakan beton dengan dan tanpa kadar agregat halus dengan limbah kertas dengan variasi kadar 0%, 15%, 35%, dan 45%. Variasi dari masing-masing kadar limbah kertas dalam beton dilakukan pengujian pada 28 hari. Uji benda uji digunakan benda uji silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter

15 cm. benda uji silinder ini digunakan untuk pengujian kuat tekan beton. Menurut SNI 2847 (2019), jumlah sampel silinder uji tekan minimal 5 buah benda uji per kadar penelitiannya.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu tahapan persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, *trial* pengujian benda uji, pembuatan dan perawatan benda uji, pengujian benda uji, olah data, analisis data dan pembahasan, dan pelaporan.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan tahapan awal sebelum melakukan penelitian dilaksanakan seperti studi literatur, penyiapan bahan dan penyiapan alat yang digunakan selama penelitian.

4.6.2 Pembuatan Limbah Kertas

Bubur kertas atau *pulp* adalah bahan baku utama dalam pembuatan kertas dan produk kertas lainnya. Bubur kertas terbuat dari serat kayu atau serat kertas daur ulang yang dicampur dengan air dan diproses melalui beberapa tahap produksi untuk menghasilkan kertas. Komposisi bubur kertas dapat bervariasi tergantung pada jenis serat kertas atau kayu yang digunakan. Namun, secara umum, bubur kertas terbentuk dari beberapa komponen utama, di antaranya adalah selulosa, yang merupakan komponen paling dominan dalam struktur bubur kertas, dan biasanya mencakup sekitar 50-90% dari total berat kering bubur. Selulosa memberikan kekuatan dan kekakuan pada kertas.

Lignin, Lignin adalah substansi yang memberikan warna coklat pada kayu dan bersifat hidrofobik, yang berarti cenderung tidak larut dalam air. Lignin juga memberikan kekuatan pada kayu. Dalam produksi kertas, lignin harus dihilangkan dari bubur kertas karena dapat menyebabkan kertas cepat memudar. Hemiselulosa, Hemiselulosa adalah senyawa kompleks yang terbentuk dari berbagai jenis gula yang terikat pada serat kayu atau serat kertas. Hemiselulosa memberikan kekuatan tambahan pada serat kertas. Selain itu, bubur kertas juga dapat mengandung bahan

pengisi seperti kaolin atau titanium dioksida yang digunakan untuk memberikan keputihan pada kertas. Dalam produksi bubur kertas daur ulang, bubur kertas bekas dicampur dengan air dan diproses melalui beberapa tahap produksi untuk menghilangkan tinta, lem dan bahan lain yang terdapat dalam kertas bekas tersebut. Setelah itu, bubur kertas daur ulang diolah kembali menjadi agregat halus.



Gambar 4. 14 Limbah Kertas (*Paper Pulp*)

4.6.3 Pengujian Agregat

Pengujian agregat merupakan tahapan terhadap agregat halus dan agregat kasar yang memiliki tujuan untuk mengetahui dan menentukan karakteristik agregat yang akan digunakan pada penelitian ini dalam pembuatan beton. Sifat dan karakteristik agregat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan campuran beton. Adapun pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
2. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
3. Uji analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
4. Uji analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990.
5. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
6. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.

7. Uji butiran lolos ayakan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996.

4.6.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dilaksanakan berdasarkan hasil dari pengujian agregat. Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan berdasarkan tata cara perencanaan campuran beton ringan pada SNI 3449-2002 dan SNI 2834-2000.

4.6.5 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* dengan Umur 3 hari

Setelah melakukan perencanaan campuran beton, dilakukan pembuatan dan pengujian benda uji trial. Benda uji *trial* ini bertujuan untuk menyesuaikan perencanaan campuran beton dan hasilnya.

4.6.6 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pelaksanaan pembuatan dan perawatan benda uji didasari oleh hasil perencanaan campuran beton. Proporsi dan bahan campuran beton yang telah disesuaikan kemudian dicampur menggunakan alat *concrete mixer*. Berikut merupakan tabel 4.1 tentang jumlah benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji Beton

Mutu Beton	Variasi Campuran (%)	Jumlah Benda Uji dan Jenis Pengujian		Jumlah Benda Uji (bh)	
	Paper Pulp	Silinder	Jenis Pengujian		
21.7 MPa	0	6	Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Penyerapan Air	3	18
	15	6		3	18
	35	6		3	18
	45	6		3	18
Total Keseluruhan Benda Uji				72	

4.6.7 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilaksanakan sesuai dengan umur rencana beton uji. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan berdasarkan SNI 1974-2011. Tahapan pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Mengangkat benda uji dari bak perendaman kemudian dibiarkan selama kurang lebih 24 jam.
2. Mengukur dimensi benda uji.
3. Menimbang berat benda uji.
4. Meletakkan benda uji pada landasan tekan bawah dan memastikan penunjuk beban sudah menunjukkan angka nol.
5. Menjalankan mesin pengujian tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik.
6. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima benda uji.

4.6.8 Olah, analisis, dan pembahasan data

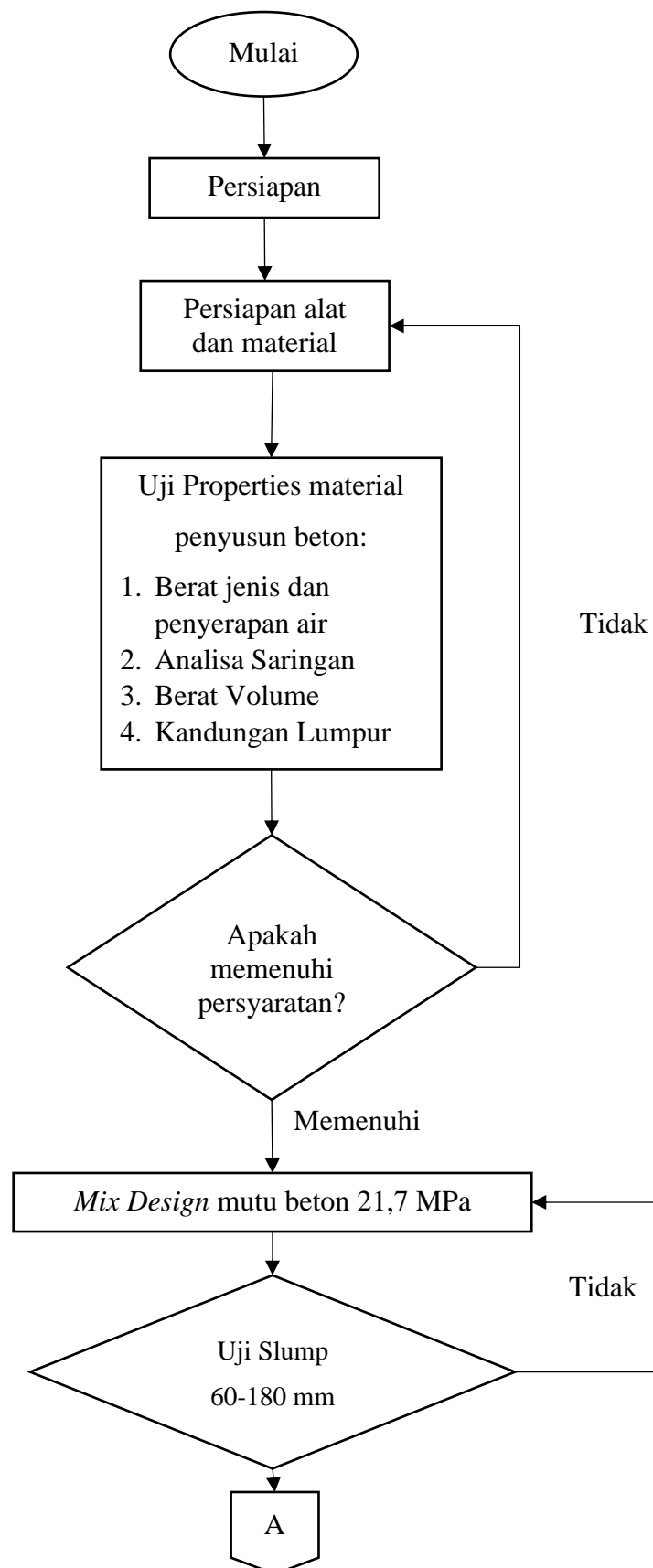
Olah data dilakukan pengolahan data dari pengujian kuat tekan beton berdasarkan landasan teori yang telah ada. Olah data ini bertujuan sebagai dasar parameter hasil pengujian. Setelah dilakukan olah data, data dianalisis berdasarkan variabel tertentu untuk mengetahui nilai yang terjadi, kemudian data dijadikan hasil penelitian yang berbentuk pembahasan.

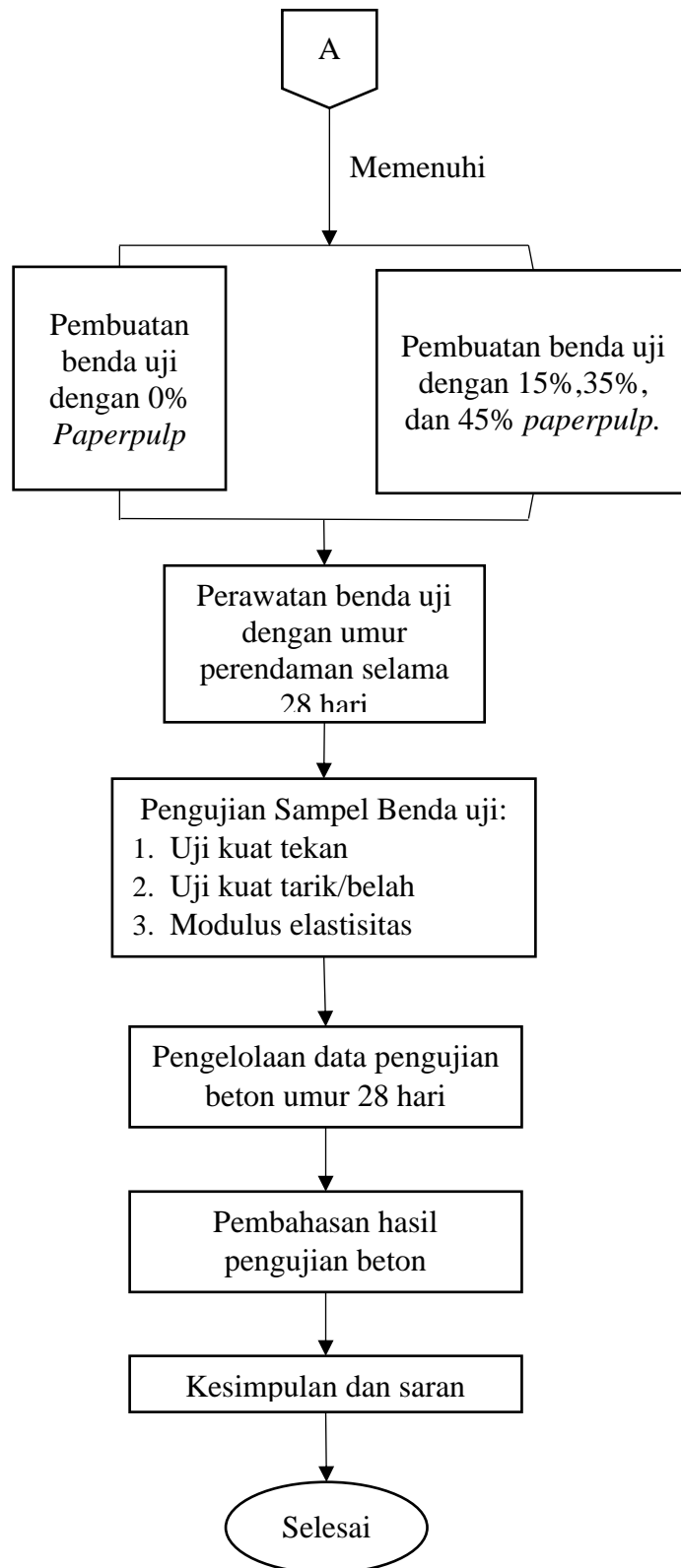
4.6.9 Kesimpulan dan Saran

Tahapan kesimpulan dan saran adalah tahapan yang dilakukan dari hasil pembahasan yang diacu pada tujuan penelitian. Selanjutnya, dari kesimpulan yang ada bertujuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4.6.10 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut ini.





Gambar 4. 15 Diagram Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Pembahasan dalam sebuah penelitian memegang peranan penting untuk mengungkapkan hasil, analisis, dan tujuan dari penelitian tersebut. Pada bagian pembahasan ini, akan diuraikan hasil dari seluruh rangkaian penelitian, mulai dari pengujian material penyusun beton hingga uji benda uji yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT). Data hasil penelitian akan dipresentasikan melalui pengolahan, analisis, dan grafik, yang selanjutnya akan menjadi dasar pembahasan terhadap tujuan penelitian ini. Dengan demikian, pembahasan ini menjadi wadah untuk menguraikan temuan dan kontribusi penelitian tersebut terhadap bidang yang diteliti.

5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Hasil pengujian bahan penyusun beton menjadi acuan untuk melanjutkan tahapan penelitian berikutnya. Pengujian ini mencakup beberapa parameter, seperti modulus halus butir, berat jenis, penyerapan air, berat isi gembur, isi padat, dan kandungan lumpur pada bahan penyusun beton. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa bahan penyusun beton memenuhi standar perencanaan penelitian, sehingga hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Dengan memastikan kualitas bahan penyusun beton, penelitian dapat dilanjutkan dengan keyakinan bahwa parameter-parameter tersebut memenuhi persyaratan dan standar yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diinginkan.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus mencakup beberapa parameter, antara lain analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume dan berat isi gembur, serta pengujian kadar lumpur agregat halus melalui pengujian lolos saringan no. 200. Berikut adalah hasil dari pengujian-pengujian tersebut.

1. Pengujian analisa saringan agregat halus

Pengujian analisis saringan agregat halus ini dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia, dengan mengacu pada SNI 1968-1990. Proses pengujian melibatkan penggunaan benda uji agregat halus dengan berat 2000 gram, dan hasil data berupa berat tertinggal pada setiap saringan diukur. Saringan yang digunakan dalam pengujian meliputi ukuran 9,5 mm (3/8”), 4,75 mm (saringan No. 4), 2,36 mm (saringan No. 8), 1,18 mm (saringan No. 16), 0,600 mm (saringan No. 30), 0,300 mm (saringan No. 50), 0,150 mm (saringan No. 100), dan pan saringan. Berikut adalah data hasil pengujian analisis saringan agregat halus.

a. Analisa Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 4,75 mm} &= \frac{8}{2000} \times 100\% \\ &= 0,40\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 2,36 mm} &= \frac{172}{2000} \times 100\% \\ &= 8,60\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 1,18 mm} &= \frac{275}{2000} \times 100\% \\ &= 13,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 0,600 mm} &= \frac{786}{2000} \times 100\% \\ &= 39,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 0,300 mm} &= \frac{302}{2000} \times 100\% \\ &= 15,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 0,150 mm} &= \frac{331}{2000} \times 100\% \\ &= 16,55\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{126}{2000} \times 100\% \\ &= 6,30\% \end{aligned}$$

b. Analisa berat tertinggal kumulatif

$$\text{Saringan ukuran 4,75 mm} = 0\% + 0,40\%$$

	= 0,40%
Saringan ukuran 2,36 mm	= 0,40% + 8,60%
	= 9,00%
Saringan ukuran 1,18 mm	= 9,00% + 13,75%
	= 22,75%
Saringan ukuran 0,600 mm	= 22,75% + 39,30%
	= 62,05%
Saringan ukuran 0,300 mm	= 62,05% + 15,10%
	= 77,15%
Saringan ukuran 0,150 mm	= 77,15% + 16,55%
	= 93,70%
Pan	= 93,70% + 6,30%
	= 100%

c. Analisa persen lolos kumulatif

Saringan ukuran 4,75 mm	= 100% - 0,40%
	= 99,60%
Saringan ukuran 2,36 mm	= 100% - 9,00%
	= 91,00%
Saringan ukuran 1,18 mm	= 100% - 22,75%
	= 77,25%
Saringan ukuran 0,600 mm	= 100% - 62,05%
	= 37,95%
Saringan ukuran 0,300 mm	= 100% - 77,15%
	= 22,85%
Saringan ukuran 0,150 mm	= 100% - 93,70%
	= 6,30%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Dari analisa yang ada, didapatkan rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan agragat halus. Rekapitulasi ini disajikan dalam bentuk tabel yang

telah dilakukan validasi dapat pemrograman excel. Rekapitulasi hasil pengujian tersebut terdapat pada tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	8	0,40	0,40	99,6
2,40	172	8,60	9,00	91
1,20	275	13,75	22,75	77,25
0,60	786	39,30	62,05	37,95
0,30	302	15,10	77,15	22,85
0,15	331	16,55	93,70	6,3
Sisa	126	6,30	100,00	0,00
Jumlah	2000	100	265.05	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{265}{100} \\
 &= 2,70
 \end{aligned}$$

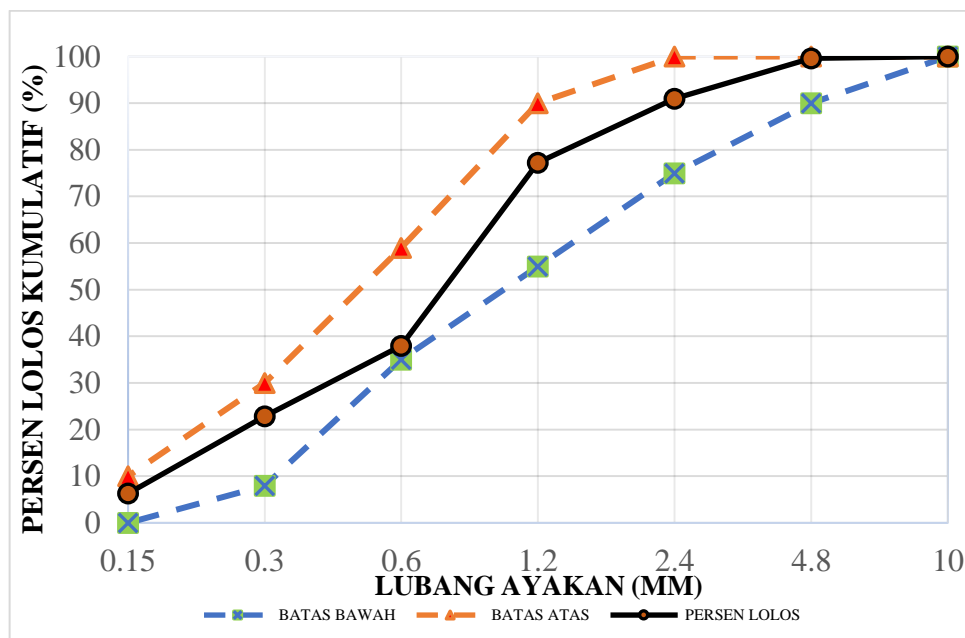
Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada pengujian modulus halus butir agregat halus didapatkan nilai modulus halus butir agregat halus didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Modulus Halus Butir yang didapatkan dari hasil pengujian sebesar 2,70. Menurut SNI 03-1968-1990 MHB dengan rentang 2,60-2,90 termasuk kedalam pasir sedang.
2. Menurut SNI-2834-2000, dari gradasi agregat halus hasil perhitungan modulus halus butir agregat halus didapatkan agregat halus yang dipakai pada penelitian ini masuk ke dalam gradasi agregat halus daerah II. Penentuan gradasi agregat halus berdasarkan tabel 5.2 dan gambar grafik 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 2 Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	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 2834-2000



Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II

3. Menurut ASTM C-33-2003, nilai modulus halus butir berada pada rentang 2,3 – 3,1 telah memenuhi persyaratan modulus halus butir (MHB).
2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
 Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 1970-2016. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus adalah prosedur laboratorium yang dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisik agregat halus, yang umumnya digunakan

dalam campuran beton. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus adalah dua parameter penting dalam industri konstruksi dan rekayasa sipil yang membantu dalam mengevaluasi kualitas dan karakteristik agregat tersebut. Kedua pengujian ini merupakan bagian penting dari evaluasi kualitas agregat halus dalam industri konstruksi. Dengan memahami berat jenis dan penyerapan air agregat halus, insinyur dan perencana dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam merancang dan memproduksi campuran beton atau aspal yang memiliki kinerja yang diinginkan dan tahan lama. Selanjutnya, perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dapat dilihat pada perhitungan dan tabel 5.3 hasil rekapitulasi berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{B+500- B_t} \\
 &= \frac{486}{732+500- 1037} \\
 &= 2,49 \\
 \text{b. Berat Jenis (SSD)} &= \frac{500}{B+500- B_t} \\
 &= \frac{500}{732+500- 1037} \\
 &= 2,56 \\
 \text{c. Berat Jenis Semu} &= \frac{B_k}{B+B_k- B_t} \\
 &= \frac{486}{732+486- 1037} \\
 &= 2,69 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{500-B_k}{B_k} \\
 &= \frac{500-486}{486} \\
 &= 2,88\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	489	487,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1037	1008	1022,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732	695	713,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,49	2,61	2,55
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,56	2,67	2,61
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,68	2,77	2,73
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,88%	2,25%	2,57%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, ditemukan bahwa berat jenis jenuh kering muka rata-rata agregat adalah sebesar 2,61 gram/m³, dan penyerapan air rata-rata mencapai 2,57%. Informasi ini dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata berat jenuh kering muka adalah sebesar 2,61 gram/m³, rentang normal untuk berat jenis agregat seperti disebut oleh Tjokrodumuljo (2007) adalah 2,4 hingga 2,7.
2. Nilai rata-rata penyerapan air adalah sebesar 2,57%.

Dengan nilai berat jenis jenuh kering muka yang berada di antara rentang normal (2,4-2,7) yang disarankan oleh Tjokrodumuljo (2007), dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut termasuk dalam kategori berat jenis agregat normal.

3. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus
 Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat halus dilaksanakan sesuai dengan standar SNI 4804-1998. Uji berat volume gembur dan padat

pada agregat halus adalah pengujian laboratorium yang dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik agregat halus, yang sering digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini memberikan informasi mengenai tingkat kepadatan dan porositas agregat, yang dapat memengaruhi sifat-sifat mekanis dan daya tahan beton. Kedua pengujian ini membantu dalam memahami karakteristik fisik agregat halus yang akan digunakan dalam campuran konstruksi. Dengan mengetahui berat volume padat dan gembur agregat halus, insinyur dapat merencanakan campuran beton atau aspal dengan lebih efisien dan akurat, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kinerja dan daya tahan dari struktur konstruksi yang dibangun. Perhitungan dan hasil rekapitulasi berat volume gembur dan padat untuk sampel 1 dijabarkan pada tabel 5.4 dan 5.5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{8201}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,10^2 \times 30,21} \\
 &= \frac{8201}{5412,12} \\
 &= 1,515 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 4 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15,10	15,05	15,08
Tinggi Silinder (cm)	30,21	30,94	30,58
Berat Tabung (W1), gram	10275,00	10649,00	10462,00
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18476,00	18789,00	18632,50
Berat Agregat (W3), gram	8201,00	8140,00	8170,50
Volume Tabung (V), cm ³	5412,12	5506,25	5459,19
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,52	1,48	1,50

Tabel 5. 5 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15,10	15,05	15,08
Tinggi Silinder (cm)	30,21	30,94	30,58
Berat Tabung (W1), gram	10275,00	10649,00	10462,00
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18250,00	18456,00	18353,00
Berat Agregat (W3), gram	7975,00	7807,00	7891,00
Volume Tabung (V), cm ³	5412,12	5506,25	5459,19
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,47	1,42	1,45

Berdasarkan hasil analisis perhitungan berat volume, diperoleh berat volume gembur agregat halus dengan rata-rata 1,45 gram/cm³ dan berat volume padat agregat halus dengan rata-rata sebesar 1,50 gram/cm³. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan berat volume gembur karena dalam pengujian, setiap 1/3 tabung mengalami proses penumbukan untuk mengurangi pori-pori udara, sehingga menghasilkan nilai berat volume padat yang lebih tinggi. Berat volume padat yang disarankan untuk beton normal biasanya berada dalam rentang 1,4 hingga 1,8, sehingga berat volume padat agregat halus yang diukur memenuhi persyaratan tersebut.

4. Pengujian Lolos saringan No. 200 (Uji kandungan Lumpur dalam Pasir)

Pengujian kandungan lumpur dilakukan dengan menerapkan metode yang diatur oleh SNI 03-4142-1996. Hasil pengujian ini memberikan informasi tentang persentase berat lumpur dalam sampel, yang dapat menjadi parameter penting dalam menentukan kualitas dan kecocokan pasir atau agregat halus untuk keperluan konstruksi. Rincian perhitungan dan hasil uji yang memenuhi syarat pada saringan no.200 terdokumentasikan sebagai berikut ini pada tabel 5.6.

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan Lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 489}{500} \times 100\% \\
 &= 2,20\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 6 Hasil Uji Lolos Saringan No. 200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	489	491	490
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2,20%	1,80%	2,00%

Berdasarkan hasil pengujian lolos saringan no. 200, diperoleh kadar lumpur rata-rata sebesar 2,00%. Menurut Pedoman Umum Bahan dan Jasa Konstruksi Indonesia (PUBI)-1982 dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia, agregat halus tidak seharusnya memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%. Kandungan lumpur yang berlebihan dapat memengaruhi adhesi antara agregat halus dan pasta semen, karena ruang ikatan di antara semen dan agregat halus terisi oleh lumpur. Hal ini dapat berdampak pada kekuatan beton yang dihasilkan. Dalam konteks ini, dengan kandungan lumpur sebesar 2,00%, hasil pengujian memenuhi persyaratan PUBI-1982 yang mengizinkan kandungan lumpur hingga maksimal 5%. Oleh karena itu, agregat halus yang diuji dapat dianggap layak untuk digunakan dalam pencampuran beton, dan keberhasilannya memenuhi standar tersebut menunjukkan bahwa penggunaannya tidak akan memberikan dampak negatif pada kualitas dan kekuatan beton yang dihasilkan.

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, digunakan agregat kasar yang diperoleh dari sumber Clereng. Pada agregat kasar tersebut, dilakukan sejumlah pengujian untuk mengevaluasi karakteristiknya. Berikut adalah jenis pengujian yang dilakukan yaitu, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian analisa saringan, pengujian volume padat dan berat volume gembur agregat kasar. Pengujian-pengujian tersebut memberikan pemahaman yang mendalam mengenai sifat-sifat fisik agregat kasar yang akan digunakan dalam konstruksi atau

pencampuran beton. Hasil pengujian dapat digunakan untuk menilai kualitas dan kesesuaian agregat tersebut dalam aplikasi konstruksi tertentu.

1. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis saringan agregat kasar dilakukan dengan tujuan menentukan nilai modulus halus butir agregat, mengikuti metode yang diatur dalam SNI 03-1968-1990. Hasil dari pengujian analisis saringan agregat kasar dapat ditemukan dalam Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5. 7 Hasil Uji Analisa Saringan pada Agregat kasar

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	154	3,08	3,08	96,92
10,00	2687	53,74	56,82	43,18
4,80	2055	41,1	97,92	2,08
2,40	89	1,78	99,70	0,3
1,20	2	0,04	99,74	0,26
0,60	0	0	99,74	0,26
0,30	0	0	99,74	0,26
0,15	0	0	99,74	0,26
Sisa	13	0,26		100
Jumlah	5000	100	656.48	

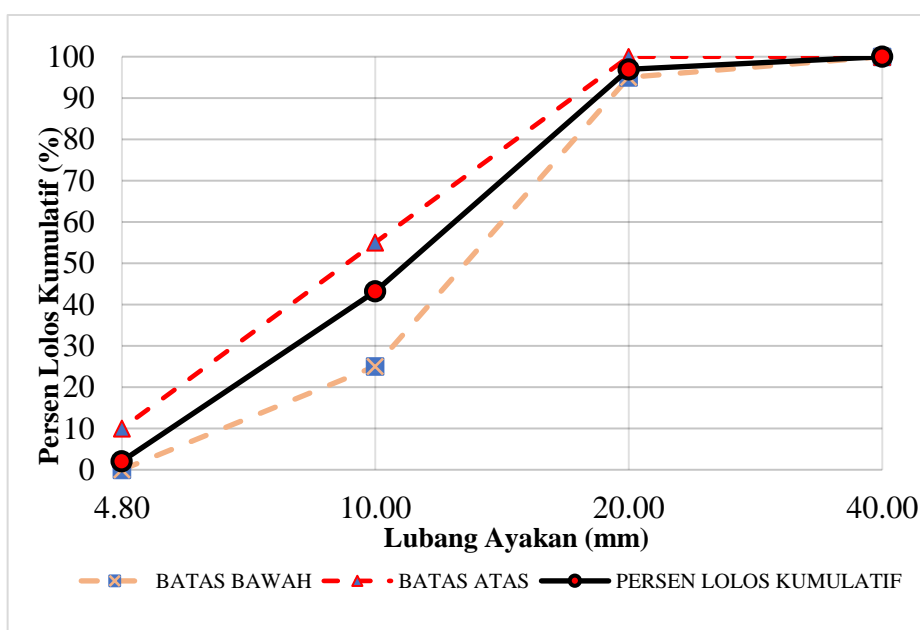
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{656,48}{100} \\
 &= 6,56
 \end{aligned}$$

Dalam pengujian ini, nilai modulus halus butir yang diperoleh adalah sebesar 6,56. Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), secara umum, modulus halus butir agregat kasar biasanya berada dalam rentang nilai antara 6,0 hingga 7,0. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir yang diukur memenuhi standar yang telah ditetapkan. Fungsi gradasi agregat kasar sangat penting dalam industri konstruksi dan rekayasa sipil. Gradasi mengacu pada

distribusi ukuran partikel agregat kasar dalam suatu campuran. Beberapa fungsi dari gradasi agregat kasar yaitu, memperoleh nilai butiran maksimum pada agregat kasar. Selain itu, dalam analisis saringan agregat kasar, juga diperoleh batas gradasi ukuran butir maksimum seperti di tabel 5.8 dan gambar 5.2 di bawah ini.

Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40mm	20mm	10 mm
40,00	95-100	100	
20,00	30-70	95-100	100
10,00	10-35	25-55	50-85
4,80	0-5	0-10	0-10



Gambar 5. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm

Pada hasil perhitungan modulus halus butir agregat kasar, diperoleh informasi bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi gradasi agregat kasar ukuran 20 mm. Gradasi agregat kasar mengacu pada distribusi

ukuran partikel dari agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Kurva gradasi agregat kasar merupakan representasi grafis dari ukuran partikel agregat kasar terhadap persentase berat yang lolos melalui setiap ukuran tertentu. Kurva gradasi ini penting karena mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik campuran beton. Penetapan gradasi agregat kasar didasarkan pada tabel 5.10 yang terlampir di atas.

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilaksanakan dengan menerapkan metode yang dijelaskan dalam SNI 03-1969-1990. prosedur laboratorium yang dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dari agregat kasar, yang sering digunakan dalam campuran beton. Dua parameter utama yang diukur dalam pengujian ini adalah berat jenis dan penyerapan air. Rincian perhitungan dan hasil uji dapat ditemukan terlampir pada tabel 5.9 di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ &= \frac{4900}{5000 - 3082} \\ &= 2,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Berat Jenis (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3082} \\ &= 2,61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Berat Jenis Semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ &= \frac{4900}{4900 - 3082} \\ &= 2,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Penyerapan Air} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \\ &= \frac{5000 - 4900}{4900} \\ &= 2,04\% \end{aligned}$$

Tabel 5. 9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutal (Bk)	4900,00	4919,00	4909,50
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000,00	5000,00	5000,00
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082,00	3102,00	3092,00
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,55	2,59	2,57
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,61	2,63	2,62
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,70	2,71	2,70
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,04%	1,65%	1,84%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, didapatkan nilai berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,62 gram/m³ dan penyerapan air rata-rata sebesar 1,84%. Penyerapan air pada agregat kasar lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus, menunjukkan bahwa jumlah rongga yang diisi air lebih sedikit pada agregat kasar.

Dalam konteks berat jenis, agregat kasar yang diuji termasuk dalam rentang berat jenis agregat normal, yakni antara 2,4 hingga 2,7, sesuai dengan panduan Tjokrodinuljo (2007). Oleh karena itu, hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa agregat kasar memenuhi kriteria berat jenis agregat normal, karena nilai berat jenisnya berada dalam rentang yang disebutkan.

3. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat kasar telah dijalankan sesuai dengan standar SNI 4804-1998. Pengujian ini merupakan metode laboratorium yang digunakan untuk menilai karakteristik fisik dari agregat kasar, yang umumnya digunakan dalam komposisi beton. Hasil pengujian memberikan informasi tentang tingkat kepadatan dan porositas agregat, yang memiliki dampak pada sifat mekanis dan ketahanan beton. Dalam konteks

perhitungan berat volume gembur dan padat untuk sampel 1, langkah-langkah perhitungannya dan rekapitulasi hasil diuraikan dan terdapat pada tabel 5.10 dan 5.11 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{7861}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,03^2 \times 30,05} \\
 &= \frac{7861}{5327,9} \\
 &= 1,48 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 10 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15,03	15,95	15,49
Tinggi Silinder (cm)	30,05	30,10	30,08
Berat Tabung (W1), gram	10698,00	11756,00	11227,00
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18559,00	19016,00	18787,50
Berat Agregat (W3), gram	7861,00	7260,00	7560,50
Volume Tabung (V), cm ³	5327,99	6014,20	5671,09
Berat Volume Padat, gram/cm ³	1,48	1,21	1,34

Tabel 5. 11 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15,03	15,95	15,49
Tinggi Silinder (cm)	30,05	30,10	30,08
Berat Tabung (W1), gram	10698,00	11756,00	11227,00
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17956,00	17998,00	17977,00
Berat Agregat (W3), gram	7258,00	6242,00	6750,00
Volume Tabung (V), cm ³	5327,99	6014,20	5671,09
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,36	1,04	1,20

Berdasarkan hasil analisis berat volume, diperoleh berat volume gembur rata-rata agregat kasar sebesar 1,34 gram/m³, sementara berat volume padat rata-rata agregat kasar sebesar 1,20 gram/m³. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan berat volume gembur karena dalam pengujian agregat, setiap 1/3 tabung mengalami proses penumbukan untuk mengurangi pori-pori udara, sehingga nilai yang diperoleh menjadi lebih besar. Penting untuk dicatat bahwa berat volume agregat kasar lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus. Perbedaan ini disebabkan oleh ukuran butir kasar yang memenuhi spesifikasi tertahan pada saringan 4,8 mm. Hal ini mengakibatkan agregat kasar memiliki lebih banyak rongga kosong antar butir daripada agregat halus, yang memenuhi spesifikasi lolos pada saringan 4,8 mm.

5.2.3 Hasil Pengujian Limbah Kertas

Pengujian limbah kertas dilakukan karena limbah kertas digunakan sebagai bahan substitusi parsial dari agregat halus dalam penelitian ini. Limbah kertas yang digunakan berasal dari limbah PT. Pindo Deli. Pada limbah kertas ini, dilakukan pengujian yang serupa dengan yang dilakukan pada agregat halus, termasuk pengujian berat jenis dan penyerapan air, serta analisis saringan,

Langkah ini dilakukan untuk menilai karakteristik fisik limbah kertas sebagai bahan pengganti agregat halus. Informasi hasil pengujian tersebut akan membantu dalam mengevaluasi potensi limbah kertas untuk digunakan dalam campuran beton atau konstruksi, serta memahami sejauh mana limbah kertas dapat memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Pengujian tersebut sebagai berikut.

1. Pengujian analisis saringan Limbah Kertas

Pengujian analisis saringan limbah kertas ini dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia dan sejalan dengan metode pengujian analisis saringan agregat halus, mengacu pada SNI 1968-1990. Dalam proses pengujian, dilibatkan penggunaan benda uji limbah kertas dengan berat 2000 gram, dan data hasilnya berupa berat tersisa pada setiap saringan diukur. Saringan yang digunakan dalam pengujian mencakup ukuran 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (saringan No. 4), 2,36 mm (saringan No. 8), 1,18 mm (saringan No.

16), 0,600 mm (saringan No. 30), 0,300 mm (saringan No. 50), 0,150 mm (saringan No. 100), dan pan saringan. Di bawah ini merupakan tabel 5.12 merupakan data hasil dari pengujian analisis saringan limbah kertas.

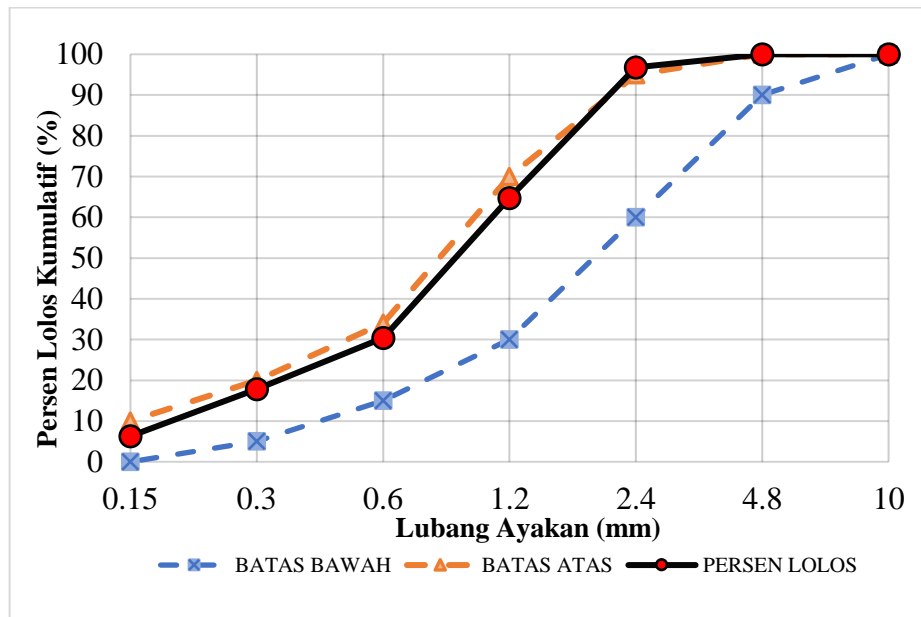
Tabel 5. 12 Hasil Uji Analisis Saringan Limbah Kertas

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	0	0,00	0,00	100
2,40	64	3,20	3,20	96,8
1,20	641	32,05	35,25	64,75
0,60	686	34,30	69,55	30,45
0,30	252	12,60	82,15	17,85
0,15	231	11,55	93,70	6,3
Sisa	126	6,30	100,00	0,00
Jumlah	2000	100	283,85	100

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{283,85}{100} \\
 &= 2,8
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada pengujian modulus halus butir limbah kertas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Modulus Halus Butir yang diperoleh dari pengujian memiliki nilai sebesar 2,80. Menurut standar SNI 03-1968-1990, Modulus Halus Butir (MHB) dalam rentang 2,60-2,90 tergolong sebagai pasir sedang.
2. Mengacu pada standar SNI-2834-2000, hasil perhitungan modulus halus butir agregat halus limbah kertas menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam gradasi agregat halus daerah I. Grafik gradasi tersebut dapat dilihat pada gambar 5.3 dibawah ini.



Gambar 5. 3 Gradasi I Analisis Saringan Limbah Kertas

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah kertas

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada limbah kertas sama dengan prosedur pengujian berta jenis dan penyerapan air agregta halus karena limbah kertas merupakan substitusi parsial agregat halus pada penelitian ini. pengujian ini telah dilakukan sesuai dengan standar SNI 1970-2016. Pengujian ini merupakan prosedur laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dari limbah kertas, yang sering digunakan dalam campuran beton. Selanjutnya, perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada limbah kertas dapat ditemukan pada perhitungan dan tabel 5.13 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{B+500 - B_t} \\
 &= \frac{398}{765+500 - 985} \\
 &= 1,42
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Berat Jenis (SSD)} &= \frac{500}{B+500 - B_t} \\
 &= \frac{500}{765+500 - 985} \\
 &= 1,79
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Berat Jenis Semu} &= \frac{B_k}{B+B_k- B_t} \\
 &= \frac{398}{765+398- 985} \\
 &= 2,23 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{500-B_k}{B_k} \\
 &= \frac{500-398}{398} \\
 &= 25,63\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 13 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Kertas

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	398	387	392.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	985	977	981
Berat piknometer berisi air, gram (B)	765	733	749
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	1,42	1,51	1,47
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	1,786	1,953	1,869
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,24	2,70	2,47
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	25,63%	29,20%	27,41%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, ditemukan bahwa berat jenis jenuh kering muka limbah kertas memiliki rata-rata sebesar 1,87 gram/m³, dan penyerapan air rata-rata mencapai 2,57%. Hasil ini dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata berat jenis jenuh kering muka limbah kertas adalah sebesar 1,87 gram/m³, yang berada di luar rentang normal untuk berat jenis agregat, sebagaimana dijelaskan oleh Tjokrodimuljo (2007), yang biasanya berada antara 2,4 hingga 2,7.

2. Nilai rata-rata penyerapan air cukup besar, yakni sebesar 2,57%. Hal ini disebabkan oleh sifat kertas yang memiliki tingkat penyerapan air yang tinggi. Dengan nilai berat jenis jenuh kering muka yang berada di luar rentang normal (2,4-2,7) yang disarankan oleh Tjokrodimuljo (2007), perlu diperhatikan bahwa karakteristik limbah kertas tersebut mungkin memerlukan penanganan khusus dalam konteks penggunaannya dalam konstruksi atau campuran beton.

5.3 Perencanaan Proporsi Campuran Beton

Dalam penelitian ini, perancangan campuran beton dilakukan dengan menerapkan metode SNI 03-2834-2000. Tujuan dari perencanaan beton adalah untuk mendapatkan proporsi campuran yang sesuai dengan target kuat tekan beton yang diinginkan. Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton normal umumnya memiliki rentang nilai kuat tekan antara 15 hingga 30 MPa. Pada perencanaan beton normal ini, diinginkan agar beton memiliki kuat tekan rencana sebesar 21,7 MPa, dengan perhitungan yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f^c)

Kuat tekan rencana merupakan rencana kuat tekan yang ingin direncanakan pada beton dengan benda uji diameter 15 cm dan 30 cm.

$$\text{Kuat tekan rencana } (f^c) = 21,7 \text{ MPa.}$$

2. Deviasi standar (Sr)

Deviasi standar merupakan nilai yang didapatkan berdasarkan pengalamana di lapangan sesuai dengan tingkata pengendalian mutu pekerjaan. Nilai deviasi stnadar yang diambil yaitu 7 MPa.

$$\text{Deviasi Standar } (Sr) = 7 \text{ MPa.}$$

3. Nilai tambah (M)

Nilai tambah diambil dari rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Nilai Tambah } (M) &= 1,64 \times Sr \\ &= 1,64 \times 7 \\ &= 11,48 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

4. Kekuatan yang direncanakan (f'_{cr})
 Kekuatan yang direncanakan (f'_{cr}) = $f'_c + M$

$$= 21,7 + 11,48$$

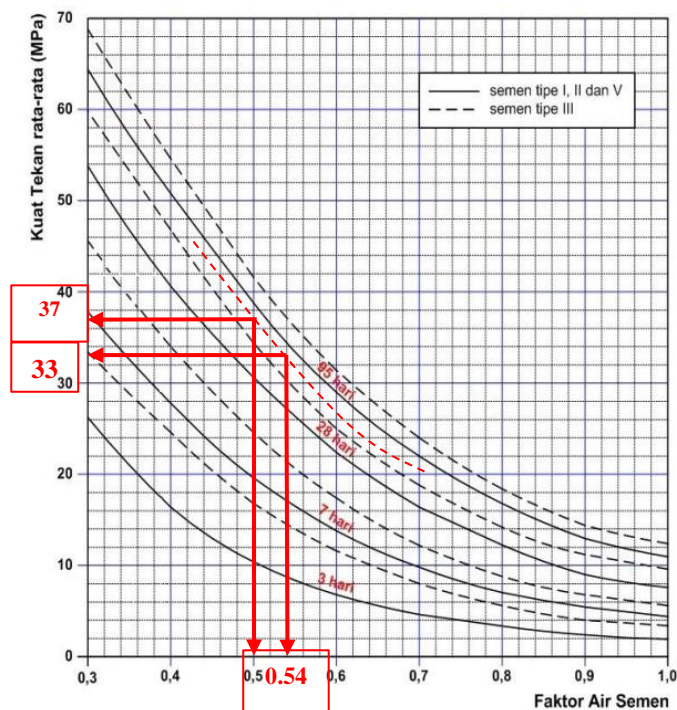
$$= 33,18 \text{ MPa}$$
5. Jenis Semen
 Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen Portland tipe I merek Semen Tiga Roda.
6. Jenis agregat halus dan agregat kasar
 Agregat halus = agregat halus murni dengan gradasi daerah II dari sungai progo.
 Agregat kasar = agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm dari clereng kulon progo.
7. Jenis bahan substitusi parsial pasir
 Bahan substitusi pasir pada penelitian ini menggunakan limbah kertas dengan variasi substitusi pasirnya yaitu 0%, 15%, 35%, dan 45%.
8. Penentuan faktor air semen (FAS)
 - a. Semen yang dipakai pada penelitian ini merupakan jenis semen portland tipe I dan batu pecah alami serta pengujian dilakukan dalam umur 28 hari. semen Portland tipe I umumnya tersedia di banyak toko bahan bangunan dan pabrik semen di berbagai negara. Ini adalah salah satu jenis semen yang paling umum digunakan dan biasanya dapat dengan mudah ditemukan. Maka berdasarkan tabel SNI dibawah ini pada gambar 5.4 didapat perkiraan kuat tekan beton yaitu sebesar 37 MPa.

Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Gambar 5. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang Biasa di Pakai di Indonesia

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

- b. Kemudian pada penentuan nilai FAS dari perkiraan kuat tekan beton 37 MPa dan umur rencana beton 28 hari. Pada gambar 5.5 dibawah ini, dapat dilihat grafik hubungan antar kuat tekan beton dan faktor air semen (FAS).



Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk benda Uji Silinder 150 x 300 mm

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Pada penentuan nilai FAS digunakan grafik diatas, kemudian tarik garis horizontal sejajar dengan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sampai ke

garis putus umur beton rencana. Kemudian, tarik garis vertikal dari perpotongan antara garis umur rencana dan kuat tekan rata-rata ke titik nilai FAS. Didapat nilai FAS pada gambar tersebut yaitu 0,54 dengan kuat tekan rata-rata direncanakan 33,18 MPa dengan umur beton 28 hari.

9. Faktor air semen maksimum dan kadar semen minimum

Faktor air-semen maksimum (*maximum water-cement ratio*) dan kadar semen minimum (*minimum cement content*) adalah dua parameter penting yang harus diperhatikan dalam desain campuran beton. Ini bergantung pada berbagai faktor seperti kekuatan yang diinginkan, lingkungan lingkungan konstruksi, dan jenis agregat yang digunakan. Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum pada beton dapat di lihat dari tabel SNI pada gambar 5.6 dibawah ini.

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

Gambar 5. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Berdasarkan tabel SNI pada gamabr 5.6 diatas, didaparkan :

Nilai Faktor Air Semen Maksimum= 0.60

Kadar Semen Minimum = 275 kg/m³

10. Nilai slump

Pada penelitian ini dipilih nilai slump rencana sebesar 60-180 mm sesuai dengan SNI 2834 Butir 4.2.3.3.

11. Kadar air yang dibutuhkan

Untuk menentukan kasar air yang dibutuhkan terdapat dasar perkiraan kadar air bebas dan dimasukkan ke persamaan sesuai dengan SNI 2834 tahun 2000. Gambar 5.7 tabel perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan dan persamaan tersebut sebagai berikut.

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

Gambar 5. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Pada gambar tabel diatas diperoleh kadar perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) yaitu 195, sedangkan untuk agregat kasar (W_k) yaitu 225. Kemudian W_h dan W_k tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai kadar air bebas yang dibutuhkan. Persamaan tersebut sebagai berikut.

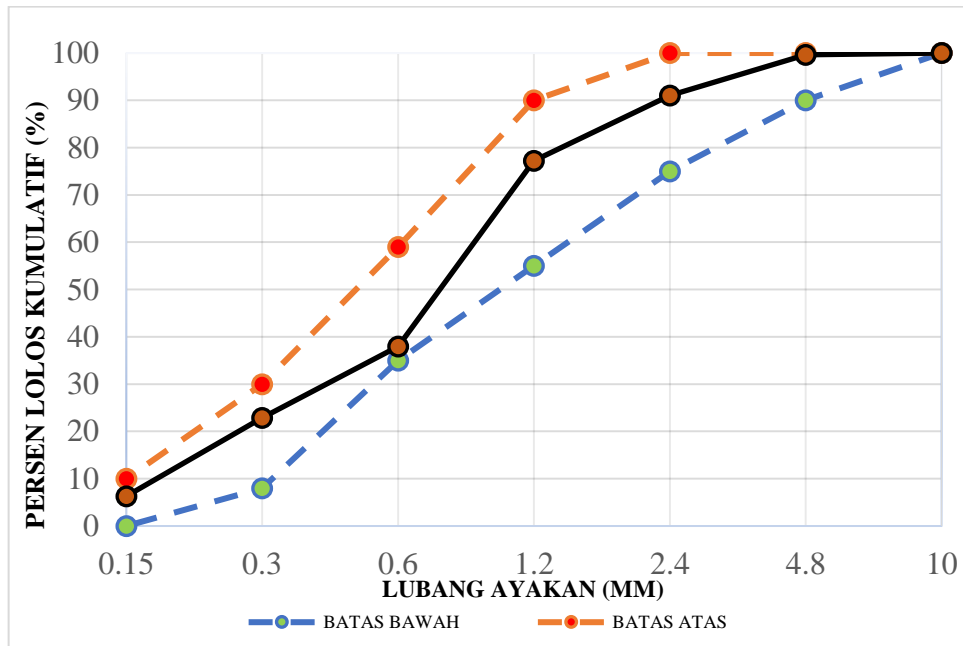
$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas (W)} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

12. Kadar semen yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen yang digunakan (C)} &= \frac{\text{kadar air bebas (W)}}{FAS} \\
 &= \frac{205}{0,54} \\
 &= 341,67 \text{ kg/m}^3.
 \end{aligned}$$

13. Susunan besar butir agregat halus

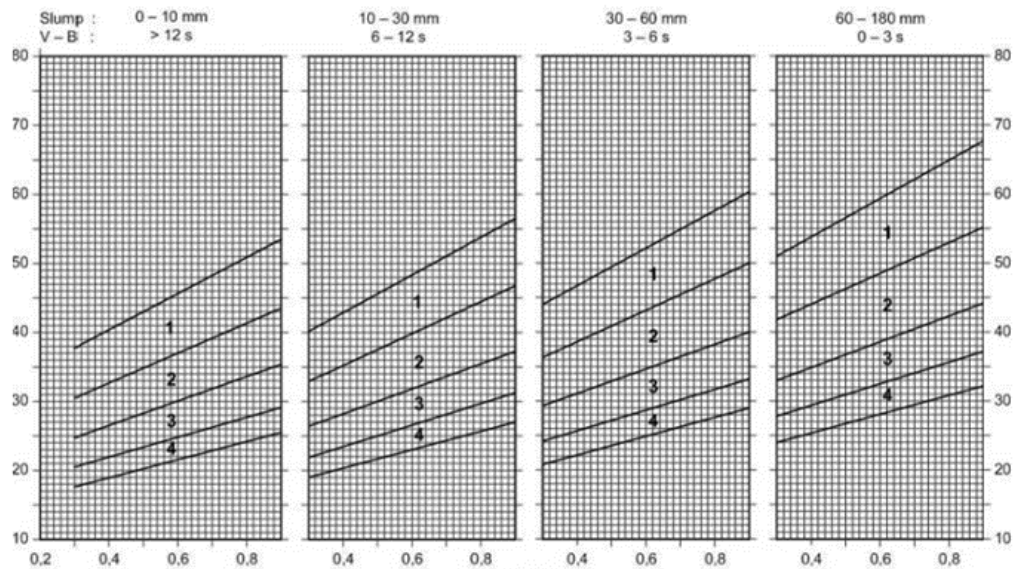
Susunan butir agregat halus ini bertujuan untuk menentukan jenis dari pasir itu sendiri. Pada penelitian ini dengan menggunakan pasir progo didapat jenis pasir yaitu pasir sedang bergradasi pasir II, grafik gradasi tersebut dapat dilihat pada gambar 5.8 dibawah ini.



Gambar 5. 8 Gradasi Pasir yang Digunakan

14. Persen agregat halus dan agregat kasar

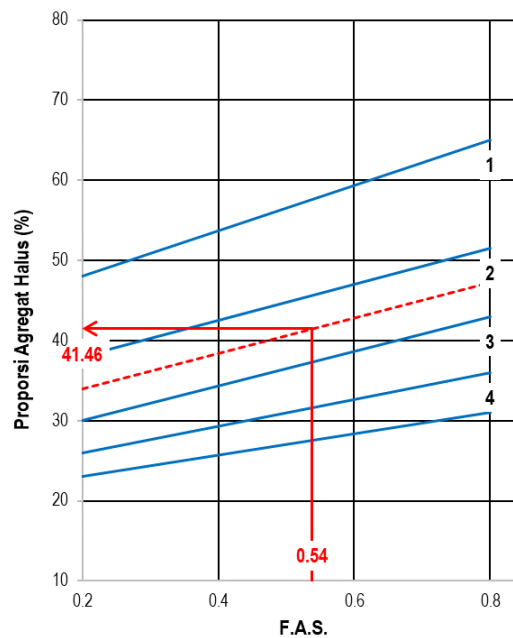
a. Persen agregat halus dapat dicari dengan penarikan grafik hubungan proporsi agregat halus dengan FAS. Dengan menggunakan grafik ini, dapat dengan cepat menentukan persentase agregat halus yang sesuai dengan nilai FAS yang digunakan atau sebaliknya, yang akan membantu dalam perancangan campuran beton yang tepat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pastikan untuk menggunakan data yang telah ada dan merujuk pada metode SNI 03-2834-2000. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Persentase Agregat Halus terhadap Kadar Agregat Total

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

- b. Dengan memakai rencana slump 60-180 mm dan FAS 0,54 dan ukuran butuk maksimum 20 mm maka untuk menentukan persen agregat halus memakai grafik pada gambar 5.10 dibawah ini.



Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Persentase Proporsi Agregat Halus dan FAS dengan Rencana Slump 60-180 mm

Didapat nilai persentase agregat halusnya yaitu 41%. Maka dari itu dapat dihitung persentase proporsi agregat kasar dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Nilai persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41\% \\ &= 59\% \end{aligned}$$

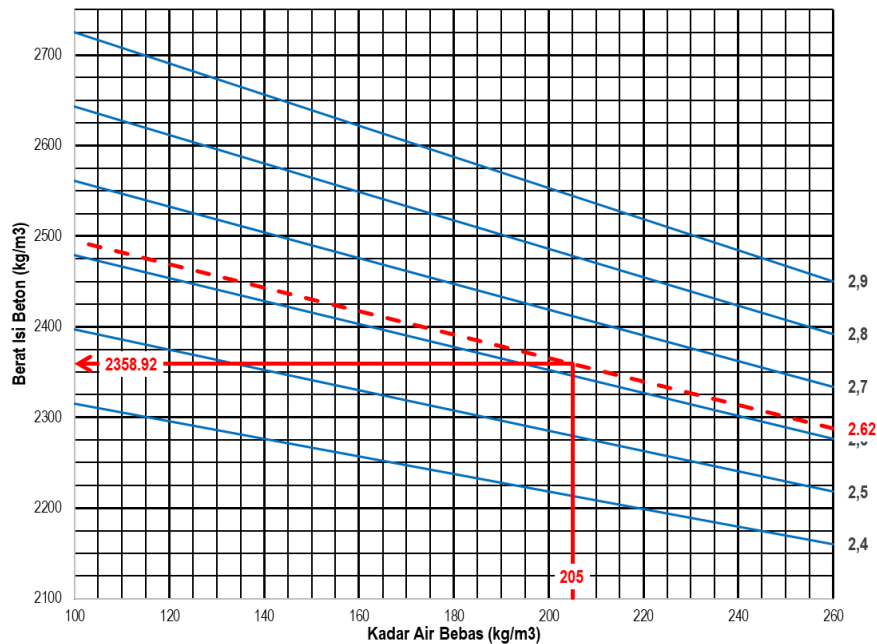
15. Berat Jenis Gabungan Agregat

Nilai berat jenis agregat halus setelah pengujian properties betonnya yaitu sebesar 2,619 dan nilai berat jenis agregat kasar setelah pengujian properties yaitu sebesar 2,62. Maka berdasarkan berat jenis tersebut dapat dicari berat jenis gabungan agregat dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan (BJAG)} &= (\%AH \times \text{BJAH}) + (\%AK \times \text{BJAK}) \\ &= (41\% \times 2,619) + (59\% \times 2,62) \\ &= 2,62. \end{aligned}$$

16. Nilai berat isi beton

Nilai berat isi beton didapat dari grafik hubungan antara berat isi beton dan kadar air bebas. Dalam penelitian ini, nilai berat isi beton diperoleh melalui analisis grafik yang menghubungkan berat isi beton dengan kadar air bebasnya. Proses ini memungkinkan kami untuk memahami hubungan antara berat isi beton dengan kadar air bebas secara lebih mendalam, memberikan wawasan yang berharga dalam pengembangan campuran beton yang optimal untuk aplikasi konstruksi. Dengan menggunakan nilai kadar air bebas yang digunakan yaitu sebesar 205 dan berat jenis gabungan 2,6. Maka dari grafik didapatkan berat isi beton sesuai dengan gambar grafik 5.11 dibawah ini.



Gambar 5. 11 Grafik Hubungan antara Berat Isi Beton dan Kadar Air Bebas

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai berat isi beton basah yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar $2.358,92 \text{ kg/m}^3$

17. Kadar agregat gabungan

Berdasarkan berat isi beton yang didapatkan pada grafik diatas dapat diperoleh kadar agregat gabungan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2.359 - 341,67 - 205 \\ &= 1.812,33 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Kadar agregat halus

Penentuan kadar agregat halus digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{41}{100} \times 1.812,33 \\ &= 743,06 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Kadar agregat kasar

Penentuan kadar agregat kasar digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\
 &= 1.812,33 - 743,06 \\
 &= 1.069,28 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

20. Proporsi campuran beton dalam 1 m³

$$\begin{aligned}
 \text{a. Air} &= 205 \text{ kg} \\
 \text{b. Semen} &= 341,67 \text{ kg} \\
 \text{c. Agregat Halus} &= 743,06 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat Kasar} &= 1.069,28
 \end{aligned}$$

21. Proporsi campuran per benda uji ukuran 150 x 300 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Volume untuk 1 benda uji silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.15^2 \times 0.30 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{a. Proporsi Air per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\
 &\quad \text{benda uji} \\
 &= 205 \times 0.0053 \\
 &= 1,09 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Proporsi semen per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\
 &\quad \text{benda uji} \\
 &= 341,67 \times 0.0053 \\
 &= 1,81 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Proporsi AH per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\
 &\quad \text{benda uji} \\
 &= 743,06 \times 0.0053 \\
 &= 3,94 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Proporsi AK per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\
 &\quad \text{benda uji} \\
 &= 1.069,28 \times 0.0053 \\
 &= 5,67 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e. Proporsi pasir per benda uji} &= \text{Berat AH untuk setiap benda uji} \times \\
 &\quad \text{persentase variasi pasir } 15\%
 \end{aligned}$$

$$= 3,94 \times 15\%$$

$$= 0,59 \text{ kg.}$$

22. Hasil perencanaan campuran beton

Adapun rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil dari Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang diisyaratkan	21,7	MPa
2	Standar deviasi	7	
3	Nilai tambah/Margin (M)	11,48	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	33,18	MPa
5	Jenis semen	Semen Portland Tipe 1	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,54	
9	Faktor air semen maksimum	0,60	
10	FAS digunakan	0,54	
11	Slump	60 - 180	mm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205,00	kg/cm ³
14	Kadar semen	341,67	kg/cm ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/cm ³
16	kadar semen minimum	275,00	kg/cm ³
17	kadar semen digunakan	341,67	kg/cm ³
18	FAS disesuaikan	-	
19	Susunan besar agregat halus yang digunakan	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,62	
21	Berat jenis agregta kasar (SSD)	2,62	
22	Persentase agregat halus	41	%
23	Persentase agregat kasar	59	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,62	
25	Berat isi beton	2.359	kg/cm ³
26	Kadar agregat gabungan	1.812,33	kg/cm ³
27	Kadar agregat halus	743,06	kg/cm ³
28	kadar agregat kasar	1.069,28	kg/cm ³

Hasil dari penelitian ini mengungkapkan bahwa proporsi campuran beton yang diuji memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat-sifat fisik dan mekanik beton. Dengan memperoleh pemahaman yang mendalam tentang proporsi campuran beton, kita dapat mengoptimalkan desain campuran untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam berbagai aplikasi beton. Hasil Proporsi Campuran yang didapat untuk penelitian ini yaitu dapat dilihat pada tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5. 15 Hasil Proporsi Campuran dengan Variasi Kertas Sludge yang Digunakan

Limbah Kertas (Paper Pulp)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Limbah Kertas (kg)
0%	1,81	1,09	3,94	5,67	0,00
15%	1,81	1,09	3,35	5,67	0,59
35%	1,81	1,09	2,56	5,67	1,38
45%	1,81	1,09	2,17	5,67	1,77

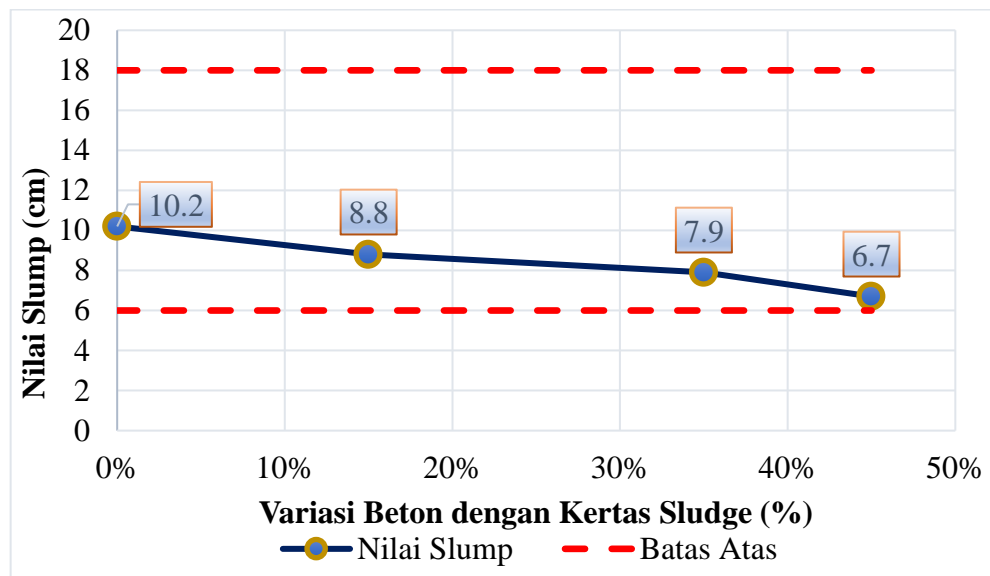
5. 4 Pengujian Slump

Pemeriksaan slump dilaksanakan setelah pencampuran beton menggunakan mesin pengaduk mencapai distribusi yang merata. Slump digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kemudahan pengerjaan campuran beton. Pengujian slump pada campuran beton dilakukan untuk mengevaluasi kekentalan dan konsistensi campuran sebelum pengecoran. Hasil dari pengujian ini memberikan informasi penting mengenai kemampuan campuran beton untuk mengalir dan membentuk permukaan yang halus, memungkinkan peneliti untuk menyesuaikan proporsi bahan dengan tepat guna mencapai hasil pengecoran yang optimal. Hasil pengujian slump dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk proporsi campuran, jenis dan kualitas agregat, rasio air-semen, dan metode pemadatan. Oleh karena itu, pengujian slump harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan standar yang berlaku. Data hasil pemeriksaan slump pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.15 dibawah ini.

Tabel 5. 16 Hasil Rekapitulasi Pengujian Slump

Benda Uji		Hasil Slump (cm)	Rerata (cm)
0%	1	10,2	10,2
	2	10,2	
	3	10,2	
	4	10,2	
	5	10,2	
	6	10,2	
15%	1	8,8	8,8
	2	8,8	
	3	8,8	
	4	8,8	
	5	8,8	
	6	8,8	
35%	1	7,9	7,9
	2	7,9	
	3	7,9	
	4	7,9	
	5	7,9	
	6	7,9	
45%	1	6,7	6,7
	2	6,7	
	3	6,7	
	4	6,7	
	5	6,7	
	6	6,7	

Pada hasil yang didapatkan dari pengujian slump beton di penelitian ini, digunakan pendekatan grafik untuk membandingkan seberapa besar perbandingan slump rerata yang didapatkan pada pengujian slump di setiap variasi beton dengan kertas sludge. Perbandingan ini juga dapat menjadi dasar penelitian beton yang diinovasikan sesuai dengan persyaratan standart di Indonesia. Berikut gambar 5.12 merupakan grafik yang didapat dari hasil perhitungan dan pengujian slump pada beton normal dengan variasi komposisi limbah kertas sludge didalamnya.



Gambar 5. 12 Grafik Hasil Pengujian Nilai Slump Per Variasi

Rentang slump yang memenuhi kriteria perencanaan adalah 60 hingga 180 mm. Tanpa penambahan kertas sludge, campuran dengan persentase kertas sludge sebanyak 0% menghasilkan slump tertinggi sekitar 10,2 cm. Namun, ketika ditambahkan kertas sludge dengan persentase 15%, 35%, dan 45%, slump secara berurutan mengalami penurunan masing-masing sebesar 8,8 cm, 7,9 cm, dan 6,7 cm. Pada penelitian yang dilakukan Surya Bermansyah dkk (2011), nilai slump paling rendah terjadi pada campuran beton yang memiliki persentase kertas 70%, dikarenakan kertas merupakan material yang memiliki daya serap air yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan pasir. Maka, semakin banyak proporsi campuran kertas didalam beton maka semakin menurunnya nilai *slump* dan *workability* pada beton. Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan limbah kertas sludge berdampak pada penurunan nilai slump. Penambahan kertas sludge mengindikasikan bahwa kertas sludge tersebut menyerap air dalam campuran dengan tingkat penyerapan yang cukup tinggi.

5.5 Pengujian Penyerapan Air

Pemeriksaan daya serap air pada beton dilakukan pada sampel yang telah direndam selama 28 hari. Setelah itu, sampel tersebut diukur beratnya dalam

kondisi basah, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Setelah proses pengovenan, sampel diukur beratnya lagi untuk mendapatkan berat saat kondisi kering mutlak. Hasil perhitungan dan uji penyerapan air beton dengan variasi superplastikizer 0%, 15%, 35%, dan 45% dalam tabel dan persamaan berikut ini.

1. Silinder 1 0% kertas Sludge

$$\begin{aligned}\text{Daya Penyerapan Air} &= \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100\% \\ &= \frac{12854 - 12,624}{12,624} \times 100\% \\ &= 1,82\%.\end{aligned}$$

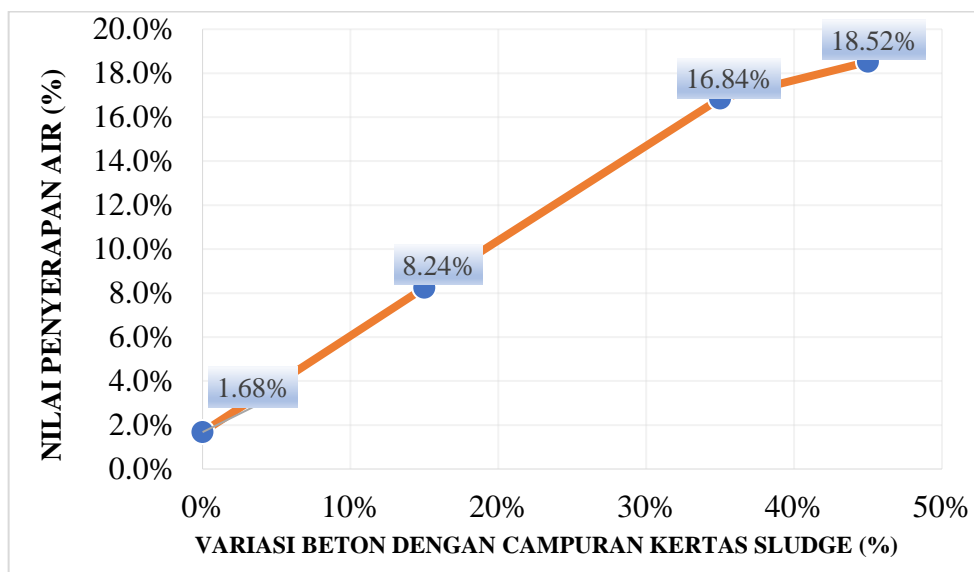
Dibawah ini merupakan tabel 5.16 dan gambar grafik 5.13 merupakan rekapitulasi hasil pengujian penyerapan air pada beton.

Tabel 5. 17 Hasil Uji Penyerapan Air

0%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W %	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.624	150	300	17.671,5	12.854	1,82%	10,2
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.547	150	300	17.671,5	12.712	1,32%	10,2
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.552	150	300	17.671,5	12.765	1,70%	10,2
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.665	150	300	17.671,5	12.895	1,82%	10,2
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.681	150	300	17.671,5	12.901	1,73%	10,2
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.512	150	300	17.671,5	12.722	1,68%	10,2
RATA-RATA			28	12.597	150	300	17.671,5	12.808,16	1,68%	10,2
15%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W %	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.865	150	300	17.671,5	12.785	7,75%	8,8
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.831	150	300	17.671,5	12.694	7,29%	8,8
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.773	150	300	17.671,5	12.665	7,58%	8,8
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.600	150	300	17.671,5	12.632	8,90%	8,8
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.628	150	300	17.671,5	12.540	7,84%	8,8
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.535	150	300	17.671,5	12.700	10,10%	8,8
RATA-RATA			28	11.578	150	300	17.671,5	12.669,33	8,24%	8,8

Lanjutan Tabel 5. 16 Hasil Uji Penyerapan Air

35%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W %	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.768	150	300	17.671,5	12.665	17,62%	7,9
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.657	150	300	17.671,5	12.621	18,43%	7,9
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.951	150	300	17.671,5	12.610	15,15%	7,9
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.774	150	300	17.671,5	12.684	17,73%	7,9
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.815	150	300	17.671,5	12.520	15,77%	7,9
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.795	150	300	17.671,5	12.562	16,37%	7,9
RATA-RATA			28	10.793	150	300	17.671,5	12.610,33	16,84%	7,9
45%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W gr	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.605	150	300	17.671,5	12.601	18,82%	6,7
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.550	150	300	17.671,5	12.595	19,38%	6,7
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.495	150	300	17.671,5	12.555	19,63%	6,7
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.468	150	300	17.671,5	12.631	20,66%	6,7
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11.072	150	300	17.671,5	12.521	13,09%	6,7
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.560	150	300	17.671,5	12.622	19,53%	6,7
RATA-RATA			28	10.625	150	300	17.671,5	12.587,50	18,52%	6,7



Gambar 5. 13 Grafik Hasil Daya Penyerapan Air Beton Per Variasi

Berdasarkan data yang didapat dari hasil penelitian pengujian daya penyerapan air beton dengan rentang nilai daya serap air tanpa inkorporasi kertas sludge, campuran dengan kadar kertas sludge sebesar 0% menghasilkan daya serap air paling kecil, yaitu sekitar 1,68%. Namun, saat kertas sludge ditambahkan dengan persentase 15%, 35%, dan 45%, nilai daya serap air beton secara berturut-turut mengalami kenaikan sebesar 8,24%, 16,84%, dan 18,52%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan limbah kertas sludge berdampak pada kenaikan daya serap air pada beton. Penambahan kertas sludge menggambarkan bahwa kertas sludge tersebut mampu menyerap air dalam campuran dengan tingkat penyerapan yang cukup tinggi hal ini juga menjadi salah satu parameter nilai slump pada setiap beton yang memiliki proporsi kertas menurun.

5. 6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan setelah benda uji atau beton mencapai usia 28 hari, dengan tujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton melalui pemberian beban oleh alat uji tekan. Pengujian kuat tekan beton merupakan salah satu tahapan krusial dalam penelitian ini. Metode ini dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan kompresif dari campuran beton yang telah dipersiapkan. Proses pengujian dilakukan sesuai

dengan standar SNI. Campuran beton dicor dalam bentuk silinder, kemudian dibiarkan mengeras selama periode waktu tertentu sesuai dengan kondisi pengeringan yang diatur. Setelah mencapai umur pengujian yang ditentukan, spesimen beton diuji menggunakan mesin uji tekan yang mampu memberikan beban secara gradual hingga mencapai kegagalan. Hasil dari pengujian ini memberikan data yang akurat mengenai kuat tekan beton pada usia tertentu, yang menjadi dasar penilaian kualitas dan kinerja beton dalam berbagai aplikasi konstruksi. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan bagian atas benda uji disiapkan dengan proses pengapuran menggunakan belerang yang disebut proses *capping* untuk meratakan bidang yang akan ditekan oleh alat uji tekan. Jumlah benda uji yang akan diuji tekan adalah sebanyak 24 silinder untuk setiap variasi. Berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan pada beton di penelitian ini.

1. Silinder 1 0% kertas sludge

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{432700}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,00^2} \\
 &= 24,49 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan selisih penurunan kuat tekan rerata pada beton silinder 0% dan 15%

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase penurunan (\%)} &= \frac{f'_c 0\% - f'_c 15\%}{f'_c 0\%} \times 100\% \\
 &= \frac{22,6 \text{ MPa} - 17,05 \text{ MPa}}{22,6 \text{ MPa}} \times 100\% \\
 &= 24,01\%
 \end{aligned}$$

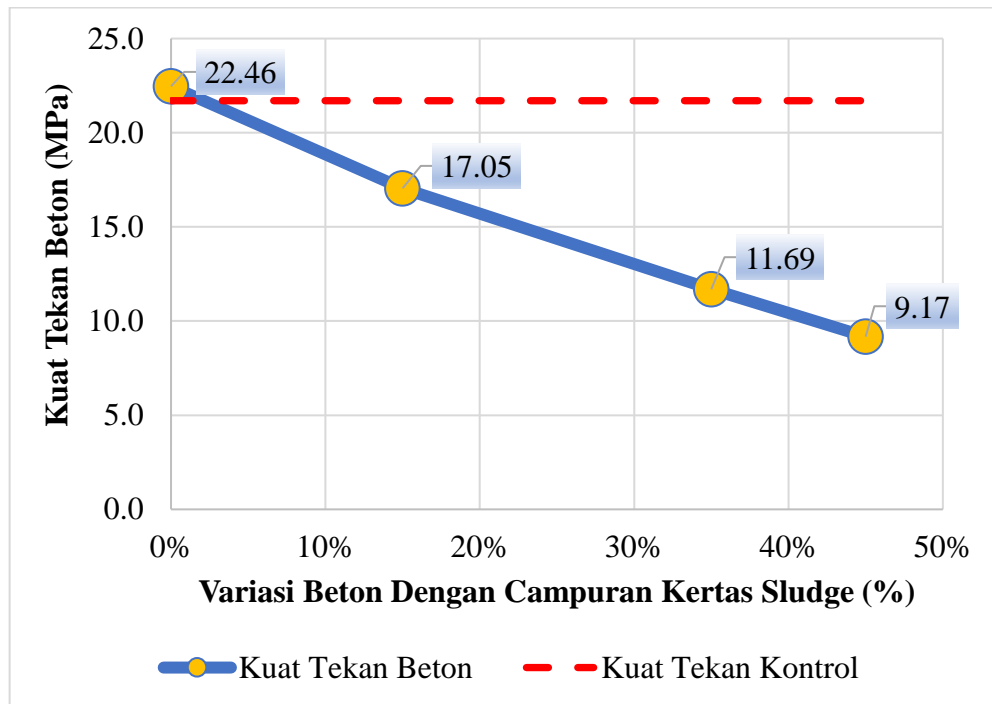
Pada pengujian yang telah dilakukan, didapatkan tabel 5.18 dan gambar grafik 5.14 merupakan hasil perhitungan kuat tekan beton tiap variasi pada penelitian dengan tambahan kertas sludge didalamnya sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

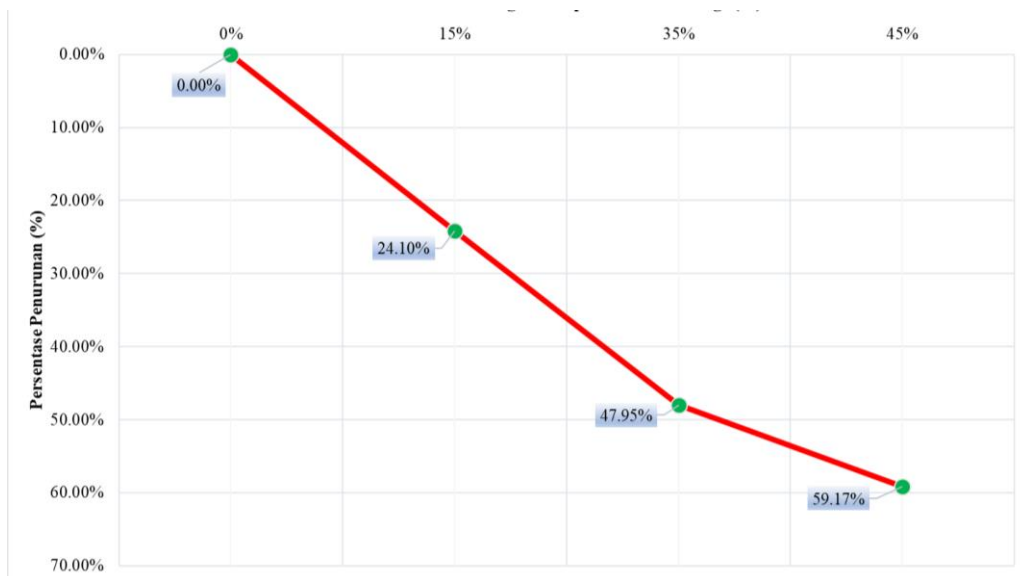
0%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.624	150	300	17.671,5	432,7	432.700	24,49
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.547	150	300	17.671,5	365	365.000	20,65
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.552	150	300	17.671,5	405,6	405.600	22,95
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.665	150	300	17.671,5	376,2	376.200	21,29
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.681	150	300	17.671,5	358,4	358.400	20,28
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.512	150	300	17.671,5	444	444.000	25,13
RATA-RATA			28	12.597	150	300	17.671,5	396,98	396.983	22,46
15%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.865	150	300	17.671,5	315,7	315.700	17,86
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.831	150	300	17.671,5	295,9	295.900	16,74
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.773	150	300	17.671,5	289,3	289.300	16,37
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.600	150	300	17.671,5	335,45	335.450	18,98
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.628	150	300	17.671,5	296,8	296.800	16,80
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.535	150	300	17.671,5	274,6	274.600	15,54
RATA-RATA			28	11.578	150	300	17.671,5	301,29	301.292	17,05

Lanjutan Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

35%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.768	150	300	17.671,5	180,7	180.700	10,23
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.657	150	300	17.671,5	183	183.000	10,36
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.951	150	300	17.671,5	189,5	189.500	10,72
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.774	150	300	17.671,5	213,9	213.900	12,10
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.815	150	300	17.671,5	276,1	276.100	15,62
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.795	150	300	17.671,5	196,5	196.500	11,12
RATA-RATA			28	10.793	150	300	17.671,5	206,62	206.617	11,69
45%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.605	150	300	17.671,5	173,1	173.100	9,80
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.550	150	300	17.671,5	151,2	151.200	8,56
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.495	150	300	17.671,5	163,9	163.900	9,27
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.468	150	300	17.671,5	163,4	163.400	9,25
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11.072	150	300	17.671,5	150,2	150.200	8,50
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.560	150	300	17.671,5	170,7	170.700	9,66
RATA-RATA			28	10.625	150	300	17.671,5	162,08	162.083	9,17



Gambar 5. 14 Grafik Tren Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Per Variasi



Gambar 5. 15 Grafik Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Per Variasi

Berdasarkan nilai rata-rata kuat tekan beton, kombinasi dengan substitusi parsial kertas sludge 15%, 35%, dan 45% dari berat pasir mencapai 18,98 MPa, merupakan nilai tertinggi pada variasi 15%. Sebaliknya, kombinasi 0% dengan substitusi parsial kertas sludge terhadap berat pasir mencapai 25,13 MPa,

merupakan nilai tertinggi. Menurut penelitian yang dilakukan Surya Bermansyah dkk (2011), penambahan kertas sludge pada beton dan mengurangi proporsi didalamnya yang melebihi 30% dari proporsi pasir akan menurunkan nilai kuat tekan pada beton. Hal ini disebabkan oleh pengaruh penambahan kertas sludge terhadap kuat tekan beton, di mana penambahan ini juga mengurangi nilai kuat tekan beton dengan komposisi air tidak dikurangi. Demikian juga menurut penelitian yang dilakukan oleh Andang Widjaja (2008), Karakteristik penyerapan air dari bubuk kertas menjadi suatu aspek yang tidak menguntungkan ketika digunakan dalam campuran papan beton. Hal ini disebabkan oleh tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan suhu lingkungan, yang menyebabkan mudahnya penguapan air dari papan tersebut. Akibatnya, ketersediaan air yang dibutuhkan oleh semen untuk bereaksi dan membentuk kalsium silikat hidrat dapat terganggu, mengakibatkan penurunan dalam kekerasan bahan tersebut.



Gambar 5. 16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 0%

Dapat dilihat juga pada gambar 5.16 diatas merupakan hasil dari pengujian kuat tekan beton. Pada keterangan A di gambar terlihat adanya retak rambut pad beton jika diberi tekanan karena beton yang digunakan memiliki kekuatan sedang maka dari itu tidak terjadinya pecah pada bagian beton. Dengan begitu dapat disimpulkan, Kekuatan beton kertas sludge 0% menjadi tertinggi karena tidak adanya penambahan kertas yang mempengaruhi penyerapan air yang cukup tinggi sehingga nilai kuat tekan beton tidak terjadi penurunan. Hal tersebut menyebabkan pada variasi 45% kertas sludge pada beton merupakan beton yang memiliki kuat tekan beton paling rendah sebesar 9,17 MPa dengan persentase penurunannya dibandingkan dengan beton 0% yaitu sebesar 59,17% dikarenakan komposisi kertas sludge didalamnya yang paling banyak.

5.7 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik beton dilaksanakan setelah benda uji mencapai usia 28 hari. Metode pengujian ini melibatkan pemberian beban pada posisi beton yang diletakkan mendatar pada mesin, sesuai dengan prosedur yang dijelaskan dalam metode SNI 03-2491-2002 tentang pengujian kuat tarik belah beton. Berikut merupakan data hasil dari pengujian kuat tarik belah beton pada penelitian ini.

1. Silinder 4 AB 0% V0%

$$\begin{aligned} f_{ct} &= \frac{2.P}{\pi.D.L} \\ &= \frac{2 \times 149000}{141.371,669} \\ &= 2,11 \text{MPa} \end{aligned}$$

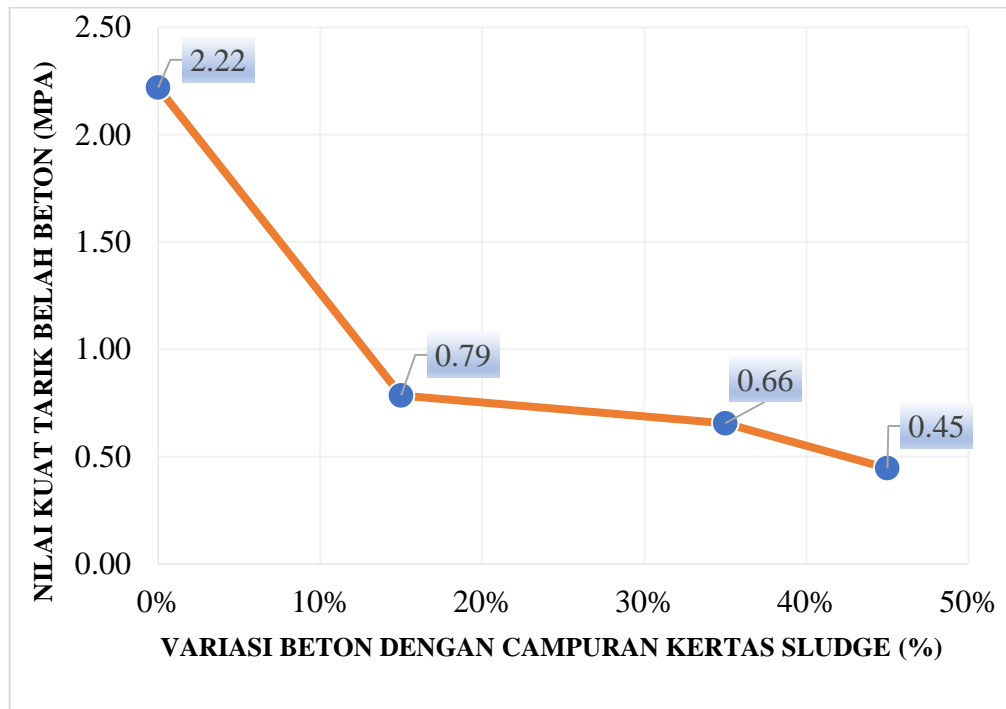
Dari pengujian yang telah dilaksanakan, ditemukan tabel 5.20 dan gambar grafik 5.15 yang menunjukkan hasil perhitungan kekuatan tarik belah beton untuk setiap variasi dalam penelitian dengan inklusi kertas sludge.

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

0%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.624	150	300	149	149.000	2,11
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.547	150	300	159	159.000	2,25
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.552	150	300	162	162.000	2,29
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.665	150	300	152	152.000	2,15
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.681	150	300	164	164.000	2,32
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.512	150	300	155	155.000	2,19
RATA-RATA			28	12.597	150	300	156,83	156.833	2,22
15%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.865	150	300	51	51.000	0,72
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.831	150	300	45	45.000	0,64
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.773	150	300	63	63.000	0,89
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.600	150	300	54	54.000	0,76
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.628	150	300	56	56.000	0,79
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.535	150	300	64	64.000	0,91
RATA-RATA			28	11.578	150	300	55,50	55.500	0,79
35%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.768	150	300	45	45.000	0,64
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.657	150	300	38	38.000	0,54
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.951	150	300	53	53.000	0,75
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.774	150	300	55	55.000	0,78
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.815	150	300	45	45.000	0,64
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.795	150	300	42	42.000	0,59
RATA-RATA			28	10.793	150	300	46,33	46.333	0,66

Lanjutan Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

45%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.605	150	300	32	32.000	0,45
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.550	150	300	31	31.000	0,44
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.495	150	300	30	30.000	0,42
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.468	150	300	33	33.000	0,47
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11.072	150	300	28	28.000	0,40
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.560	150	300	35	35.000	0,50
RATA-RATA			28	10.625	150	300	31,50	31.500	0,45



Gambar 5. 17 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton dengan Limbah Kertas

Berdasarkan tabel dan grafik hasil pengujian diatas tentang nilai rata-rata kekuatan tarik belah beton dengan substitusi parsial kertas sludge terhadap agregat halus, didapati bahwa pada substitusi parsial kertas sludge 0% dari berat agregat halus, tercapai nilai puncak kekuatan tarik belah beton, yakni 2,22 MPa. Sebaliknya, pada pada substitusi parsial kertas sludge 15%, 35%, dan 45% dari berat agregat halus, tercatat nilai terendah kekuatan tarik belah beton sebesar 0,45 MPa pada variasi 45%. Penurunan pada persentase 15%, 35% dan 45% secara

berturut-turut disebabkan oleh banyaknya agregat kasar yang lepas pada ikatan seperti gambar yang dapat dilihat pada gambar 5.18 diatas, disertai letak agregat kasar yang pecah tidak merata akibat pemadatan yang kurang maksimal pada proses pembuatan beton. Keadaan ini berpengaruh pada nilai rata-rata kekuatan tarik belah beton hasil pengujian.

5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton




Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan secara simultan dengan pengujian kuat tekan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai regangan beton, yang dihitung dari perubahan panjang dibagi panjang awal, sesuai dengan persamaan perhitungan modulus elastisitas. Pembacaan dial gauge dilakukan seiring dengan peningkatan beban hingga beban mengalami penurunan. Pengujian modulus elastisitas beton menghasilkan data tegangan dan regangan aksial selama pengujian. Contoh hasil pengujian modulus elastisitas terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 21 Hasil Tegangan dan Regangan Beton 0% No. 1

Beban (P)		Dial	Deformasi	Regangan	Regangan	Tegangan	Nilai Modulus
kN	N		(ΔL)	(ϵ')	utk	(σ)	
			Mm	%	%	Mpa	
10	10000	5	0,0025	0,000013	0,15	0,565884242	45270,73937
20	20000	12	0,006	0,000030	0,36	1,131768484	37725,61614
30	30000	26	0,013	0,000065	0,78	1,697652726	26117,73425
40	40000	35	0,0175	0,000088	1,05	2,263536968	25868,99392
50	50000	43	0,0215	0,000108	1,29	2,829421211	26320,19731
60	60000	48	0,024	0,000120	1,44	3,395305453	28294,21211
70	70000	55	0,0275	0,000138	1,65	3,961189695	28808,65233
80	80000	65	0,0325	0,000163	1,95	4,527073937	27858,91653
90	90000	74	0,037	0,000185	2,22	5,092958179	27529,50367
100	100000	83	0,0415	0,000208	2,49	5,658842421	27271,52974
110	110000	93	0,0465	0,000233	2,79	6,224726663	26773,01791
120	120000	102	0,051	0,000255	3,06	6,790610905	26629,84669
130	130000	112	0,056	0,000280	3,36	7,356495147	26273,19695
140	140000	122	0,061	0,000305	3,66	7,922379389	25975,01439
150	150000	131	0,0655	0,000328	3,93	8,488263632	25918,36223
160	160000	140	0,07	0,000350	4,20	9,054147874	25868,99392
170	170000	152	0,076	0,000380	4,56	9,620032116	25315,87399

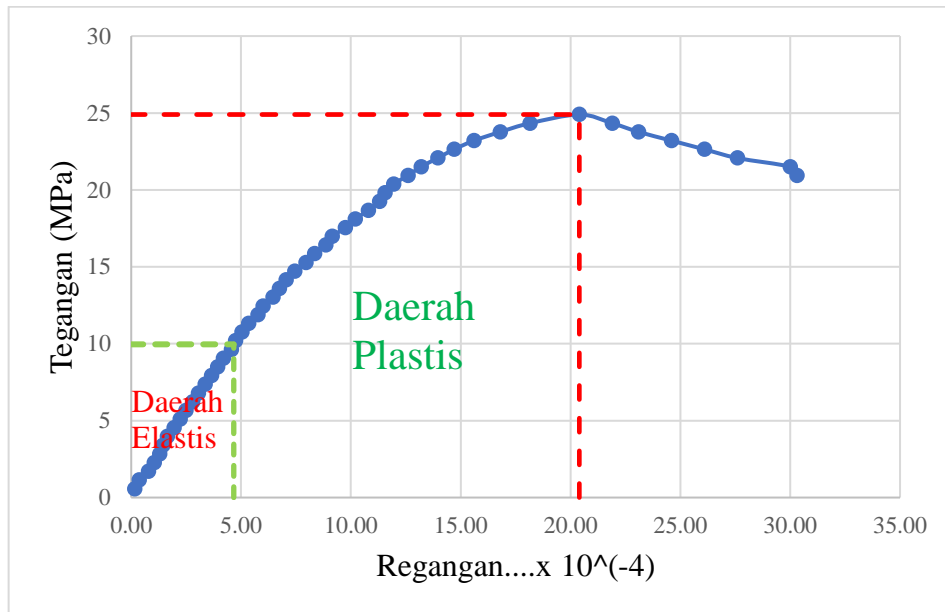
Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Tegangan dan Regangan Beton 0% No. 1

180	180000	158	0,079	0,000395	4,74	10,18591636	25787,13002
190	190000	168	0,084	0,000420	5,04	10,7518006	25599,52524
200	200000	178	0,089	0,000445	5,34	11,31768484	25432,99965
210	210000	192	0,096	0,000480	5,76	11,88356908	24757,43559
220	220000	200	0,1	0,000500	6,00	12,44945333	24898,90665
230	230000	215	0,1075	0,000538	6,45	13,01533757	24214,58152
240	240000	225	0,1125	0,000563	6,75	13,58122181	24144,39433
250	250000	235	0,1175	0,000588	7,05	14,14710605	24080,18052
260	260000	248	0,124	0,000620	7,44	14,71299029	23730,62951
270	270000	265	0,1325	0,000663	7,95	15,27887454	23062,45213
280	280000	278	0,139	0,000695	8,34	15,84475878	22798,21407
290	290000	295	0,1475	0,000738	8,85	16,41064302	22251,71935
300	300000	305	0,1525	0,000763	9,15	16,97652726	22264,29805
310	310000	325	0,1625	0,000813	9,75	17,54241151	21590,66031
320	320000	340	0,17	0,000850	10,20	18,10829575	21303,87735
330	330000	360	0,18	0,000900	10,80	18,67417999	20749,08888
340	340000	377	0,1885	0,000943	11,31	19,24006423	20413,86125
350	350000	385	0,1925	0,000963	11,55	19,80594847	20577,6088
360	360000	398	0,199	0,000995	11,94	20,37183272	20474,20373
370	370000	420	0,21	0,001050	12,60	20,93771696	19940,68282
380	380000	440	0,22	0,001100	13,20	21,5036012	19548,72836
390	390000	465	0,2325	0,001163	13,95	22,06948544	18984,50361
400	400000	490	0,245	0,001225	14,70	22,63536968	18477,8528
410	410000	520	0,26	0,001300	15,60	23,20125393	17847,1184
420	420000	560	0,28	0,001400	16,80	23,76713817	16976,52726
430	430000	605	0,3025	0,001513	18,15	24,33302241	16087,9487
440	440000	680	0,34	0,001700	20,40	24,89890665	14646,41568
430	430000	730	0,365	0,001825	21,90	24,33302241	13333,16296
420	420000	770	0,385	0,001925	23,10	23,76713817	12346,56528
410	410000	820	0,41	0,002050	24,60	23,20125393	11317,68484
400	400000	870	0,435	0,002175	26,10	22,63536968	10407,06652
390	390000	920	0,46	0,002300	27,60	22,6948544	9595,428453
380	380000	1000	0,5	0,002500	30,00	21,5036012	8601,44048
370	370000	1010	0,505	0,002525	30,30	20,93771696	8292,165132

Keterangan  = Tegangan 1
 = Tegangan 2
 = Tegangan max

Dari tabel diatas yang memuat nilai tegangan-regangan, modulus elastisitas dapat dihitung dengan membentuk grafik menggunakan program Microsoft Excel.

Dalam program tersebut, persamaan regresi linear (daerah elastisitas) digunakan, dan batas daerah elastisitas diambil kurang dari 40% dari kuat tekan maksimum. Hasil yang diperoleh dari beton kombinasi 0% pada silinder 1 dapat disimak pada Gambar dibawah ini.



Gambar 5. 19 Grafik Tegangan-Regangan Variasi 0% pada silinder 1

Pada pengujian ini, digunakan pendekatan rumus empiris dari SNI-2847-2019 Pasal 19.2.1 untuk memperoleh nilai modulus elastisitas. Benda uji variasi 0% dengan pendekatan kuat tekan beton sebesar 24,49 MPa. Modulus elastisitas benda uji variasi 0% pada silinder1 dapat dihitung berdasarkan Persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{24,49} \\
 &= 23.257,08 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sedangkan, untuk mengetahui hasil kekuatan modulus elastisitas beton dari hasil uji lapangan dapat didapatkan dengan persamaan dibawah ini.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

$$E_c = \frac{9,96-1,45}{0.000389-0.00005}$$

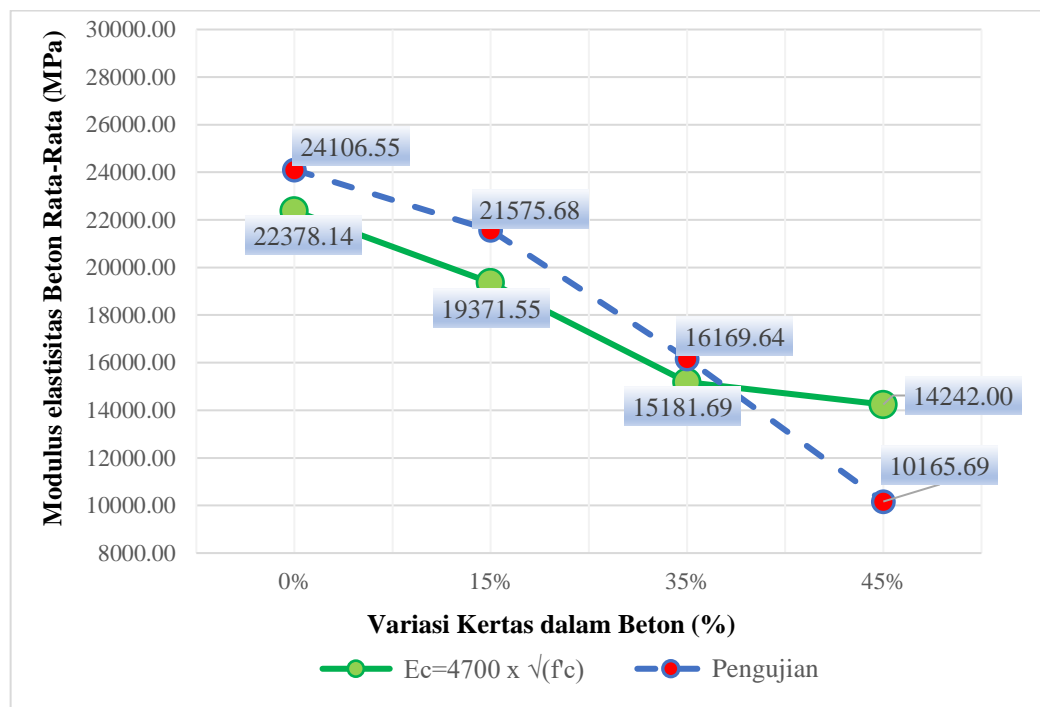
$$E_c = 25.086,82 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas beton mencerminkan kemampuan bahan untuk menahan beban yang signifikan dengan nilai regangan yang kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran bahan tersebut dapat menanggung tekanan yang cukup tinggi pada regangan yang relatif kecil. Dalam pengujian modulus elastisitas beton dengan variasi 15%, 35%, dan 45% diperoleh nilai modulus elastisitas semakin menurun seiring dengan makin banyak penambahan kertas sludge didalam beton berdasarkan metode SNI-2847-2019 Pasal 19.2.2. Penambahan kertas sludge dalam komposisi beton menghasilkan beton yang lebih getas, yang pada gilirannya menurunkan nilai modulus elastisitas beton. Beton dengan modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan kemampuan untuk mengalami deformasi inelastis bolak-balik berulang, sementara beton dengan modulus rendah cenderung lebih getas. Rekapitan hasil perhitunagn pengujian modulus elastisitas beton pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.24 dan grafik dibawah ini.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

Benda Uji	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus Elastisitas, E (MPa)		
		Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis	
0%	1	24,49	25086,82	23257,08	24106,55	22378,14
	2	20,65	22064,73	21360,34		
	3	22,95	25168,11	22517,01		
15%	1	17,86	26670,07	19865,47	21575,68	19371,55
	2	16,74	18477,85	19232,43		
	3	16,37	19579,12	19016,73		
35%	1	10,23	14507,25	15029,37	16169,64	15181,69
	2	10,36	19245,16	15124,72		
	3	10,72	14756,52	15390,98		
45%	1	9,80	9880,52	14709,92	10165,69	14242,00
	2	9,27	7847,87	14313,67		
	3	8,50	12768,67	13702,40		

Berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas yang terdapat dalam tabel 5.24 diatas, dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas dengan menggunakan metode SNI 2847-2019 dan dibandingkan dengan modulus elastisitas dengan pengujian semakin banyak variasi kertas didalam beton maka tidak mengalami penurunan dan kenaikan secara signifikan. Hal ini dikarenakan, modulus elastisitas beton mencerminkan kemampuannya untuk menerima beban besar dengan regangan yang kecil, menunjukkan bahwa campuran tersebut mampu menahan tekanan yang signifikan pada regangan minimal. Grafik hasil pengujian modulus elastisitas pada beton dapat dilihat dalam gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5. 20 Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi 0% dengan adanya substitusi parsial limbah kertas terhadap pasir memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan metode SNI 2847-2019 dan pengujian. Namun, pada kombinasi dengan persentase kertas didalamnya, terjadi penurunan nilai modulus elastisitas karena tingginya kemampuan kertas untuk menyerap air sehingga membuat beton

menjadi lunak dan mudah patah. Oleh karena itu, penambahan kertas pada beton mengakibatkan penurunan nilai modulus elastisitas.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, pengujian beton dilakukan dengan variasi penggantian parsial kertas sludge terhadap agregat halus pada komposisi beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tertinggi diperoleh pada variasi 0% dan 15%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan kertas sludge dalam komposisi beton normal dengan mengurangi penggunaan pasir dapat menurunkan kuat tekan beton sebesar 0-60% setiap penambahan komposisinya. Hal ini disebabkan oleh sifat pasir yang sangat menyerap air dan tidak sekuat sebagai pengisi rongga agregat kasar. Ini merupakan kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini.

1. Dengan adanya komposisi limbah kertas didalam beton tidak mengalami perubahan yang signifikan terhadap karakteristik sifat fisik beton. Pada komposisi 15% dan 35%, tidak terlihat perbedaan yang signifikan dengan beton normal 0%, yang ditandai dengan bentuk yang kokoh dan permukaan beton tanpa adanya rongga agregat yang terlihat. Namun, pada beton dengan komposisi 45%, terjadi gejala keropos pada permukaan atas dan bawah beton, menandakan mulai berkurangnya tingkat kekuatan beton akibat komposisi kertas sludge yang lebih tinggi.
2. Proporsi limbah kertas pada beton dapat mengurangi kekuatan beton dengan persentase minimal penurunannya yaitu sebesar 24,1% dengan mutu beton rata-rata 17,05 MPa pada beton dengan variasi kertas sludge sebanyak 15% dari pasir dalam beton dari beton yang menjadi pembanding yaitu beton dengan variasi 0% limbah kertas sludge didalamnya dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 22,46 MPa. Sedangkan persentase paling besar didapat pada variasi 45% dengan mutu beton rata-rata sebesar 9,17 MPa dengan penurunan sebesar 59,4%. Oleh karena itu kekuatan tekan ini berpengaruh

dengan kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas beton yang menurun. Hal ini disebabkan oleh sifat material pada kertas sludge yang menyerap air sehingga beton yang memiliki kandungan kertas juga memiliki nilai penyerapan air yang tinggi yang dapat mengurangi kekuatan dan kekerasan pada beton

3. Pengaruh kelayakan substitusi parsial agregat halus dengan kertas sludge dalam campuran beton. Beton yang memiliki proporsi kertas sludge tidak layak jika digunakan untuk beton yang mengalami pembebanan yang tinggi dikarenakan kuat tekan dan kuat tarik pada beton tidak sekuat beton normal yang biasa digunakan secara konvensional. Tetapi, jika digunakan untuk beton yang non struktural dan tidak mengalami pembebanan yang cukup kuat ada potensi beton dapat digunakan.

6.2 Saran

Dari kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini didapatkan saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai bahan acuan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran tersebut peneliti rangkum dalam poin dibawah ini.

1. Pada penambahan kertas sludge harus memperhatikan komposisi air didalam campurannya, hal ini disebabkan karena penambahan komposisi kertas ini menyebabkan campuran beton sangat mudah menerima air didalamnya.
2. Pada penelitian ini dapat dicoba dengan variasi kertas sludge sebagai pengganti pasir yang lebih sedikit untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada setiap variasi dan dapat berguna secara berkelanjutan untuk menjaga kelestarian alam terhadap efek pengurukan pasir secara berlebihan.
3. Beton yang digunakan dapat diteliti dari beton partisi non-struktural, peneliti menyimpulkan bahwa ada potensi dari hasil pengujian ini untuk penelitian selanjutnya kertas sludge dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus pada beton partisi atau beton non-struktural dengan variasi komposisi

yang lebih sedikit, hal ini dikarenakan adanya kuat tekan yang mencukupi untuk beton normal yaitu pada 15% dengan kuat tekan 18,84 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- HADI, H.S., 2018. Analisis Penambahan Limbah Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan. *Ganec Swara*, 12(1), pp.94-98.
- Pratama, E. and Hisyam, E.S., 2016. Kajian kuat Tekan dan kuat tarik belah beton kertas (papercrete) dengan baha(228-Article Text-400-1-10-20200810, n.d.)n tambah serat nylon. In *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)* (Vol. 4, No. 1, pp. 27-38).
- Israini, D. and Rahman, A., 2018. Analisis Proporsi Bubur Kertas dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton Kertas (Papercrete). *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 2(1).
- Putra, D.M., 2018. Analisa Pengaruh Penambahan Limbah Kertas terhadap Kuat Tekan Beton Ringan untuk Partisi Gedung.
- Safarizki, H.A. and Ristanto, I., 2018. Kajian Kuat Tekan Papercrete Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Limbah Keramik. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 4(2), pp.69-75.
- Tandipayuk, R.P., Karakteristik Beton Ringan Kuat Tekan 35 MPa Menggunakan Limbah Kertas Sebagai Substitusi Parsial Agregar Halus.
- KECAMATAN RAWAMERTA KABUPATEN KARAWANG Muharam, D., Lestari, A., Studi Agroteknologi, P., Pertanian, F., Studi Manajemen, P., Ekonomi Universitas Singaperbangsa Karawang, F., Ronggowaluyo Desa Puseurjaya, J. H., & Telukjambe Timur, K. (n.d.). *PEMANFAATAN LIMBAH SLUDGE INDUSTRI KERTAS MENJADI PUPUK ORGANIK SEBAGAI SUATU UPAYA PENANGGULANGAN PENCEMARAN LINGKUNGAN DAN PENGEMBANGAN EKONOMI BUDIDAYA KEMBANG KOL*.
- Saam, Z., & Siregar, S. H. (2018). SEKITAR SUNGAI INDRAGIRI. In *Jurnal Photon* (Vol. 8, Issue 2).
- SK SNI S-04-1989-F. 1989. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam). Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

- SNI 03-2495. 1991. Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2834. 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-3449. 2002. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Ringan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1972. 2008. Cara Uji Slump Beton. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974. 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 6433. 2016. Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Keras. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7974. 2013. Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Time Schedule Tugas Akhir

No	KEGIATAN	Bulan		AGUSTUS 2023				SEPTEMBER 2023				OKTOBER 2023				NOVEMBER 2023				
		Minggu ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
		Waktu(Jam)	Bobot (%)																	
1	Laporan Awal	15	7,89	3,9	3,9															
2	Pengolahan data																			
	Perhitungan	30	15,79			3,9	3,9	3,9	3,9											
	Pengecekan Hasil Perhitungan	5	2,63					1,3	1,3											
	Pembuatan benda uji	45	23,68							7,7	7,7	7,7	7,7							
	Perawatan benda uji	20	10,53											3,1	3,1	3,1	3,1			
	Pengujian benda uji	10	5,26												1,3	1,3	1,3	1,3		
4	Hasil Perhitungan	20	10,53													2,6	2,6	2,6	2,6	
5	Laporan akhir	45	23,68																7,7	7,7
TOTAL		190	100	3,9	3,9	3,9	3,9	5,2	5,2	7,7	7,7	7,7	10,8	4,4	7,0	7,0	3,9	10,3	7,7	
KUMULATIF			0	3,9	7,7	11,6	15,5	20,6	25,8	33,5	41,2	49,0	59,8	64,2	71,1	78,1	82,0	92,3	100,0	

Gambar L-1. 1 Time Schedule

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-2. 1 Concrete Mixer



Gambar L-2. 2 Kerucut Abrams



Gambar L-2. 3 Alat Uji Tekan Beton



Gambar L-2. 4 Mesin Saringan Agregat



Gambar L-2. 5 Gerobak Angkut



Gambar L-2. 6 Bekisting Beton



Gambar L-2. 7 Cetakan Capping Beton



Gambar L-2. 8 Mesin Uji Tarik Belah Beton



Gambar L-2. 9 Piknometer



Gambar L-2. 10 Sekop Material



Gambar L-2. 11 Timbangan



Gambar L-2. 12 Oven



Gambar L-2. 13 Saringan Agregat



Gambar L-2. 14 Alat Ukur



Gambar L-2. 15 Agregat Kasar



Gambar L-2. 16 Semen Tiga Roda



Gambar L-2. 17 Agregat Halus Sungai Progo

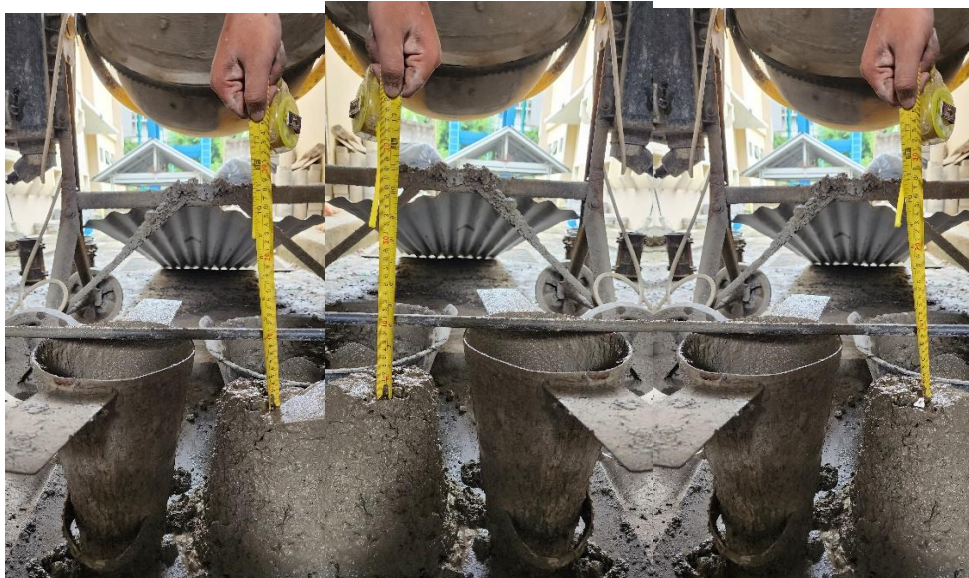


Gambar L-2. 18 Limbah Kertas



Gambar L-2. 19 Proses Pembuatan Benda Uji

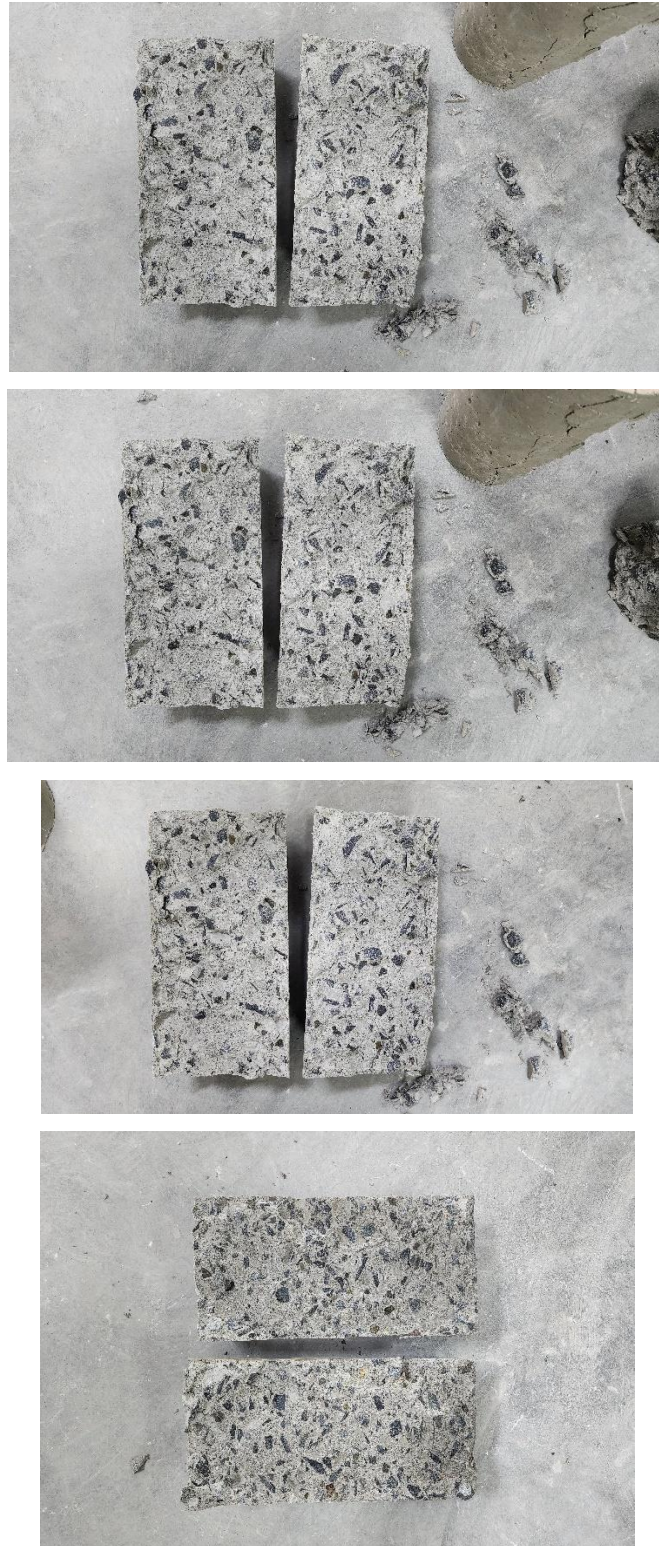
Lampiran 3 Gambar Hasil Pengujian Benda Uji



Gambar L-3. 1 Hasil Pengujian Slump



Gambar L-3. 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



**Gambar L-3. 3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Persebaran
Komposisi dalam Beton**



Gambar L-3. 4 Hasil Pengujian tarik Belah Beton

Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Bahan

1. Modulus Halus Butir

AGREGAT KASAR				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	154	3.08	3.08	96.92
10.00	2687	53.74	56.82	43.18
4.80	2055	41.1	97.92	2.08
2.40	89	1.78	99.70	0.3
1.20	2	0.04	99.74	0.26
0.60	0	0	99.74	0.26
0.30	0	0	99.74	0.26
0.15	0	0	99.74	0.26
Sisa	13	0.26		100
Jumlah	5000	100	656.48	
MHB =				
Berat tertinggal	=	2.4	→	

AGREGAT HALUS				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	8	0.40	0.40	99.6
2.40	172	8.60	9.00	91
1.20	275	13.75	22.75	77.25
0.60	786	39.30	62.05	37.95
0.30	302	15.10	77.15	22.85
0.15	331	16.55	93.70	6.3
Sisa	126	6.30	100.00	0.00
Jumlah	2000	100	265.05	
MHB =				
Berat tertinggal	=	2.7	→	
			Pasir Halus (2.20-2.60)	
			Pasir Sedang (2.60-2.90)	
			Pasir Kasar (2.90-3.20)	

Kertas				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	0	0.00	0.00	100
2.40	64	3.20	3.20	96.8
1.20	641	32.05	35.25	64.75
0.60	686	34.30	69.55	30.45
0.30	252	12.60	82.15	17.85
0.15	231	11.55	93.70	6.3
Sisa	126	6.30	100.00	0.00
Jumlah	2000	100	283.85	
MHB =				Pasir Halus (2.20-2.60)
Berat tertinggal	=	2.8	→	Pasir Sedang (2.60-2.90)
				Pasir Kasar (2.90-3.20)

2. Berat Jenis Agregat

Agregat Halus			
Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	489	487.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1037	1008	1022.5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732	695	713.5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.4923	2.6150	2.553640477
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.564	2.674	2.619
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.6851	2.7784	2.731745982
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2.88%	2.25%	2.57%

Agregat Kasar			
Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutal (Bk)	4900	4919	4909.5
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082	3102	3092
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.555	2.592	2.573
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.607	2.634	2.621
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.695	2.707	2.701
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2.04%	1.65%	1.84%

Limbah Kertas

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	398	387	392.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	985	977	981
Berat piknometer berisi air, gram (B)	765	733	749
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	1.4214	1.5117	1.466573661
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	1.786	1.953	1.869
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.2360	2.7063	2.471124381
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	25.63%	29.20%	27.41%

3. Berat Isi Padat dan Gembur

BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS			
Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15.102	15.053	15.0775
Tinggi Silinder (cm)	30.214	30.940	30.577
Berat Tabung (W1), gram	10275	10649	10462
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18476	18789	18632.5
Berat Agregat (W3), gram	8201	8140	8170.5
Volume Tabung (V), cm ³	5412.115	5506.255	5459.185
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1.515	1.478	1.497
BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR			
Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15.025	15.950	15.4875
Tinggi Silinder (cm)	30.05	30.100	30.075
Berat Tabung (W1), gram	10698	11756	11227
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18559	19016	18787.5
Berat Agregat (W3), gram	7861	7260	7560.5
Volume Tabung (V), cm ³	5327.9890	6014.198	5671.094
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1.4754	1.207	1.341

BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS			
Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15.102	15.053	15.0775
Tinggi Silinder (cm)	30.214	30.94	30.577
Berat Tabung (W1), gram	10275	10649	10462
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18250	18456	18353
Berat Agregat (W3), gram	7975	7807	7891
Volume Tabung (V), cm ³	5412.115	5506.255	5459.185
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1.474	1.418	1.446
BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR			
Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Silinder (cm)	15.025	15.950	15.4875
Tinggi Silinder (cm)	30.05	30.100	30.075
Berat Tabung (W1), gram	10698	11756	11227
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17956	17998	17977
Berat Agregat (W3), gram	7258	6242	6750
Volume Tabung (V), cm ³	5327.9890	6014.198	5671.094
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1.3622	1.038	1.200

4. Lolos Saringan 200

AGREGAT HALUS			
Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	489	491	490
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2.20%	1.80%	2.00%

Lampiran 5 Data Hasil Mix Design

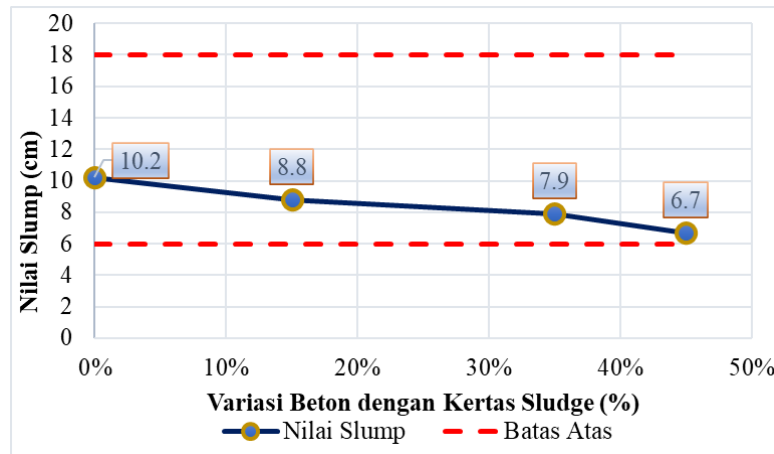
Material Penyusun	Proporsi Campuran Dasar		Variasi Kertas Sludge (kg)			
			0%	15%	35%	45%
Air	205.00	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
Semen	341.67	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81
Agregat Halus	743.06	3.94	3.94	3.35	2.56	2.17
Agregat Kasar	1069.28	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67
Kertas Sludge	0.00	0.00	0.00	0.59	1.38	1.77

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Penyerapan Air dan Slump Beton

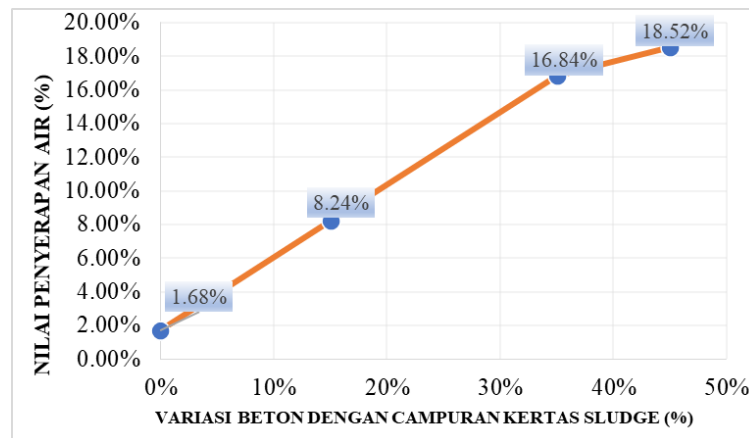
0%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W gr	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.624	150	300	17.671,5	12.854	1,82%	10,2
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.547	150	300	17.671,5	12.712	1,32%	10,2
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.552	150	300	17.671,5	12.765	1,70%	10,2
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.665	150	300	17.671,5	12.895	1,82%	10,2
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.681	150	300	17.671,5	12.901	1,73%	10,2
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.512	150	300	17.671,5	12.722	1,68%	10,2
RATA-RATA			28	12.597	150	300	17.671,5	12.808,16	1,68%	10,2
15%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W gr	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.865	150	300	17.671,5	12.785	7,75%	8,8
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.831	150	300	17.671,5	12.694	7,29%	8,8
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.773	150	300	17.671,5	12.665	7,58%	8,8
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.600	150	300	17.671,5	12.632	8,90%	8,8
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.628	150	300	17.671,5	12.540	7,84%	8,8
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.535	150	300	17.671,5	12.700	10,10%	8,8
RATA-RATA			28	11.578	150	300	17.671,5	12.669,33	8,24%	8,8

35%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W gr	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.768	150	300	17.671,5	12.665	17,62%	7,9
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.657	150	300	17.671,5	12.621	18,43%	7,9
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.951	150	300	17.671,5	12.610	15,15%	7,9
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.774	150	300	17.671,5	12.684	17,73%	7,9
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.815	150	300	17.671,5	12.520	15,77%	7,9
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.795	150	300	17.671,5	12.562	16,37%	7,9
RATA-RATA			28	10.793	150	300	17.671,5	12.610,33	16,84%	7,9
45%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	WS (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	WW gr	W gr	SLUMP cm
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)				
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.605	150	300	17.671,5	12.601	18,82%	6,7
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.550	150	300	17.671,5	12.595	19,38%	6,7
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.495	150	300	17.671,5	12.555	19,63%	6,7
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.468	150	300	17.671,5	12.631	20,66%	6,7
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11.072	150	300	17.671,5	12.521	13,09%	6,7
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.560	150	300	17.671,5	12.622	19,53%	6,7
RATA-RATA			28	10.625	150	300	17.671,5	12.587,50	18,52%	6,7

REKAP		
VARIASI	PENYERAPAN AIR	SLUMP
0%	1,68%	10.2
15%	8,24%	8.8
35%	16,84%	7.9
45%	18,52%	6.7



Gambar L- 6. 1 Grafik Pengujian Slump Beton



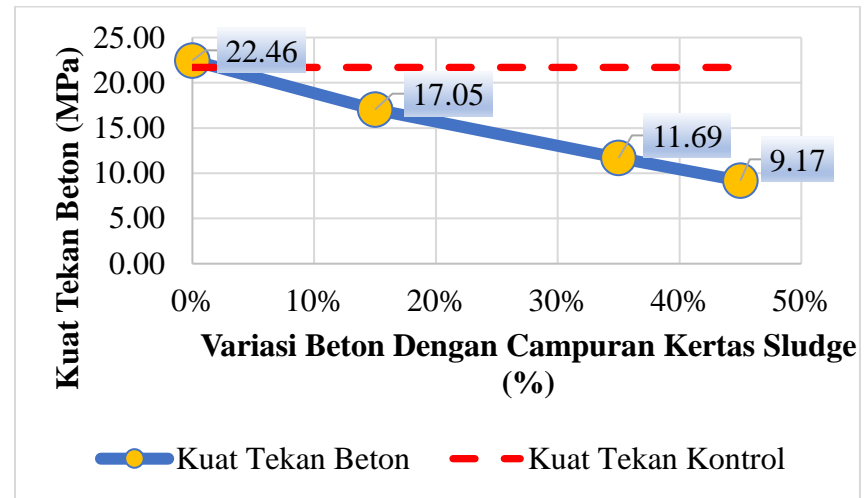
Gambar L- 6. 2 Grafik Hasil Nilai Penyerapan Air Beton

Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas Beton

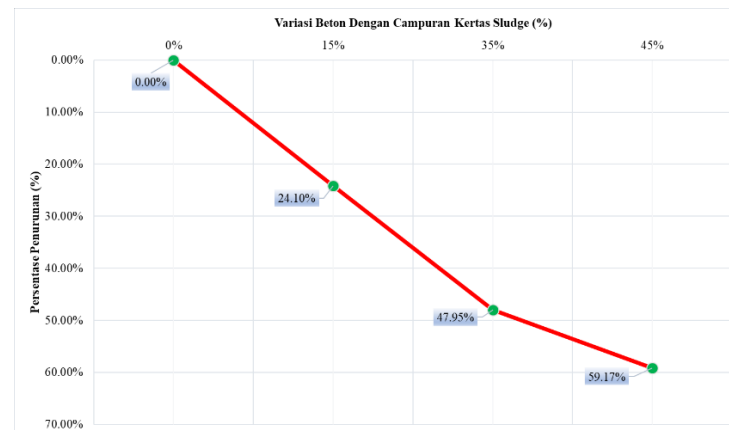
0%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12624	150	300	17671.5	432.7	432700	24.49
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12547	150	300	17671.5	365	365000	20.65
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12552	150	300	17671.5	405.6	405600	22.95
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12665	150	300	17671.5	376.2	376200	21.29
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12681	150	300	17671.5	358.4	358400	20.28
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12512	150	300	17671.5	444	444000	25.13
RATA-RATA			28	12597	150	300	17671.5	396.98	396983	22.46
15%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11865	150	300	17671.5	315.7	315700	17.86
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11831	150	300	17671.5	295.9	295900	16.74
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11773	150	300	17671.5	289.3	289300	16.37
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11600	150	300	17671.5	335.45	335450	18.98
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11628	150	300	17671.5	296.8	296800	16.80
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11535	150	300	17671.5	274.6	274600	15.54
RATA-RATA			28	11578	150	300	17671.5	301.29	301292	17.05

35%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10768	150	300	17671.5	180.7	180700	10.23
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10657	150	300	17671.5	183	183000	10.36
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10951	150	300	17671.5	189.5	189500	10.72
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10774	150	300	17671.5	213.9	213900	12.10
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10815	150	300	17671.5	276.1	276100	15.62
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10795	150	300	17671.5	196.5	196500	11.12
RATA-RATA			28	10793	150	300	17671.5	206.62	206617	11.69
45%										
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		LUAS PENAMPANG mm ²	BEBAN MAXIMUM		KUAT TEKAN PADA UMUR UJI Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)		kN	N	
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10605	150	300	17671.5	173.1	173100	9.80
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10550	150	300	17671.5	151.2	151200	8.56
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10495	150	300	17671.5	163.9	163900	9.27
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10468	150	300	17671.5	163.4	163400	9.25
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11072	150	300	17671.5	150.2	150200	8.50
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10560	150	300	17671.5	170.7	170700	9.66
RATA-RATA			28	10625	150	300	17671.5	162.08	162083	9.17

REKAP			SELISIH	
VARIASI	KUAT TEKAN RERATA	SLUMP	F'C	SLUMP
0%	22.46	10.2	0.00%	0.00%
15%	17.05	8.8	5.42%	1.40%
35%	11.69	7.9	10.77%	2.30%
45%	9.17	6.7	13.29%	3.50%



Gambar L - 7. 1 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton



Gambar L - 7. 2 Grafik Selisih Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton

Modulus Elastitas Beton 0%

No. Benda Uji = 1
 Mutu beton = 24.49 Mpa
 Diameter (L) = 150 mm
 Tinggi (B) = 300 mm
 Luas penampang (A) = 17671.5 mm²
 Panjang awal (Lo) = 200 mm
 beban maksimum = 432.7 kN
 = 432700 N
 40% Beban Maksimum = 173.08 kN
 = 173080 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL) mm	Regangan (ε') %	Regangan utk %	Tegangan (σ) Mpa	Nilai Modulus
kN	N						
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	12	0.006	0.000030	0.36	1.131768484	37725.61614
30	30000	26	0.013	0.000065	0.78	1.697652726	26117.73425
40	40000	35	0.0175	0.000088	1.05	2.263536968	25868.99392
50	50000	43	0.0215	0.000108	1.29	2.829421211	26320.19731
60	60000	48	0.024	0.000120	1.44	3.395305453	28294.21211
70	70000	55	0.0275	0.000138	1.65	3.961189695	28808.65233
80	80000	65	0.0325	0.000163	1.95	4.527073937	27858.91653

90	90000	74	0.037	0.000185	2.22	5.092958179	27529.50367
100	100000	83	0.0415	0.000208	2.49	5.658842421	27271.52974
110	110000	93	0.0465	0.000233	2.79	6.224726663	26773.01791
120	120000	102	0.051	0.000255	3.06	6.790610905	26629.84669
130	130000	112	0.056	0.000280	3.36	7.356495147	26273.19695
140	140000	122	0.061	0.000305	3.66	7.922379389	25975.01439
150	150000	131	0.0655	0.000328	3.93	8.488263632	25918.36223
160	160000	140	0.07	0.000350	4.20	9.054147874	25868.99392
170	170000	152	0.076	0.000380	4.56	9.620032116	25315.87399
180	180000	158	0.079	0.000395	4.74	10.18591636	25787.13002
190	190000	168	0.084	0.000420	5.04	10.7518006	25599.52524
200	200000	178	0.089	0.000445	5.34	11.31768484	25432.99965
210	210000	192	0.096	0.000480	5.76	11.88356908	24757.43559
220	220000	200	0.1	0.000500	6.00	12.44945333	24898.90665
230	230000	215	0.1075	0.000538	6.45	13.01533757	24214.58152
240	240000	225	0.1125	0.000563	6.75	13.58122181	24144.39433
250	250000	235	0.1175	0.000588	7.05	14.14710605	24080.18052
260	260000	248	0.124	0.000620	7.44	14.71299029	23730.62951
270	270000	265	0.1325	0.000663	7.95	15.27887454	23062.45213
280	280000	278	0.139	0.000695	8.34	15.84475878	22798.21407
290	290000	295	0.1475	0.000738	8.85	16.41064302	22251.71935
300	300000	305	0.1525	0.000763	9.15	16.97652726	22264.29805
310	310000	325	0.1625	0.000813	9.75	17.54241151	21590.66031
320	320000	340	0.17	0.000850	10.20	18.10829575	21303.87735

330	330000	360	0.18	0.000900	10.80	18.67417999	20749.08888
340	340000	377	0.1885	0.000943	11.31	19.24006423	20413.86125
350	350000	385	0.1925	0.000963	11.55	19.80594847	20577.6088
360	360000	398	0.199	0.000995	11.94	20.37183272	20474.20373
370	370000	420	0.21	0.001050	12.60	20.93771696	19940.68282
380	380000	440	0.22	0.001100	13.20	21.5036012	19548.72836
390	390000	465	0.2325	0.001163	13.95	22.06948544	18984.50361
400	400000	490	0.245	0.001225	14.70	22.63536968	18477.8528
410	410000	520	0.26	0.001300	15.60	23.20125393	17847.1184
420	420000	560	0.28	0.001400	16.80	23.76713817	16976.52726
430	430000	605	0.3025	0.001513	18.15	24.33302241	16087.9487
440	440000	680	0.34	0.001700	20.40	24.89890665	14646.41568
430	430000	730	0.365	0.001825	21.90	24.33302241	13333.16296
420	420000	770	0.385	0.001925	23.10	23.76713817	12346.56528
410	410000	820	0.41	0.002050	24.60	23.20125393	11317.68484
400	400000	870	0.435	0.002175	26.10	22.63536968	10407.06652
390	390000	920	0.46	0.002300	27.60	22.06948544	9595.428453
380	380000	1000	0.5	0.002500	30.00	21.5036012	8601.44048
370	370000	1010	0.505	0.002525	30.30	20.93771696	8292.165132

Modulus Elastitas Beton 0%

No. Benda Uji = 2
 Mutu beton = 20.65 Mpa
 Diameter (L) = 150 mm
 Tinggi (B) = 300 mm
 Luas penampang (A) = 17671.5 mm²
 Panjang awal (Lo) = 200 mm
 beban maksimum = 365 kN
 = 365000 N
 40% Beban Maksimum = 146 kN
 = 146000 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL) mm	Regangan (ϵ') %	Regangan utk %	Tegangan (σ) Mpa	Nilai Modulus
kN	N						
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	15	0.0075	0.000038	0.45	1.131768484	30180.49291
30	30000	18	0.009	0.000045	0.54	1.697652726	37725.61614
40	40000	28	0.014	0.000070	0.84	2.263536968	32336.24241
50	50000	38	0.019	0.000095	1.14	2.829421211	29783.38116
60	60000	47	0.0235	0.000118	1.41	3.395305453	28896.21662
70	70000	58	0.029	0.000145	1.74	3.961189695	27318.54962
80	80000	68	0.034	0.000170	2.04	4.527073937	26629.84669
90	90000	75	0.0375	0.000188	2.25	5.092958179	27162.44362

100	100000	85	0.0425	0.000213	2.55	5.658842421	26629.84669
110	110000	98	0.049	0.000245	2.94	6.224726663	25407.0476
120	120000	108	0.054	0.000270	3.24	6.790610905	25150.41076
130	130000	120	0.06	0.000300	3.60	7.356495147	24521.65049
140	140000	131	0.0655	0.000328	3.93	7.922379389	24190.47142
150	150000	141	0.0705	0.000353	4.23	8.488263632	24080.18052
160	160000	156	0.078	0.000390	4.68	9.054147874	23215.76378
170	170000	170	0.085	0.000425	5.10	9.620032116	22635.36968
180	180000	185	0.0925	0.000463	5.55	10.18591636	22023.60294
190	190000	203	0.1015	0.000508	6.09	10.7518006	21185.81399
200	200000	218	0.109	0.000545	6.54	11.31768484	20766.39421
210	210000	222	0.111	0.000555	6.66	11.88356908	21411.83619
220	220000	241	0.1205	0.000603	7.23	12.44945333	20662.99307
230	230000	258	0.129	0.000645	7.74	13.01533757	20178.81794
240	240000	279	0.1395	0.000698	8.37	13.58122181	19471.28575
250	250000	308	0.154	0.000770	9.24	14.14710605	18372.865
260	260000	330	0.165	0.000825	9.90	14.71299029	17833.92763
270	270000	361	0.1805	0.000903	10.83	15.27887454	16929.50087
280	280000	382	0.191	0.000955	11.46	15.84475878	16591.37045
290	290000	410	0.205	0.001025	12.30	16.41064302	16010.38344
300	300000	415	0.2075	0.001038	12.45	16.97652726	16362.91784
310	310000	445	0.2225	0.001113	13.35	17.54241151	15768.45978
320	320000	480	0.24	0.001200	14.40	18.10829575	15090.24646
330	330000	515	0.2575	0.001288	15.45	18.67417999	14504.21747

340	340000	555	0.2775	0.001388	16.65	19.24006423	13866.71296
350	350000	595	0.2975	0.001488	17.85	19.80594847	13314.92334
360	360000	645	0.3225	0.001613	19.35	20.37183272	12633.69471
370	370000	700	0.35	0.001750	21.00	20.93771696	11964.40969
360	360000	780	0.39	0.001950	23.40	20.37183272	10447.0937
350	350000	851	0.4255	0.002128	25.53	19.80594847	9309.493995
340	340000	940	0.47	0.002350	28.20	19.24006423	8187.261375
330	330000	1056	0.528	0.002640	31.68	18.67417999	7073.553026
320	320000	1081	0.5405	0.002703	32.43	18.10829575	6700.571969
310	310000	1092	0.546	0.002730	32.76	17.54241151	6425.79176
300	300000	680	0.34	0.001700	20.40	16.97652726	9986.192508
290	290000	730	0.365	0.001825	21.90	16.41064302	8992.133162
280	280000	770	0.385	0.001925	23.10	15.84475878	8231.043522
270	270000	820	0.41	0.002050	24.60	15.27887454	7453.10953
260	260000	870	0.435	0.002175	26.10	14.71299029	6764.593239
250	250000	920	0.46	0.002300	27.60	14.14710605	6150.915675
240	240000	1000	0.5	0.002500	30.00	13.58122181	5432.488724
230	230000	1010	0.505	0.002525	30.30	13.01533757	5154.589136

Modulus Elastitas Beton 0%

No. Benda Uji = 3
 Mutu beton = 22.95 Mpa
 Diameter (L) = 150 mm
 Tinggi (B) = 300 mm
 Luas penampang (A) = 17671.5 mm²
 Panjang awal (Lo) = 200 mm
 beban maksimum = 405.6 kN
 = 405600 N
 40% Beban Maksimum = 162.24 kN
 = 162240 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N						
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	8	0.004	0.000020	0.24	1.131768484	56588.42421
30	30000	22	0.011	0.000055	0.66	1.697652726	30866.41321
40	40000	31	0.0155	0.000078	0.93	2.263536968	29206.92862
50	50000	41	0.0205	0.000103	1.23	2.829421211	27604.10937
60	60000	49	0.0245	0.000123	1.47	3.395305453	27716.77921
70	70000	53	0.0265	0.000133	1.59	3.961189695	29895.77128
80	80000	63	0.0315	0.000158	1.89	4.527073937	28743.32658
90	90000	73	0.0365	0.000183	2.19	5.092958179	27906.62016

100	100000	85	0.0425	0.000213	2.55	5.658842421	26629.84669
110	110000	96	0.048	0.000240	2.88	6.224726663	25936.3611
120	120000	107	0.0535	0.000268	3.21	6.790610905	25385.46133
130	130000	111	0.0555	0.000278	3.33	7.356495147	26509.89242
140	140000	121	0.0605	0.000303	3.63	7.922379389	26189.68393
150	150000	129	0.0645	0.000323	3.87	8.488263632	26320.19731
160	160000	137	0.0685	0.000343	4.11	9.054147874	26435.46824
170	170000	149	0.0745	0.000373	4.47	9.620032116	25825.58957
180	180000	156	0.078	0.000390	4.68	10.18591636	26117.73425
190	190000	163	0.0815	0.000408	4.89	10.7518006	26384.78675
200	200000	173	0.0865	0.000433	5.19	11.31768484	26168.05744
210	210000	188	0.094	0.000470	5.64	11.88356908	25284.18954
220	220000	197	0.0985	0.000493	5.91	12.44945333	25278.07782
230	230000	210	0.105	0.000525	6.30	13.01533757	24791.11918
240	240000	219	0.1095	0.000548	6.57	13.58122181	24805.88459
250	250000	229	0.1145	0.000573	6.87	14.14710605	24711.10228
260	260000	241	0.1205	0.000603	7.23	14.71299029	24419.9009
270	270000	256	0.128	0.000640	7.68	15.27887454	23873.24146
280	280000	263	0.1315	0.000658	7.89	15.84475878	24098.49244
290	290000	275	0.1375	0.000688	8.25	16.41064302	23870.02621
300	300000	288	0.144	0.000720	8.64	16.97652726	23578.51009
310	310000	301	0.1505	0.000753	9.03	17.54241151	23312.17476
320	320000	312	0.156	0.000780	9.36	18.10829575	23215.76378
330	330000	326	0.163	0.000815	9.78	18.67417999	22913.10428

340	340000	342	0.171	0.000855	10.26	19.24006423	22502.9991
350	350000	353	0.1765	0.000883	10.59	19.80594847	22443.0011
360	360000	382	0.191	0.000955	11.46	20.37183272	21331.76201
370	370000	415	0.2075	0.001038	12.45	20.93771696	20180.93201
380	380000	456	0.228	0.001140	13.68	21.5036012	18862.80807
390	390000	482	0.241	0.001205	14.46	22.06948544	18314.92568
400	400000	512	0.256	0.001280	15.36	22.63536968	17683.88257
410	410000	553	0.2765	0.001383	16.59	23.20125393	16782.10049
400	400000	626	0.313	0.001565	18.78	22.63536968	14463.49501
390	390000	694	0.347	0.001735	20.82	22.06948544	12720.16452
380	380000	790	0.395	0.001975	23.70	21.5036012	10887.89934
370	370000	850	0.425	0.002125	25.50	20.93771696	9853.043274
360	360000	1020	0.51	0.002550	30.60	20.37183272	7988.954006
350	350000	1206	0.603	0.003015	36.18	19.80594847	6569.137139
340	340000	1280	0.64	0.003200	38.40	19.24006423	6012.520072
330	330000	1380	0.69	0.003450	41.40	18.67417999	5412.805794
320	320000	1450	0.725	0.003625	43.50	18.10829575	4995.39193
310	310000	1555	0.7775	0.003888	46.65	17.54241151	4512.517429

Modulus Elastitas Beton 15%

No. Benda Uji	=	1
Mutu beton	=	17.86 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	315.7 kN
	=	315700 N
40% Beban		
Maksimum	=	126.28 kN
	=	126280 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dia l	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	8	0.004	0.000020	0.24	1.131768484	56588.42421
30	30000	11	0.0055	0.000028	0.33	1.697652726	61732.82641
40	40000	15	0.0075	0.000038	0.45	2.263536968	60360.98582
50	50000	22	0.011	0.000055	0.66	2.829421211	51444.02201
60	60000	26	0.013	0.000065	0.78	3.395305453	52235.4685
70	70000	32	0.016	0.000080	0.96	3.961189695	49514.87118

80	80000	37	0.0185	0.000093	1.11	4.527073937	48941.33986
90	90000	43	0.0215	0.000108	1.29	5.092958179	47376.35515
100	10000 0	59	0.0295	0.000148	1.77	5.658842421	38365.03336
110	11000 0	70	0.035	0.000175	2.10	6.224726663	35569.86665
120	12000 0	79	0.0395	0.000198	2.37	6.790610905	34382.84003
130	13000 0	88	0.044	0.000220	2.64	7.356495147	33438.61431
140	14000 0	102	0.051	0.000255	3.06	7.922379389	31068.15447
150	15000 0	118	0.059	0.000295	3.54	8.488263632	28773.77502
160	16000 0	130	0.065	0.000325	3.90	9.054147874	27858.91653
170	17000 0	149	0.0745	0.000373	4.47	9.620032116	25825.58957
180	18000 0	169	0.0845	0.000423	5.07	10.18591636	24108.67777
190	19000 0	191	0.0955	0.000478	5.73	10.7518006	22516.8599
200	20000 0	218	0.109	0.000545	6.54	11.31768484	20766.39421
210	21000 0	234	0.117	0.000585	7.02	11.88356908	20313.79331
220	22000 0	260	0.13	0.000650	7.80	12.44945333	19153.00512
230	23000 0	278	0.139	0.000695	8.34	13.01533757	18727.10441
240	24000 0	307	0.1535	0.000768	9.21	13.58122181	17695.40301

250	25000 0	325	0.1625	0.000813	9.75	14.14710605	17411.82283
260	26000 0	347	0.1735	0.000868	10.41	14.71299029	16960.21936
270	27000 0	372	0.186	0.000930	11.16	15.27887454	16428.89735
280	28000 0	400	0.2	0.001000	12.00	15.84475878	15844.75878
290	29000 0	438	0.219	0.001095	13.14	16.41064302	14986.8886
300	30000 0	460	0.23	0.001150	13.80	16.97652726	14762.19762
310	31000 0	580	0.29	0.001450	17.40	17.54241151	12098.21483
320	32000 0	620	0.31	0.001550	18.60	18.10829575	11682.77145
310	31000 0	690	0.345	0.001725	20.70	17.54241151	10169.51392
300	30000 0	720	0.36	0.001800	21.60	16.97652726	9431.404035
290	29000 0	748	0.374	0.001870	22.44	16.41064302	8775.744931
280	28000 0	784	0.392	0.001960	23.52	15.84475878	8084.060601

Modulus Elastitas Beton 15%

No. Benda Uji	=	2
Mutu beton	=	16.74 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	295.9 kN
	=	295900 N
40% Beban		
Maksimum	=	118.36 kN
	=	118360 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.09	0.565884242	75451.23228
20	20000	10	0.005	0.000025	0.30	1.131768484	45270.73937
30	30000	15	0.0075	0.000038	0.45	1.697652726	45270.73937
40	40000	20	0.01	0.000050	0.60	2.263536968	45270.73937
50	50000	30	0.015	0.000075	0.90	2.829421211	37725.61614
60	60000	38	0.019	0.000095	1.14	3.395305453	35740.0574
70	70000	50	0.025	0.000125	1.50	3.961189695	31689.51756

80	80000	61	0.0305	0.000153	1.83	4.527073937	29685.73073
90	90000	70	0.035	0.000175	2.10	5.092958179	29102.61817
100	10000 0	82	0.041	0.000205	2.46	5.658842421	27604.10937
110	11000 0	95	0.0475	0.000238	2.85	6.224726663	26209.37542
120	12000 0	118	0.059	0.000295	3.54	6.790610905	23019.02002
130	13000 0	125	0.0625	0.000313	3.75	7.356495147	23540.78447
140	14000 0	135	0.0675	0.000338	4.05	7.922379389	23473.71671
150	15000 0	145	0.0725	0.000363	4.35	8.488263632	23415.89967
160	16000 0	160	0.08	0.000400	4.80	9.054147874	22635.36968
170	17000 0	173	0.0865	0.000433	5.19	9.620032116	22242.84882
180	18000 0	190	0.095	0.000475	5.70	10.18591636	21444.03444
190	19000 0	208	0.104	0.000520	6.24	10.7518006	20676.53962
200	20000 0	225	0.1125	0.000563	6.75	11.31768484	20120.32861
210	21000 0	240	0.12	0.000600	7.20	11.88356908	19805.94847
220	22000 0	258	0.129	0.000645	7.74	12.44945333	19301.47803
230	23000 0	280	0.14	0.000700	8.40	13.01533757	18593.33938
240	24000 0	308	0.154	0.000770	9.24	13.58122181	17637.9504

250	25000 0	335	0.1675	0.000838	10.05	14.14710605	16892.06693
260	26000 0	364	0.182	0.000910	10.92	14.71299029	16168.1212
270	27000 0	402	0.201	0.001005	12.06	15.27887454	15202.86024
280	28000 0	450	0.225	0.001125	13.50	15.84475878	14084.23003
290	29000 0	560	0.28	0.001400	16.80	16.41064302	11721.88787
300	30000 0	790	0.395	0.001975	23.70	16.97652726	8595.710007
290	29000 0	900	0.45	0.002250	27.00	16.41064302	7293.61912
280	28000 0	100 0	0.5	0.002500	30.00	15.84475878	6337.903512
270	27000 0	108 0	0.54	0.002700	32.40	15.27887454	5658.842421

Modulus Elastitas Beton 15%

No. Benda Uji	=	3
Mutu beton	=	16.37 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	289.3 kN
	=	289300 N
40% Beban		
Maksimum	=	115.72 kN
	=	115720 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	4	0.002	0.000010	0.12	0.565884242	56588.42421
20	20000	12	0.006	0.000030	0.36	1.131768484	37725.61614
30	30000	22	0.011	0.000055	0.66	1.697652726	30866.41321
40	40000	34	0.017	0.000085	1.02	2.263536968	26629.84669
50	50000	44	0.022	0.000110	1.32	2.829421211	25722.011
60	60000	55	0.0275	0.000138	1.65	3.395305453	24693.13056
70	70000	65	0.0325	0.000163	1.95	3.961189695	24376.55197

80	80000	77	0.0385	0.000193	2.31	4.527073937	23517.2672
90	90000	88	0.044	0.000220	2.64	5.092958179	23149.8099
100	10000 0	101	0.0505	0.000253	3.03	5.658842421	22411.25711
110	11000 0	112	0.056	0.000280	3.36	6.224726663	22231.16665
120	12000 0	126	0.063	0.000315	3.78	6.790610905	21557.49494
130	13000 0	140	0.07	0.000350	4.20	7.356495147	21018.55756
140	14000 0	155	0.0775	0.000388	4.65	7.922379389	20444.85004
150	15000 0	175	0.0875	0.000438	5.25	8.488263632	19401.74544
160	16000 0	190	0.095	0.000475	5.70	9.054147874	19061.36394
170	17000 0	209	0.1045	0.000523	6.27	9.620032116	18411.54472
180	18000 0	232	0.116	0.000580	6.96	10.18591636	17561.92475
190	19000 0	258	0.129	0.000645	7.74	10.7518006	16669.45829
200	20000 0	288	0.144	0.000720	8.64	11.31768484	15719.00673
210	21000 0	312	0.156	0.000780	9.36	11.88356908	15235.34498
220	22000 0	348	0.174	0.000870	10.44	12.44945333	14309.71647
230	23000 0	380	0.19	0.000950	11.40	13.01533757	13700.35534
240	24000 0	428	0.214	0.001070	12.84	13.58122181	12692.73066

250	25000 0	470	0.235	0.001175	14.10	14.14710605	12040.09026
260	26000 0	538	0.269	0.001345	16.14	14.71299029	10939.02624
270	27000 0	625	0.3125	0.001563	18.75	15.27887454	9778.479704
280	28000 0	930	0.465	0.002325	27.90	15.84475878	6814.950012
270	27000 0	111 0	0.555	0.002775	33.30	15.27887454	5505.900734
260	26000 0	133 0	0.665	0.003325	39.90	14.71299029	4424.959487
250	25000 0	143 0	0.715	0.003575	42.90	14.14710605	3957.232462
240	24000 0	156 0	0.78	0.003900	46.80	13.58122181	3482.364567
230	23000 0	160 8	0.804	0.004020	48.24	13.01533757	3237.646161

Modulus Elastitas Beton 35%

No. Benda Uji	=	1
Mutu beton	=	10.23 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	180.7 kN
	=	180700 N
40% Beban		
Maksimum	=	72.28 kN
	=	72280 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.09	0.565884242	75451.23228
20	20000	16	0.008	0.000040	0.48	1.131768484	28294.21211
30	30000	25	0.0125	0.000063	0.75	1.697652726	27162.44362
40	40000	45	0.0225	0.000113	1.35	2.263536968	20120.32861
50	50000	60	0.03	0.000150	1.80	2.829421211	18862.80807
60	60000	70	0.035	0.000175	2.10	3.395305453	19401.74544
70	70000	89	0.0445	0.000223	2.67	3.961189695	17803.09975

80	80000	115	0.0575	0.000288	3.45	4.527073937	15746.34413
90	90000	150	0.075	0.000375	4.50	5.092958179	13581.22181
100	10000 0	180	0.09	0.000450	5.40	5.658842421	12575.20538
110	11000 0	210	0.105	0.000525	6.30	6.224726663	11856.62222
120	12000 0	220	0.11	0.000550	6.60	6.790610905	12346.56528
130	13000 0	260	0.13	0.000650	7.80	7.356495147	11317.68484
140	14000 0	310	0.155	0.000775	9.30	7.922379389	10222.42502
150	15000 0	410	0.205	0.001025	12.30	8.488263632	8281.232811
160	16000 0	700	0.35	0.001750	21.00	9.054147874	5173.798785
170	17000 0	905	0.4525	0.002263	27.15	9.620032116	4251.947896
180	18000 0	111 5	0.5575	0.002788	33.45	10.18591636	3654.140397
170	17000 0	130 0	0.65	0.003250	39.00	9.620032116	2960.009882
160	16000 0	160 4	0.802	0.004010	48.12	9.054147874	2257.892238
150	15000 0	246 6	1.233	0.006165	73.98	8.488263632	1376.847304

Modulus Elastitas Beton 35%

No. Benda Uji	=	2
Mutu beton	=	10.36 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	183 kN
	=	183000 N
40% Beban		
Maksimum	=	73.2 kN
	=	73200 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	18	0.009	0.000045	0.54	1.131768484	25150.41076
30	30000	30	0.015	0.000075	0.90	1.697652726	22635.36968
40	40000	38	0.019	0.000095	1.14	2.263536968	23826.70493
50	50000	50	0.025	0.000125	1.50	2.829421211	22635.36968
60	60000	64	0.032	0.000160	1.92	3.395305453	21220.65908
70	70000	74	0.037	0.000185	2.22	3.961189695	21411.83619

80	80000	100	0.05	0.000250	3.00	4.527073937	18108.29575
90	90000	140	0.07	0.000350	4.20	5.092958179	14551.30908
100	10000 0	148	0.074	0.000370	4.44	5.658842421	15294.16871
110	11000 0	190	0.095	0.000475	5.70	6.224726663	13104.68771
120	12000 0	200	0.1	0.000500	6.00	6.790610905	13581.22181
130	13000 0	231	0.1155	0.000578	6.93	7.356495147	12738.51974
140	14000 0	298	0.149	0.000745	8.94	7.922379389	10634.06629
150	15000 0	367	0.1835	0.000918	11.01	8.488263632	9251.513495
160	16000 0	630	0.315	0.001575	18.90	9.054147874	5748.665317
170	17000 0	860	0.43	0.002150	25.80	9.620032116	4474.433542
180	18000 0	988	0.494	0.002470	29.64	10.18591636	4123.852776
170	17000 0	160 4	0.802	0.004010	48.12	9.620032116	2399.010503
160	16000 0	195 6	0.978	0.004890	58.68	9.054147874	1851.563982
150	15000 0	222 2	1.111	0.005555	66.66	8.488263632	1528.040258
140	14000 0	264 0	1.32	0.006600	79.20	7.922379389	1200.360514
130	13000 0	300 0	1.5	0.007500	90.00	7.356495147	980.8660196

Modulus Elastitas Beton 35%

No. Benda Uji	=	3
Mutu beton	=	10.72 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	189.5 kN
	=	189500 N
40% Beban		
Maksimum	=	75.8 kN
	=	75800 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.09	0.565884242	75451.23228
20	20000	15	0.0075	0.000038	0.45	1.131768484	30180.49291
30	30000	28	0.014	0.000070	0.84	1.697652726	24252.1818
40	40000	40	0.02	0.000100	1.20	2.263536968	22635.36968
50	50000	55	0.0275	0.000138	1.65	2.829421211	20577.6088
60	60000	70	0.035	0.000175	2.10	3.395305453	19401.74544
70	70000	85	0.0425	0.000213	2.55	3.961189695	18640.89268

80	80000	110	0.055	0.000275	3.30	4.527073937	16462.08704
90	90000	130	0.065	0.000325	3.90	5.092958179	15670.64055
100	10000 0	155	0.0775	0.000388	4.65	5.658842421	14603.46431
110	11000 0	180	0.09	0.000450	5.40	6.224726663	13832.72592
120	12000 0	203	0.1015	0.000508	6.09	6.790610905	13380.5141
130	13000 0	255	0.1275	0.000638	7.65	7.356495147	11539.60023
140	14000 0	330	0.165	0.000825	9.90	7.922379389	9602.884108
150	15000 0	430	0.215	0.001075	12.90	8.488263632	7896.059192
160	16000 0	650	0.325	0.001625	19.50	9.054147874	5571.783307
170	17000 0	940	0.47	0.002350	28.20	9.620032116	4093.630688
180	18000 0	131 0	0.655	0.003275	39.30	10.18591636	3110.203468
190	19000 0	159 0	0.795	0.003975	47.70	10.7518006	2704.855497
180	18000 0	222 0	1.11	0.005550	66.60	10.18591636	1835.300245
170	17000 0	278 0	1.39	0.006950	83.40	9.620032116	1384.177283
160	16000 0	304 0	1.52	0.007600	91.20	9.054147874	1191.335247

Modulus Elastitas Beton 45%

No. Benda Uji	=	1
Mutu beton	=	9.80 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	173.1 kN
	=	173100 N
40% Beban		
Maksimum	=	69.24 kN
	=	69240 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	5	0.0025	0.000013	0.15	0.565884242	45270.73937
20	20000	15	0.0075	0.000038	0.45	1.131768484	30180.49291
30	30000	35	0.0175	0.000088	1.05	1.697652726	19401.74544
40	40000	55	0.0275	0.000138	1.65	2.263536968	16462.08704
50	50000	78	0.039	0.000195	2.34	2.829421211	14509.85236
60	60000	104	0.052	0.000260	3.12	3.395305453	13058.86713
70	70000	128	0.064	0.000320	3.84	3.961189695	12378.7178

80	80000	155	0.0775	0.000388	4.65	4.527073937	11682.77145
90	90000	185	0.0925	0.000463	5.55	5.092958179	11011.80147
100	10000 0	215	0.1075	0.000538	6.45	5.658842421	10528.07892
110	11000 0	250	0.125	0.000625	7.50	6.224726663	9959.562661
120	12000 0	280	0.14	0.000700	8.40	6.790610905	9700.872722
130	13000 0	329	0.1645	0.000823	9.87	7.356495147	8944.067048
140	14000 0	380	0.19	0.000950	11.40	7.922379389	8339.346726
150	15000 0	450	0.225	0.001125	13.50	8.488263632	7545.123228
160	16000 0	540	0.27	0.001350	16.20	9.054147874	6706.776203
170	17000 0	680	0.34	0.001700	20.40	9.620032116	5658.842421
180	18000 0	790	0.395	0.001975	23.70	10.18591636	5157.426004
170	17000 0	144 0	0.72	0.003600	43.20	9.620032116	2672.231143
160	16000 0	218 0	1.09	0.005450	65.40	9.054147874	1661.311536
150	15000 0	229 0	1.145	0.005725	68.70	8.488263632	1482.666137

Modulus Elastitas Beton 45%

No. Benda Uji	=	2
Mutu beton	=	9.27 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	163.9 kN
	=	163900 N
40% Beban		
Maksimum	=	65.56 kN
	=	65560 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.09	0.565884242	75451.23228
20	20000	25	0.0125	0.000063	0.75	1.131768484	18108.29575
30	30000	55	0.0275	0.000138	1.65	1.697652726	12346.56528
40	40000	70	0.035	0.000175	2.10	2.263536968	12934.49696
50	50000	90	0.045	0.000225	2.70	2.829421211	12575.20538
60	60000	120	0.06	0.000300	3.60	3.395305453	11317.68484
70	70000	140	0.07	0.000350	4.20	3.961189695	11317.68484

80	80000	165	0.0825	0.000413	4.95	4.527073937	10974.7247
90	90000	205	0.1025	0.000513	6.15	5.092958179	9937.479374
100	10000 0	228	0.114	0.000570	6.84	5.658842421	9927.793721
110	11000 0	258	0.129	0.000645	7.74	6.224726663	9650.739013
120	12000 0	297	0.1485	0.000743	8.91	6.790610905	9145.603913
130	13000 0	350	0.175	0.000875	10.50	7.356495147	8407.423026
140	14000 0	415	0.2075	0.001038	12.45	7.922379389	7636.028327
150	15000 0	490	0.245	0.001225	14.70	8.488263632	6929.194801
160	16000 0	660	0.33	0.001650	19.80	9.054147874	5487.362348
170	17000 0	113 0	0.565	0.002825	33.90	9.620032116	3405.321103
160	16000 0	150 0	0.75	0.003750	45.00	9.054147874	2414.439433
150	15000 0	186 0	0.93	0.004650	55.80	8.488263632	1825.433039
140	14000 0	197 0	0.985	0.004925	59.10	7.922379389	1608.604952

Modulus Elastitas Beton 45%

No. Benda Uji	=	3
Mutu beton	=	8.50 Mpa
Diameter (L)	=	150 mm
Tinggi (B)	=	300 mm
Luas penampang (A)	=	17671.5 mm ²
Panjang awal (Lo)	=	200 mm
beban maksimum	=	150.2 kN
	=	150200 N
40% Beban		
Maksimum	=	60.08 kN
	=	60080 N

Tegangan Regangan Hasil Pengujian

Beban (P)		Dial	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Regangan utk	Tegangan (σ)	Nilai Modulus
kN	N		mm	%	%	Mpa	
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.09	0.565884242	75451.23228
20	20000	20	0.01	0.000050	0.60	1.131768484	22635.36968
30	30000	35	0.0175	0.000088	1.05	1.697652726	19401.74544
40	40000	50	0.025	0.000125	1.50	2.263536968	18108.29575
50	50000	70	0.035	0.000175	2.10	2.829421211	16168.1212
60	60000	90	0.045	0.000225	2.70	3.395305453	15090.24646
70	70000	110	0.055	0.000275	3.30	3.961189695	14404.32616

80	80000	130	0.065	0.000325	3.90	4.527073937	13929.45827
90	90000	160	0.08	0.000400	4.80	5.092958179	12732.39545
100	10000 0	190	0.095	0.000475	5.70	5.658842421	11913.35247
110	11000 0	230	0.115	0.000575	6.90	6.224726663	10825.61159
120	12000 0	278	0.139	0.000695	8.34	6.790610905	9770.663173
130	13000 0	340	0.17	0.000850	10.20	7.356495147	8654.700173
140	14000 0	430	0.215	0.001075	12.90	7.922379389	7369.655246
150	15000 0	630	0.315	0.001575	18.90	8.488263632	5389.373734
160	16000 0	798	0.399	0.001995	23.94	9.054147874	4538.419987
150	15000 0	100 0	0.5	0.002500	30.00	8.488263632	3395.305453
140	14000 0	128 0	0.64	0.003200	38.40	7.922379389	2475.743559
130	13000 0	139 0	0.695	0.003475	41.70	7.356495147	2116.977021

Benda Uji		f'c	Ec=4700 x √(f'c)		Ec= Wc ^{1,5} x 0,043 x √(f'c)	
		(Mpa)	Ec (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)	Ec (Mpa)	Rata-Rata (Mpa)
0%	1	24.49	23257.08	22378.14	25086.82	24106.55
	2	20.65	21360.34		22064.73	
	3	22.95	22517.01		25168.11	
15%	1	17.86	19865.47	19371.55	26670.07	21575.68
	2	16.74	19232.43		18477.85	
	3	16.37	19016.73		19579.12	
35%	1	10.23	15029.37	15181.69	14507.25	16169.64
	2	10.36	15124.72		19245.16	
	3	10.72	15390.98		14756.52	
45%	1	9.80	14709.92	14242.00	9880.52	10165.69
	2	9.27	14313.67		7847.87	
	3	8.50	13702.40		12768.67	

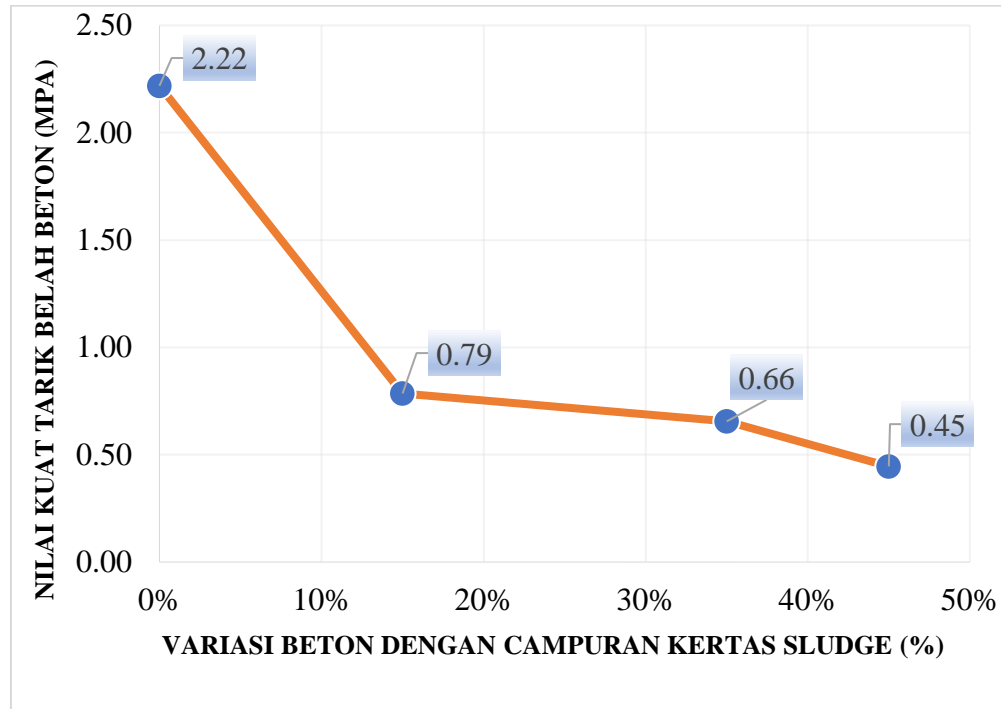
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

0%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.624	150	300	149	149.000	2,11
2	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.547	150	300	159	159.000	2,25
3	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.552	150	300	162	162.000	2,29
4	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.665	150	300	152	152.000	2,15
5	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.681	150	300	164	164.000	2,32
6	04-Dec-23	03-Jan-24	28	12.512	150	300	155	155.000	2,19
RATA-RATA			28	12.597	150	300	156,83	156.833	2,22
15%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.865	150	300	51	51.000	0,72
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.831	150	300	45	45.000	0,64
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.773	150	300	63	63.000	0,89
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.600	150	300	54	54.000	0,76
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.628	150	300	56	56.000	0,79
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	11.535	150	300	64	64.000	0,91
RATA-RATA			28	11.578	150	300	55,50	55.500	0,79
35%									
No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.768	150	300	45	45.000	0,64
2	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.657	150	300	38	38.000	0,54
3	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.951	150	300	53	53.000	0,75
4	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.774	150	300	55	55.000	0,78
5	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.815	150	300	45	45.000	0,64
6	05-Dec-23	04-Jan-24	28	10.795	150	300	42	42.000	0,59
RATA-RATA			28	10.793	150	300	46,33	46.333	0,66

45%

No	TANGGAL		UMUR (HARI)	Berat (gr)	UKURAN BENDA UJI		BEBAN MAXIMUM		KUAT TARIK BELAH BETON Mpa
	COR	UJI			D (mm)	H (mm)	kN	N	
1	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.605	150	300	32	32.000	0,45
2	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.550	150	300	31	31.000	0,44
3	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.495	150	300	30	30.000	0,42
4	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.468	150	300	33	33.000	0,47
5	06-Dec-23	05-Jan-24	28	11.072	150	300	28	28.000	0,40
6	06-Dec-23	05-Jan-24	28	10.560	150	300	35	35.000	0,50
RATA-RATA			28	10.625	150	300	31,50	31.500	0,45

REKAP		
VARIASI	KUAT TARIK RERATA	SLUMP
0%	2,22	10.2
15%	0,79	8.8
35%	0,66	7.9
45%	0,45	6.7



Gambar L-8. 1 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton