

TUGAS AKHIR

**PENGARUH LIMBAH BATA RINGAN SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DAN PENAMBAHAN
SIKACIM CONCRETE ADDITIVE DALAM
CAMPURAN BETON NORMAL MUTU SEDANG
*(THE EFFECT OF LIGHT BRICK WASTE AS A
PARTIAL SUBSTITUTION OF CEMENT AND
ADDITION OF SIKACIM CONCRETE ADDITIVE IN
NORMAL CONCRETE MIXING OF MEDIUM
QUALITY)***

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



**Rahmat Adi Setianto
17511061**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH BATA RINGAN SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DAN PENAMBAHAN *SIKACIM CONCRETE ADDITIVE* DALAM CAMPURAN BETON NORMAL MUTU SEDANG *(THE EFFECT OF LIGHT BRICK WASTE AS A PARTIAL SUBSTITUTION OF CEMENT AND ADDITION OF SIKACIM CONCRETE ADDITIVE IN NORMAL CONCRETE MIXING OF MEDIUM QUALITY)*

Disusun oleh

Rahmat Adi Setianto
17511061

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

Diuji pada tanggal 7 Desember 2022

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing



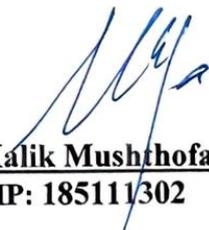
Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIP: 845110101

Penguji 1



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

Penguji 2



Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIP: 185111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil




Yunalia Muntafi, S.T., M.T.
NIP: 095110101

PERYATAAN 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 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. 17 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,



Rahmat Adi Setianto

(17511061)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya, sehingga dengan ini penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul *Pengaruh Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Parsial Semen dan Penambahan SikaCim Concrete Additive Dalam Campuran Beton Normal Mutu Sedang*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi jenjang pendidikan S1 (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini pasti banyak hambatan yang dihadapi penulis, akan tetapi penulis menyadari bahwa sepenuhnya berkat saran, kritik, kerjasama, bantuan, bimbingan, pengarahan, dan semangat dari berbagai pihak Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan ilmu, nasehat, pengarahan, dan bimbingan mulai dari awal hingga akhir penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Jafar, S.T., M.T. MURP. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir atas saran, nasehat, dan pengarahan kepada penulis untuk menjadi lebih baik.
3. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir atas saran, nasehat, masukan, dan pengetahuan kepada penulis untuk menjadi lebih baik lagi.
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah memberikan ijin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Bapak Suwarno dan Bapak Darusalam, A.Md selaku laboran di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII yang sudah mengizinkan dan membantu proses penelitian.
7. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu kelancaran administrasi.
8. Bapak Roeslan dan Ibu Tri Hariana sebagai orang tua saya serta kakak-kakak saya yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan baik secara materil, fisik, maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
9. Keluarga besar Forbid Family yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral dalam proses penyusunan tugas akhir.
10. Keluarga besar jurusan Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia serta Muhammad Kennyzyra Bintang Samudra W. dan Muhammad Taufik Bima Perdana. yang telah membantu proses pembuatan benda uji penelitian dan membantu penyusunan tugas akhir.

Akhirnya semoga Allah SWT melimpahkan rezeki dan hidayah-Nya kepada kita dan penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan sebagai tambahan pustaka untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Wassalau'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 17 Oktober 2022

Penulis,



Rahmat Adi Setianto

17511061

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Perbedaan Penelitian	9
2.3 Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Beton	15
3.2 Sifat Beton Segar	17
3.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton	20
3.4 Faktor Mutu dan Kekuatan Tekan Beton	20
3.5 Bahan Penyusun Beton	21
3.5.1 Agregat	21
3.5.2 Semen	26

3.5.3 Air	29
3.5.4 Limbah Bata Ringan	29
3.5.5 Bahan tambah	30
3.5.6 <i>SikaCim Concrete Additive</i>	31
3.5.7 <i>Filler</i> (Bahan Pengisi)	32
3.5.8 Binder (Bahan Pengikat)	33
3.6 Sifat Mekanik Beton	33
3.6.1 Kuat Tekan Beton	33
3.6.2 Kuat Lentur Beton	39
3.6.3 Modulus Elastisitas Beton	41
3.7 Sifat Fisik Beton	43
3.7.1 Penyerapan Air Pada Beton	43
3.7.2 Porositas Beton	44
BAB IV METODE PENELITIAN	45
4.1 Metode Penelitian	45
4.2 Lokasi Penelitian	45
4.3 Bahan–Bahan Penelitian	45
4.4 Peralatan Penelitian	46
4.5 Pemeriksaan Agregat Halus	47
4.5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	47
4.5.2 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	49
4.5.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	49
4.5.4 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	50
4.5.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	50
4.6 Pemeriksaan Agregat Kasar	51
4.6.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	51
4.6.2 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	52
4.6.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	52
4.6.4 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	53
4.7 Pemeriksaan Semen	53
4.8 Pemeriksaan Air	53

4.9 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	53
4.10 Pembuatan Benda Uji	62
4.11 Pengujian Slump	63
4.12 Perawatan Benda Uji	64
4.13 Pembuatan Kaping	64
4.14 Pengujian Sifat Mekanik Beton	65
4.14.1 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton	65
4.14.2 Pengujian Kuat Lentur Beton	66
4.15 Pengujian Sifat Fisik Beton	66
4.15.1 Pengujian Penyerapan Air Pada Beton	66
4.15.2 Pengujian Porositas Beton	67
4.16 Bagan Alir Tahapan Penelitian	67
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	70
5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	70
5.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	70
5.1.2 Analisis Saringan Agregat Kasar	71
5.1.3 Berat Isi Gembur Agregat Kasar	73
5.1.4 Berat Isi Padat Agregat Kasar	74
5.2 Pemeriksaan Agregat Halus	74
5.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	75
5.2.2 Analisis Saringan Agregat Halus	75
5.2.3 Berat Isi Gembur Agregat Halus	77
5.2.4 Berat Isi Padat Agregat Halus	78
5.2.5 Kadar Lumpur Agregat Halus	78
5.3 Hasil Pemeriksaan Semen	79
5.4 Hasil Pemeriksaan Air	79
5.5 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton Sedang	80
5.6 Hasil Pengujian Slump	83
5.7 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Beton	84
5.7.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Sedang	84
5.7.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Mutu Sedang	91

5.7.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	94
5.8 Hasil Pengujian Sifat Fisik Beton	98
5.8.1 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton	98
5.8.2 Hasil Pengujian Porositas Beton	102
5.9 Hubungan Antar Grafik Hasil Pengujian	105
5.9.1 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi	105
5.9.2 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang	108
5.9.3 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang	109
5.9.4 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang	109
5.9.5 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang	109
5.9.6 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang	110
5.9.7 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang	110
5.9.8 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang	111
5.9.9 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang	111
5.9.10 Hubungan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang	111
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	113
6.1. Kesimpulan	113
6.2. Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	10
Tabel 3. 1 Batasan Daerah Gradasi Agregat Halus (Pasir)	24
Tabel 3. 2 Batasan Daerah Gradasi Agregat Kasar	25
Tabel 3. 3 Kategori Kuat Tekan Beton	35
Tabel 4. 1 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	54
Tabel 4. 2 Perkiraan Kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,5 dan agregat kasar yang dipakai di Indonesia	55
Tabel 4. 3 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dan lingkungan khusus	57
Tabel 4. 4 Perkiraan kadar air bebas per-meter kubik beton	58
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	71
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	72
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	73
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	74
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	75
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	76
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	77
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	78
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	79
Tabel 5. 10 Volume Kebutuhan Total Campuran Beton Sedang	80
Tabel 5. 11 Volume Beton Sedang Setiap Campuran Uji	80
Tabel 5. 12 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Material Penyusun Beton (Mix Design)	81
Tabel 5. 13 Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Setiap Variasi Uji dengan Angka Penyusutan 15%	82
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Slump Setiap Proporsi Campuran Beton	83

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	85
Tabel 5. 16 Persentase Selisih Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang dengan Beton Variasi Mutu Sedang	89
Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Dengan Perbandingan Rumus Empiris	92
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	94
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	99
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	102
Tabel 5. 21 Hubungan Nilai Kuat Tekan dan Nilai Modulus Elastisitas Hasil Pengujian Beton Variasi Mutu Sedang	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Unsur-unsur Pembentuk Beton	15
Gambar 3. 2 Slump Sebenarnya	18
Gambar 3. 3 Slump Geser	18
Gambar 3. 4 Slump Runtuh	19
Gambar 3. 5 Sketsa bentuk kehancuran pada benda uji	35
Gambar 3. 6 Grafik hubungan antara kuat tekan beton umur 7 hari dengan faktor air semen menggunakan semen cepat mengeras	37
Gambar 3. 7 Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton selama masa perkembangannya	37
Gambar 4. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen (Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm x tinggi 300 mm)	56
Gambar 4. 2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm	59
Gambar 4. 3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	60
Gambar 4. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm	60
Gambar 4. 5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan	61
Gambar 4. 6 Bagan Alir Tahapan Penelitian	69
Gambar 5. 1 Daerah Gradasi Agregat Kasar	73
Gambar 5. 2 Daerah Gradasi Agregat Halus	77
Gambar 5. 3 Grafik Nilai Slump Hasil Campuran Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang	84
Gambar 5. 4 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	86

Gambar 5. 5 Grafik Persentase Selisih Kenaikan Dan Penurunan Kuat Tekan Beton Variasi Mutu Sedang Terhadap Beton Normal Mutu Sedang	90
Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	93
Gambar 5. 7 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	95
Gambar 5. 8 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	100
Gambar 5. 9 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Mutu Sedang Variasi Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan	103
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang	107
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Variasi Mutu Sedang dan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang	108
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Nilai Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang	110
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Nilai Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang	112

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus
- Lampiran 2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)
- Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton
- Lampiran 4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton
- Lampiran 5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton
- Lampiran 6 Hasil Pengujian Penyerapan Air
- Lampiran 7 Hasil Pengujian Porositas Beton



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

MPa	: <i>Mega Pascal</i>
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
ASTM	: <i>American Standard or Testing Material</i>
Cl	: Klorida
AAC	: <i>Autoclaved Aerated Concrete</i>
$f'c$: Mutu beton rencana
SII	: Standar Industri Indonesia
DIN	: <i>Deutsche Industrie Norm</i>
FAS	: Faktor air semen
$f'cr$: Kuat desak beton rata-rata (MPa)
N	: Jumlah benda uji
A	: Luas penampang benda uji (mm^2)
f_t	: Kuat lentur (MPa)
P	: Beban maksimum (N)
L	: Jarak bentang antar dua perletakan (mm)
b	: Lebar tampang lintang patah (mm)
h	: Tinggi tampang lintang patah (mm)
c	: Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan terdekat (mm)
E_c	: Modulus elastisitas beton desak (MPa)
w_c	: Berat isi beton (kg/m^3)
ε	: Regangan
σ	: Tegangan
A_0	: Luas tampang beton (mm^2)
l	: Panjang ukur (yang memendek) sewaktu ada tegangan (mm)
l_0	: Panjang awal benda uji (mm)

- Δl : Perubahan panjang benda uji (mm)
 M_b : Massa sampel setelah direndam di dalam air (gram)
 M_k : Massa kering oven (gram)
 BJ : Berat Jenis
 M : Nilai tambah (margin)
 S : Standar deviasi
 W : Berat (kg)
 V : Volume (cm³)
BK : Beton Kontrol



ABSTRAK

Peralihan penggunaan bata merah untuk pekerjaan pasangan dinding saat ini banyak digantikan oleh bata ringan. Produksi dan kebutuhan bata ringan yang semakin massif akan menghasilkan limbah yang semakin banyak. Namun demikian, limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen pada proporsi campuran beton normal mutu sedang, dengan cara dihaluskan menjadi bubuk. Pemanfaatan limbah bata ringan diharapkan dapat mengatasi masalah lingkungan dan menghemat biaya tanpa mengurangi mutu beton rencana. Ditinjau dari bahan dasar penyusunnya, bata ringan memiliki kesamaan dengan semen, yaitu mengandung batu kapur, gipsum, dan silika. Dengan demikian, bubuk limbah bata ringan dapat disubstitusikan secara parsial dengan semen. Seberapa besar pengaruh substitusi semen dengan limbah bata ringan pada karakteristik beton perlu diteliti.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik dan fisik beton mutu sedang dengan substitusi bata ringan dalam hal kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur, penyerapan air, dan porositas beton.

Penelitian ini menggunakan uji laboratorium. *Mix design* beton normal mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana 25 MPa. Jenis limbah bata ringan yang digunakan yaitu AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) lolos saringan nomor 100 (0,15 mm), menggunakan variasi substitusi parsial semen 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5%; dan *SikaCim Concrete Additive* sebesar 0,7% dari berat semen dan mereduksi kadar air sebesar 15% pada beton modifikasi.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanik dan fisik beton mutu sedang substitusi mempunyai perbedaan dengan beton normal. Peningkatan kuat desak beton mutu sedang optimum tercapai pada substitusi limbah bata ringan 2,5%, yaitu 27,98 MPa, dengan peningkatan sebesar 5,22%. Pada variasi persentase substitusi limbah bata ringan tersebut, kuat lentur optimal tercapai sebesar 3,68 MPa, dengan peningkatan sebesar 1,60%. Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton mutu sedang substitusi mengalami penurunan, seiring dengan peningkatan kadar limbah bata ringan. Nilai penyerapan air minimum diperoleh pada beton mutu sedang substitusi sebesar 1,830% pada variasi substitusi limbah bata ringan 2,5%, dan nilai porositas beton minimum diperoleh nilai sebesar 3,876% pada variasi substitusi limbah bata ringan 2,5%. Secara umum dapat disimpulkan bahwa beton mutu sedang dengan substitusi parsial semen dengan kadar bubuk limbah bata ringan dapat digunakan sebagai material elemen struktur pada bangunan.

Kata kunci: Beton normal, Bata ringan AAC, Sifat mekanik beton, Sifat fisik beton.

ABSTRACT

The transition to the use of red bricks for wall masonry work is currently being replaced by lighter bricks. The more massive production and demand for lightweight bricks will result in more and more waste. However, this waste can be used as a partial substitute for cement in moderate proportions of normal concrete mix, by grinding it into powder. Utilization of lightweight brick waste is expected to overcome environmental problems and save costs without reducing the quality of the planned concrete. Judging from the basic ingredients of its constituents, lightweight brick has similarities with cement, which contains limestone, gypsum, and silica. Thus, the light brick waste powder can be partially substituted with cement. How much influence the substitution of cement with lightweight brick waste has on the characteristics of concrete needs to be investigated.

The purpose of this study was to determine the mechanical and physical characteristics of medium quality concrete with light brick substitution in terms of compressive strength, modulus of elasticity, flexural strength, water absorption, and concrete porosity.

This research uses laboratory tests. The normal concrete mix design refers to SNI 03-2834-2000 with a design concrete quality of 25 MPa. The type of light brick waste used is AAC (Autoclaved Aerated Concrete) passing sieve number 100 (0.15 mm), using a variation of 0% cement partial substitution; 2.5%; 5%; 7.5%; 10%; and 12.5%; and SikaCim Concrete Additive of 0.7% by weight of cement and reduces the water content by 15% in modified concrete.

The results of the study showed that the mechanical and physical properties of medium quality concrete with substitution had differences from normal concrete. The optimum increase in the compressive strength of medium quality concrete was achieved by substituting 2.5% lightweight brick waste, namely 27.98 MPa, with an increase of 5.22%. In the variation of the percentage of light brick waste substitution, the optimum flexural strength is reached at 3.68 MPa, with an increase of 1.60%. However, the test results showed that the modulus of elasticity of the substitution medium quality concrete decreased, along with an increase in the content of lightweight brick waste. The minimum water absorption value was obtained for medium quality concrete with substitution of 1.830% for variations of 2.5% light brick waste substitution, and the minimum concrete porosity value obtained for 3.876% for variations of 2.5% light brick waste substitution. In general, it can be concluded that medium quality concrete with partial substitution of cement with light brick waste powder content can be used as a material for structural elements in buildings.

Keywords: *Normal concrete, AAC light brick,, Mechanical properties of concrete, Physical properties of concrete.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu konstruksi bangunan tidak dapat terlepas dari pentingnya sebuah struktur. Bangunan harus memiliki struktur yang kokoh, stabil, kuat, serta mampu memikul beban, dan mampu menahan gaya yang bekerja. Salah satu teknologi bahan konstruksi yang umumnya digunakan dalam sebuah elemen struktur bangunan yaitu beton. Beton adalah hasil dari campuran antara agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan hidrolis (*portland cement*) dapat dengan atau tanpa digunakannya bahan tambah (*admixture*) dengan proporsi campuran tertentu. Sedangkan untuk jenis beton yang umum digunakan sebagai elemen struktur bangunan yaitu beton normal mempunyai berat jenis berkisar antara 2155 kg/m³–2560 kg/m³. Berdasarkan kuat tekannya dari benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm mutu beton dibagi menjadi tiga yaitu, mutu rendah, mutu sedang, dan mutu tinggi. Penelitian ini menggunakan beton dengan mutu beton sedang dengan $f'c$ 25 MPa. Penggunaan beton normal mutu sedang umumnya digunakan pada bagian sebuah struktur, khususnya bagian struktur penahan beban.

Peralihan penggunaan bata merah untuk pekerjaan pasangan dinding saat ini banyak digantikan oleh bata ringan. Hal ini dikarenakan produktivitas pemasangan dinding dengan bata ringan yang dinilai lebih cepat, efisien, hanya membutuhkan perekat pasangan bata ringan yang tipis, serta memiliki berat yang lebih ringan dari pada berat bata merah.

Menurut Ngabdurrochman (2009) bata ringan merupakan bata berpori yang memiliki nilai berat jenis (*density*) lebih ringan daripada bata pada umumnya. Berat jenisnya antara 600-1600 kg/m³ dengan kekuatannya tergantung pada komposisi campuran (*mix design*). Bata ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) merupakan bata yang terbuat dari pencampuran pasir kuarsa, semen,

kapur, gipsum, silika, aluminium pasta, air, dan bahan pengembang. Bubuk aluminium yang bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dimiliki pasir kuarsa dan air membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen tersebut membentuk gelembung-gelembung udara yang menjadikan volume campuran bata ringan menjadi dua kali lebih besar dari volume campuran semula. Bata ringan jenis AAC jika dibandingkan dengan jenis bata ringan yang lain misalnya CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) bata ringan AAC lebih mempunyai kuat tekan yang lebih baik dan stabil, ketersediaan stock dalam jumlah besar lebih terjamin karena tidak tergantung cuaca, warna lebih cerah, sudut siku lebih presisi.

Produksi dalam skala industri dan kebutuhan bata ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) yang semakin massif saat ini akan menghasilkan limbah yang semakin banyak. Limbah bata ringan ini banyak ditemukan baik dari limbah industri, limbah konstruksi, maupun limbah dari toko bangunan yang dibuang dan tidak layak digunakan atau tidak layak jual karena kondisi bata ringan tidak utuh atau pecah. Namun demikian, limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen pada proporsi campuran beton normal mutu sedang, dengan cara dihaluskan menjadi bubuk. Pemanfaatan limbah bata ringan diharapkan dapat mengatasi masalah lingkungan dan menghemat biaya tanpa mengurangi mutu beton rencana atau menambah mutu beton. Ditinjau dari bahan dasar penyusunnya, bata ringan memiliki kesamaan dengan semen, yaitu mengandung batu kapur, gipsum, dan silika. Dengan demikian, bubuk limbah bata ringan dapat disubstitusikan secara parsial dengan semen.

Inovasi dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian kekuatan beton mutu sedang dan kemudahan pengerjaan yang lebih baik lagi dari beton normal mutu sedang, yaitu dengan penambahan bahan tambah berupa mineral (*additive*) maupun kimiawi (*chemical admixture*) yang dicampurkan saat proses pengadukan beton. Bahan tambah kimiawi yang banyak ditemui dipasaran yaitu *SikaCim Concrete Additive*. Berdasarkan keterangan produk yang tertera dan referensi penelitian terdahulu bahan tambah tersebut dapat mempercepat pengerasan beton, meningkatkan kekuatan beton, dan mempermudah *workability* beton mutu sedang. Menurut Jamal, dkk (2017) penambahan *SikaCim Concrete Additive* pada

campuran beton mampu mencapai kuat tekan beton mutu sedang rencana, dan dapat meningkatkan kuat tekan beton mutu sedang, dengan nilai maksimum kuat tekan beton umur 28 hari diperoleh pada variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton sebesar 0,7% dari berat semen dengan pengurangan kadar air sebesar 15% dari kadar air semula. Pengurangan kadar air menurut PT. Sika Indonesia (2013) *SikCim Concrete Additive* dapat mempercepat pengerasan beton (kekuatan awal beton) dengan pengurangan air sampai 15%, dapat mengurangi keropos, serta memudahkan pengecoran. Sehingga bahan ini dipilih sebagai bahan tambah campuran beton. Seberapa besar pengaruh substitusi semen dengan limbah bata ringan serta penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada karakteristik beton perlu diteliti di laboratorium. Dengan demikian, pengaruh dari pemanfaatan limbah bata ringan sebagai substitusi semen dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dalam campuran beton normal mutu sedang dapat diketahui karakteristik sifat mekanik dan fisik beton dengan substitusi bata ringan dalam hal kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur, penyerapan air, dan porositas beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas, adapun tiga rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton dibandingkan beton normal terhadap sifat mekanik beton?
2. Bagaimana pengaruh variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton dibandingkan beton normal terhadap sifat fisik beton?
3. Berapa komposisi yang efektif dari variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton yang dapat memenuhi target mutu beton rencana?

4. Bagaimana kemudahan pengerjaan beton segar setelah dilakukan substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive*?

1.3 Tujuan Penelitian

mengacu pada rumusan masalah di atas, tujuan penulisan yang akan dicapai tentang penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. pengaruh variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton dibandingkan beton normal terhadap sifat mekanik beton,
2. pengaruh variasi substitusi pasial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton dibandingkan beton normal terhadap sifat fisik beton,
3. komposisi yang efektif dari variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton yang dapat memenuhi target mutu beton rencana, dan
4. kemudahan pengerjaan beton segar setelah dilakukan substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive*.

1.4 Manfaat Penelitian

manfaat penulisan tentang pengaruh pemanfaatan limbah bata ringan sebagai bahan campuran beton normal terhadap kuat tekan beton diantaranya adalah dapat:

1. mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik beton setelah dilakukan substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton,
2. memperoleh komposisi yang efektif dari variasi substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton yang dapat memenuhi target mutu beton rencana
3. menjadikan limbah bata ringan berguna dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi beton,

4. mengetahui kemudahan pengerjaan beton segar setelah dilakukan substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* untuk mengurangi proporsi air, dan
5. menambah wawasan dan referensi pembaca dalam pembuatan beton dengan substitusi sebagian semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran limbah yang diluar campuran beton standar.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun penelitian yang akan dilaksanakan terdapat batasan penelitian agar tidak terjadi penyimpangan terhadap rumusan masalah yang mencakup 15 (lima belas) hal sebagai berikut.

1. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) mengacu pada Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000).
2. Rancangan campuran beton (*Mix Design*) dibuat dengan mutu beton $f'c$ 25 MPa.
3. Substitusi parsial pada semen *portland* dengan limbah bata ringan menggunakan variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5%.
4. Limbah bata ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) yang digunakan dihaluskan sampai lolos saringan nomor 100 (0,15 mm).
5. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dalam campuran beton sebesar 0,7% dari berat semen dan mereduksi kadar air sebesar 15% hanya pada beton modifikasi.
6. Semen yang dipakai merupakan semen *portland* dengan merek Dynamix.
7. Agregat halus (pasir) yang dipergunakan didapat dari pasir Kulon Progo.
8. Agregat kasar (batu pecah) yang digunakan didapat dari batu pecah Clereng Kulon Progo.
9. Pengujian beton segar dilakukan dengan uji *slump*.
10. Pengujian sifat mekanik beton yaitu kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton, benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300

mm. Sedangkan untuk pengujian kuat lentur beton benda uji yang dipakai berbentuk balok dengan ukuran 400 x 100 x 100 mm.

11. Pengujian sifat fisik beton meliputi pengujian penyerapan air pada beton dan porositas beton, benda uji penyerapan air dan benda uji porositas beton berbentuk kubus dengan dimensi 150 x 150 x 150 mm.
12. Pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton dilaksanakan sekaligus pada benda uji yang sama, benda uji berjumlah 18 sampel terdiri dari 15 sampel setiap variasi (beton modifikasi) serta 3 sampel kontrol (beton tanpa modifikasi).
13. Benda uji untuk pengujian kuat lentur beton berjumlah 18 sampel terdiri dari 15 sampel setiap variasi (beton modifikasi) serta 3 sampel kontrol (beton tanpa modifikasi).
14. Benda uji untuk pengujian penyerapan air dan porositas beton berjumlah 18 sampel terdiri dari 15 sampel setiap variasi (beton modifikasi) serta 3 sampel kontrol (beton tanpa modifikasi).
15. Pengujian benda uji beton dilaksanakan diumur beton 28 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melaksanakan tinjauan pustaka ini, penting untuk dilakukan untuk mengetahui penelitian terdahulu yang dapat menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian yang akan dilaksanakan karena adanya kesamaan metode pengujian, material yang digunakan, dan bahan tambah yang digunakan. Tetapi terdapat beberapa perbedaan antara penelitian satu dengan yang lainnya.

2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang dapat dipergunakan sebagai acuan tinjauan pustaka pada penelitian yang dilaksanakan oleh peneliti. Terdapat 5 (lima) penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang memiliki hasil sebagai berikut.

1. Adhityatama (2016) menjelaskan pemanfaatan pemberian bahan tambahan pengganti sebagian agregat halus dengan menggunakan pecahan bata ringan untuk bahan campuran beton. Mutu beton rencana yang akan dicapai adalah mutu beton $f'c$ 14,5 MPa dengan pengujian yang dilaksanakan meliputi uji kuat tekan beton pada umur beton 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Dari data hasil pengujian menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya persentase pecahan bata ringan sebagai pengganti sebagian agregat halus sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian kuat tekan beton menghasilkan semua variasi melebihi kuat tekan rencana.
2. Jamal dkk. (2017) menyatakan bahwa penggunaan *SikaCim Concrete Additive* serta agregat halus pasir Mahakam dan agregat kasar koral Bengalon dalam campuran beton dapat menaikkan mutu sebesar 8,39% (23,78 MPa) dari nilai mutu beton rencana K-250 (20,7 MPa) menggunakan *SikaCim concrete additive* sebagai bahan tambah dengan kadar optimal didapatkan sebesar 0,7%

dari berat semen dan substitusi penggunaan air sebesar 15%. Pada umur beton 28 hari dilaksanakan pengujian kuat tekan beton. Nilai *slump* didapatkan nilai 9,5 cm untuk *Sikacim concrete additive* sebagai bahan tambah sebesar 0,7% dihitung dari berat semen.

3. Kurniawan dkk. (2020) membahas tentang inovasi mewujudkan beton ramah lingkungan serta mempunyai berat jenis yang rendah (beton ringan). Penelitiannya menggunakan tambahan limbah bata ringan dengan persentase variasi 10%, 20%, 30%, 40% dari volume pasir serta bubuk talek 8% dari volume semen sebagai campuran pembuatan beton. Pengujian yang digunakan yaitu uji kuat tekan beton dan absorpsi, dengan target mutu beton K-400. Penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan dari uji kuat tekan beton yaitu untuk beton normal rata-rata mutu beton didapat K-360. Sedangkan dengan bahan tambah limbah bata ringan 10%, 20%, 30%, 40% dan bubuk talek 8% dalam pengujian nilai kuat tekan beton pada campuran beton didapatkan hasil terjadi penurunan mutu beton dengan masing-masing mutu beton rerata K-294, K-271, K-251, dan K-225. Dari penelitian tersebut, dapat diambil kesimpulan nilai efektivitas beton ramah lingkungan mengalami penurunan beriringan dilakukan perubahan komposisi campuran beton.
4. Nurjanah dan Nikmatul (2020) membahas tentang pemanfaatan limbah tempurung kelapa dan serbuk bata merah yang ada di daerah Blitar. Limbah tersebut digunakan dalam campuran pembuatan beton sebagai bahan tambah. Penelitian tersebut menggunakan serpihan serat tempurung kelapa dengan ukuran maksimal 10 mm agar dapat bekerja lebih baik sebagai *filler* (bahan pengisi) beton, menggunakan rencana campuran dengan variasi 0%, 3%, 6%, dan 9%. Pada umur benda uji 14 dan 28 hari dilaksanakan pengujian kuat tekan beton. Hasil dari pengujian kuat tekan beton, beton normal mendapatkan nilai kuat tekan rerata umur 14 hari sebesar 19,42 MPa dan umur 28 hari sebesar 20,16 MPa. Kemudian beton dengan campuran 3% serbuk tempurung kelapa dan serbuk bata merah memiliki nilai kuat tekan rerata umur 14 hari sebesar 20,02 MPa dan umur 28 hari sebesar 20,64 MPa sehingga kuat tekan rata-rata yang didapatkan lebih besar dari pada beton normal. Untuk pengujian beton

dengan pencampuran 6% serbuk tempurung kelapa dan serbuk bata merah memiliki nilai kuat tekan rerata diumur beton 14 hari didapatkan sebesar 16,53 MPa serta diumur beton 28 hari sebesar 20,06 MPa. Pada pengujian beton dengan campuran 9% serbuk tempurung kelapa dan serbuk bata merah memiliki nilai kuat tekan rerata umur 14 hari sebesar 19,06 MPa dan umur 28 hari sebesar 19,45 MPa.

5. Cunradiana dkk. (2020) menyimpulkan tentang penelitian penggunaan tepung bata ringan sebagai bahan campuran beton dengan variasi tepung bata ringan 0%, 10%, 30%, dan 50% dalam campuran beton sebagai pengganti volume agregat halus. Beton diuji dengan pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton, pengujian dilaksanakan diumur beton 7 hari dan 28 hari. Penelitian tersebut menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan mutu beton rencana 20 MPa. Dari penelitian tersebut, menghasilkan kuat tekan beton maksimum diperoleh dari campuran beton dengan persentase tepung bata ringan 10% pada umur beton 28 hari yaitu sebesar 23,66 MPa dan kuat tarik maksimum beton 4,38 MPa yang melebihi dan memenuhi kuat tekan beton yang telah direncanakan. Kadar optimum penggunaan bubuk bata ringan yaitu 10% dapat meningkatkan kuat tekan beton dan kuat tarik beton. Sedangkan untuk persentase tepung bata ringan 30% dan 50% pada campuran beton, hasil yang didapatkan cenderung mengalami penurunan kekuatan dan nilai kuat tekan beton berada dibawah rencana mutu beton.

2.2 Perbedaan Penelitian

Adapun penelitian yang akan dilaksanakan penulis pada tahun 2022 memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu meliputi hal-hal berikut ini.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Aspek Penelitian	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Adhityatama (2016)	Jamal dkk. (2017)	Kurniawan dkk. (2020)	Nurjanah dan Nikmatul (2020)	Cunradiana dkk. (2020)	Setianto (2022)
1	Judul	Analisis Pengaruh Penambahan Pecahan Bata Ringan Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penggunaan <i>SikaCim Concrete Additive</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halus Pasir Mahakam	Uji Kuat Tekan Dan Absorpsi Pada Beton Ringan Dengan Penambahan Limbah Bata Ringan Dan Bubuk Talek	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Bata Merah Dan Limbah Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penggunaan Tepung Bata Ringan Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton	Pengaruh Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Parsial Semen Dan Penggunaan <i>Sikacim Concrete Additive</i> Dalam Campuran Beton Normal Mutu Sedang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No.	Aspek Penelitian	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Adhityatama (2016)	Jamal dkk. (2017)	Kurniawan dkk. (2020)	Nurjanah dan Nikmatul (2020)	Cunradiana dkk. (2020)	Setianto (2022)
2	Lokasi Penelitian	Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto.	Laboratorium Rekayasa Sipil, Fakultas Teknik, Kota Samarinda, Kalimantan Timur.	Laboratorium program studi teknik sipil Universitas Kadiri.	Laboratorium program studi Teknik Sipil Universitas Islam Blitar.	Laboratorium program studi Teknik Sipil Universitas Flores.	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia.
3	Benda Uji	Beton Silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm	Beton kubus Ukuran 150 x 150 x 150 mm	Beton kubus dimensi 150 x 150 x 150 mm	Beton Silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm, kubus ukuran 150 x 150 x 150 mm	Beton Silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm	Beton Silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm, kubus 150 x 150 x 150 mm, balok 400 x 100 x 100 mm
4	Parameter Pengujian	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton	Kuat Tekan, Kuat Lentur, Modulus Elastisitas, Penyerapan Air, dan Porositas Beton

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No.	Aspek Penelitian	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Adhityatama (2016)	Jamal dkk. (2017)	Kurniawan dkk. (2020)	Nurjanah dan Nikmatul (2020)	Cunradiana dkk. (2020)	Setianto (2022)
5	Metode Penelitian	Penelitian dilaksanakan dengan Pecahan Bata Ringan Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus pada campuran beton dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.	Penelitian dilaksanakan dengan Penggunaan <i>Sikacim Concrete Additive</i> pada campuran beton variasi 0,5%, 0,7%, dan 0,9% dari berat semen dan pengurangan air sebesar 15%.	Penelitian dilaksanakan dengan penggunaan limbah bata ringan dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% sebagai pengganti dari volume pasir dan bubuk talek dengan variabel tetap 8% dari volume pasir.	Penelitian dilaksanakan dengan pemanfaatan limbah serbuk bata dan limbah tempurung kelapa dengan variasi campuran untuk masing-masing bahan 0%, 3%, 6%, dan 9% untuk setiap campuran beton.	Penelitian dilaksanakan dengan penggunaan tepung bata ringan sebagai bahan campuran beton dengan variasi tepung 0%, 10%, 30%, dan 50%.	Penelitian dilaksanakan dengan Pemanfaatan Limbah bata ringan jenis AAC (<i>Autoclaved Aerated Concrete</i>) dijadikan bubuk sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton dengan variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5%.
6	Umur Pengujian	28 hari	7 hari, 14 hari, dan 28 hari	28 hari	14 hari dan 28 hari	7 hari dan 28 hari	28 hari

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Aspek Penelitian	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Adhityatama (2016)	Jamal dkk. (2017)	Kurniawan dkk. (2020)	Nurjanah dan Nikmatul (2020)	Cunradiana dkk. (2020)	Setianto (2022)
7	Hasil Penelitian	Seiring dengan bertambahnya persentase pecahan bata ringan sebagai pengganti sebagian agregat halus semua variasi melebihi mutu beton rencana dari pengujian kuat tekan beton.	Penggunaan <i>SikaCim Concrete</i> sebagai bahan tambah campuran beton efektif pada kadar 0,7% dari berat semen dengan peningkatan kuat tekan beton sebesar 14.87% dari mutu beton normal rencana.	Seiring dilakukan modifikasi campuran beton dengan bahan tambah limbah bata ringan dan bubuk talek, kualitas kuat tekan beton mengalami penurunan kuat tekan beton dengan signifikan.	Bahan tambah tempurung kelapa dan serbuk bata merah sebesar 3% pada campuran beton memiliki nilai kuat tekan beton diatas dari nilai kuat tekan beton normal, seiring penambahan persentase bahan tambah terjadi penurunan kuat tekan.	Kadar optimum penggunaan tepung bata ringan sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Untuk tepung bata ringan 30% dan 50% pada campuran beton, hasilnya mengalami penurunan nilai kuat tekan berada dibawah rencana mutu beton.	Sifat mekanik dan fisik beton variasi terhadap beton normal mengalami peningkatan dan penurunan mutu. peningkatan mutu beton variasi didapatkan dengan kadar optimal limbah bata ringan sebesar 2,5%. Seiring dengan penambahan limbah bata ringan mutu beton mengalami penurunan.

Sumber : Adhityatama (2016); Jamal dkk. (2019); Kurniawan dkk. (2020); Nurjanah dan Nikmatul (2020); Cunradiana dkk. (2020)

2.3 Keaslian Penelitian

Adapun berdasarkan sejumlah sumber pada penelitian terdahulu yang tercantum di atas, penelitian yang akan dilaksanakan oleh penulis adalah hasil karya asli dan bukan merupakan plagiasi. Adapun perbedaan penelitian yang akan dilaksanakan oleh penulis adalah sebagai berikut.

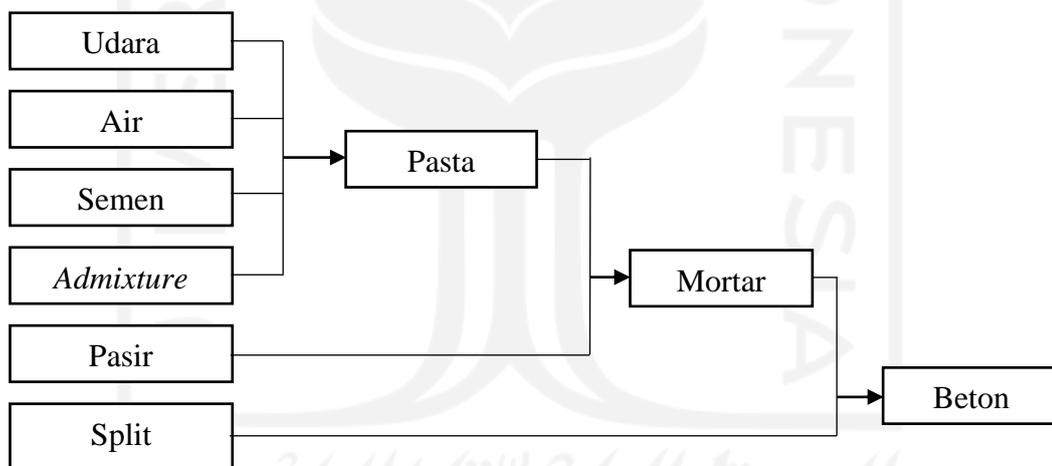
1. Objek dari penelitian yang akan dilakukan adalah campuran beton normal dengan bahan limbah bata ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) yang dijadikan bubuk lolos saringan 0,15 mm (No. 100) sebagai substitusi sebagian dari berat semen yang belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya.
2. Pada penelitian sebelumnya bahan tambah bata ringan dapat meningkatkan beton pada penambahan bubuk bata ringan dengan persentase sebesar 10% dari pengganti sebagian volume pasir, tetapi penelitian tersebut rentang nilai persentase variasi penambahan bata ringan terlalu besar yaitu 0%, 10%, 30% dan 50%. Penelitian lain menyebutkan penggunaan bata ringan sebagai pengganti parsial dari agregat halus dapat meningkatkan mutu beton pada semua variasi yang penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian penggunaan bahan tambah beton *SikaCim Concrete additive* pada campuran beton dengan kadar optimal 0,7% dari berat semen dan pengurangan air sebesar 15% terbukti dapat meningkatkan mutu beton. Sehingga pada penelitian yang dilakukan peneliti mencoba menggunakan variasi persentase bubuk bata ringan sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan beton menjadi 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen, serta dipadukan menggunakan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0,7% dari berat semen dengan pengurangan air sebesar 15% yang belum pernah dilakukan peneliti sebelumnya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019, beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Pencampuran semen dan air akan menghasilkan pasta semen serta memiliki fungsi untuk bahan perekat dan pengisi beton antara agregat halus dan agregat kasar, selanjutnya fungsi lainnya untuk pengeras maka akan terbentuklah massa yang kuat, padat, kompak, dan terikat. Unsur-unsur pembentuk beton ditampilkan dalam Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Unsur-unsur Pembentuk Beton

(Sumber: Mulyono, 2003)

Bahan-bahan pembuat beton tersebut dilaksanakan pemilihan sesuai dengan standar dan ketentuan yang sedang berlaku, kemudian dicampurkan menggunakan perbandingan tertentu sesuai dengan mutu beton yang direncanakan dan dicetak sedemikian rupa sesuai dengan kegunaannya. Beton sering digunakan sebagai bagian dari sebuah struktur bangunan, sehingga karakteristik beton harus mempunyai daya tahan tinggi, homogen, kekuatan sesuai rencana dan biaya yang ekonomis.

Pemilihan bahan-bahan penyusun beton harus memiliki kualitas sesuai dengan ketentuan karena akan sangat mempengaruhi hasil beton. Proses pencampuran yang baik dan merata juga akan mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan. Bahan-bahan yang dicampur secara merata sebagai penyusun beton akan menghasilkan sifat homogen, yaitu sifat saling mengisi, mengikat, serta tidak mengalami segregasi antar bahan-bahan penyusun pada saat dilakukannya pengecoran beton. Beriringan dengan bertambahnya umur beton, dari awal pembuatan sampai proses pengerasan beton akan mencapai mutu beton rencana ($f'c$) setelah mencapai umur beton 28 hari. Terdapat macam-macam jenis beton menurut berat isinya yaitu sebagai berikut.

1. Beton Ringan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Beton yang mengandung agregat ringan dan densitas setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m³. Banyak dipakai sebagai elemen non-struktural. Material yang diperlukan dalam pembuatan beton ringan memiliki berat jenis ringan. Umumnya, berat jenis yang ringan berpengaruh pada menurunnya kekuatan beton hal ini dapat dicapai bila berat beton diperkecil. Prinsip dalam pembuatan beton ringan yaitu dengan menciptakan rongga di dalam beton, semakin banyak rongga udara yang dihasilkan maka akan semakin ringan. Akan tetapi kekuatan semakin kecil.

2. Beton Normal

Berdasarkan SNI 2847:2019 beton normal (*concrete, normal weight*) berat beton normal tipikal memiliki kepadatan (berat jenis) antara 2155 dan 2560 kg/m³, dan normalnya diambil nilai sebesar 2320 hingga 2400 kg/m³. Pada proses produksi beton yang akan digunakan harus didasarkan pada data sifat bahan dalam perencanaan campuran beton. Beton normal hampir dapat dipakai pada setiap bagian struktur bangunan.

3. Beton Berat

Berdasarkan SNI 7656:2012 beton berat yaitu beton yang memiliki berat isi lebih besar dari 2500 kg/m³. Beton berat umumnya banyak digunakan untuk

keperluan khusus seperti menahan benturan, menahan radiasi dan lain sebagainya.

4. Beton Massa

Berdasarkan SNI 7656:2012 beton massa merupakan beton yang memiliki dimensi penampang yang besar, maka membutuhkan perlakuan khusus dalam mengatasi panas hidrasi semen dan menjaga timbulnya keretakan akibat perubahan volume.

3.2 Sifat Beton Segar

Beton segar adalah hasil pencampuran antar agregat kasar, agregat halus, semen *portland*, air, dan dengan atau tidak mempergunakan bahan tambah yang masih pada kondisi plastis (belum mengalami pengerasan) dan setelah diaduk mulai mengeras dalam waktu beberapa jam. Beton sebelum mulai mengeras memiliki beberapa sifat pada saat dilakukan pengecoran atau setelah selesai pengecoran. Terdapat 3 (tiga) sifat beton menurut Nugraha dan Antoni (2007) sebagai berikut.

1. Keleccakan (*Workability*)

Keleccakan merupakan kemudahan pengerjaan beton, di mana menuang (*placing*) dan memadatkan (*compacting*) tidak menyebabkan munculnya efek negatif berupa pemisahan (*segregation*) dan pendarahan (*bleeding*). terdapat 3 (tiga) istilah dalam keleccakan, yaitu kompaktilitas, mobilitas, dan stabilitas. Pengertian istilah adalah sebagai berikut.

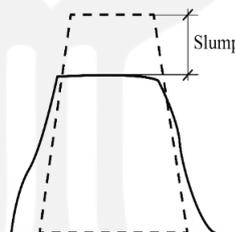
- a. Kompaktilitas merupakan kemudahan mengeluarkan udara dan pemadatan.
- b. Mobilitas merupakan kemudahan dalam mengisi cetakan dan membungkus tulangan. Kompaktilitas beton yang baik umumnya mempunyai mobilitas yang baik pula.
- c. Stabilitas merupakan kemampuan tetap menjadi massa homogen tanpa terjadi pemisahan.

Adapun terdapat faktor lain yang dapat mempengaruhi keleccakan yaitu sebagai berikut ini:

- a. gradasi, bentuk, dan kualitas permukaan butir agregat,
- b. perbandingan antar agregat halus dan agregat kasar,
- c. diameter maksimum,
- d. penyerapan air,
- e. metode pemadatan,
- f. faktor air semen.

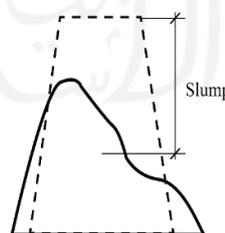
Untuk mengetahui kelecakan dalam adukan beton segar dapat dilaksanakan pengujian *slump*. Pengujian dilakukan menggunakan cetakan dengan bentuk kerucut terpancung yang umumnya disebut kerucut abram. Ukuran untuk lubang diameter bawah $203 \pm 3,2$ mm, diameter atas $102 \pm 3,2$ mm, dan tingginya $305 \pm 3,2$ mm. Terdapat tiga jenis *slump* yang umumnya ditemui dalam pengujian yaitu *slump* sebenarnya (*slump* sejati), *slump* geser, dan *slump* runtuh. Pengertian dari macam-macam *slump* sebagai berikut.

- a. *Slump* sebenarnya, yaitu terjadinya penurunan hasil cetakan beton segar yang seragam tanpa ada adukan beton segar yang runtuh.



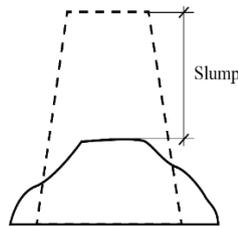
Gambar 3. 2 Slump Sebenarnya

- b. *Slump* geser, yaitu terjadi ketika separuh puncak dari hasil cetakan beton segar tergelincir atau tergeser ke bawah dalam bidang miringnya.



Gambar 3. 3 Slump Geser

- c. *Slump* runtuh, yaitu terjadi ketika adukan beton segar hasil cetakan beton segar runtuh seluruhnya diakibatkan dari adukan beton yang encer.



Gambar 3. 4 Slump Runtuh

2. Pemisahan (*Segregation*)

Fenomena pemisahan agregat dari mortar biasa disebut dengan pemisahan (*segregation*). Apabila partikel dalam suspensi tidak dapat ditahan oleh kohesi material maka besar kemungkinan segregasi dapat terjadi. Campuran beton yang memiliki kualitas tidak bagus yang timbul akibat segregasi memiliki ciri-ciri sukar untuk dituangkan dan material tidak seragam. Terjadinya Segregasi dikarenakan butiran agregat halus turun kebagian bawah dari beton segar, atau agregat kasar mengalami pemisahan pada campuran beton, disebabkan dari kesalahan proses penuangan dan pemadatan dalam pengecoran penuangan dan pemadatan. Tidak terdapat pengujian untuk mengetahui terjadinya segregasi sebelumnya, segregasi dapat diketahui pada saat proses pengecoran. Berikut faktor yang dapat menimbulkan terjadinya segregasi yaitu sebagai berikut:

- a. Agregat kasar memiliki ukuran lebih besar dari 25 mm,
- b. Agregat kasar dan agregat halus memiliki berat jenis berbeda jauh,
- c. Material halus memiliki jumlah yang kurang dalam campuran,
- d. Agregat memiliki bentuk butir yang bulat,
- e. campuran yang memiliki faktor air semen yang terlalu rendah atau tinggi.

3. Pendarahan (*Bleeding*)

Pendarahan atau dapat disebut juga dengan *bleeding* sering terjadi ketika telah dilaksanakan pengecoran. *Bleeding* dapat diidentifikasi ketika setelah pengecoran terbentuk lapisan air di permukaan beton segar. Hal ini dikarenakan berat jenis semen yang menjadi pasta 3 kali lebih berat dari berat jenis air, terutama pada adukan beton yang encer. Beton dengan kondisi normal memiliki konsistensi baik, *bleeding* terjadi secara konstan dengan rembesan air yang seragam di semua permukaan beton. Akan tetapi pada campuran beton

yang basah dan *lean* (kurus), akan terbentuk saluran air yang mengalirkan air yang terkandung dalam beton dengan cepat ke permukaan beton dan membaa butir halus semen. Beton yang tebal dapat timbul 3 lapisan horizontal, lapisan tersebut adalah air di lapisan teratas, beton kepadatan seragam, dan beton terkompresi (ada gradien, makin bertambah kebawah). Terkadang air yang naik ke atas dapat terjebak oleh agregat dengan ukuran besar dan tulangan beton. hal tersebut dapat mengurangi kelekatan antar agregat.

3.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton yang masih dalam keadaan segar dapat dengan mudah untuk cetak dan dibentuk sesuai keinginan perencana, ketika sudah mengeras beton memiliki kuat tekan yang tinggi sesuai mutu rencana. Mulyono (2004) menyatakan beton sebagai bahan untuk konstruksi memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Beton memiliki kelebihan adalah sebagai berikut.

1. Kemudahan untuk dibentuk sesuai dengan kebutuhan perencanaan konstruksi.
2. Beton mampu untuk menahan beban berat.
3. Tahan pada suhu tinggi.
4. Biaya perawatan relatif murah.

Kekurangan beton sebagai bahan struktur konstruksi adalah sebagai berikut.

1. Beton yang sudah mengeras tidak bisa dirubah.
2. Membutuhkan ketelitian yang tinggi dalam pelaksanaan pekerjaan.
3. Memiliki bobot yang berat.
4. Daya pantul beton terhadap suara cukup besar.

3.4 Faktor Mutu dan Kekuatan Tekan Beton

Ketika dalam pencampuran bahan-bahan penyusun beton tentunya ingin mendapatkan hasil yang baik dan kuat sesuai dengan rencana. Maka untuk mendapatkan keawetan dan mutu yang direncana, terdapat faktor-faktor yang menjadi pertimbangan dan perhatian untuk mendapatkan mutu beton yang baik, Mulyono (2004) menyatakan yaitu sebagai berikut.

1. Proporsi bahan-bahan penyusunnya.

2. Metode perancangan.
3. Perawatan.
4. Keadaan pada saat pengocoran dilaksanakan yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

3.5 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan elemen dari bagian struktur maupun non-struktural bangunan yang tersusun dari beberapa bahan-bahan penyusun dalam campurannya, serta memiliki karakteristik yang spesifik. Bahan-bahan penyusun beton memiliki standar yang telah ditetapkan sebagai acuan perencanaan pembuatan beton. Bahan-bahan tersebut dijelaskan dibawah ini sebagai berikut.

3.5.1 Agregat

Agregat yaitu butiran mineral alami yang tersedia di alam dan dimanfaatkan sedemikian rupa yang memiliki fungsi untuk bahan pengisi pada campuran beton atau mortar. Berdasarkan SNI 2847:2019 agregat merupakan bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Total volume beton sekitar dari 60-75% volumenya diisi oleh agregat kasar dan agregat halus, oleh karena itu standar kualitas agregat yang akan digunakan sangatlah berpengaruh pada mutu beton. Kualitas agregat yang bagus, memungkinkan beton mudah dikerjakan, durabilitas tinggi, kuat, serta murah. Terdapat faktor-faktor yang penting untuk diperhatikan dalam memilih agregat sebagai bahan campuran beton, adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan Ukuran Butir Nominal Agregat

Tjokrodimulyo (1996) menyebutkan ukuran maksimum butir agregat yang biasanya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, atau 40 mm. Ukuran maksimum yang disyaratkan SK SNI 15-1991-03 batasan yang diberikan dalam struktur beton bertulang sebesar 40 mm. bila digunakan ukuran yang lebih dari 40 mm, maka harus memperoleh persetujuan oleh ahli dengan pertimbangan kemudahan pelaksanaan dan metode pemadatan adukan beton agar tidak menimbulkan terjadi rongga udara atau sarang kerikil (*honeycumbs*). Terdapat dua macam

agregat mengacu pada ukuran butir nominal yang umumnya digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970:2008 agregat halus adalah pasir alami sebagai disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No. 4). Agregat halus dapat berupa pasir yang diambil di alam dari hasil pecahan batuan melalui proses alami, atau abu batu atau pasir buatan hasil dari mesin pemecah batu. Agregat halus memiliki fungsi pada campuran beton yaitu sebagai bahan pengisi antar rongga kerikil dalam menghasilkan suatu massa yang kuat dan keras, mencegah segregasi antar agregat kasar dengan pasta semen, memberikan *workability* pada campuran. Kadar lumpur dalam pasir tidak diijinkan melebihi dari 5% dan juga tidak mengandung zat-zat mengganggu serta yang bisa merusak beton. Fungsi dari agregat halus yaitu memberi kelecakan dan untuk mengisi rongga antara butiran agregat kasar.

b. Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1970:2008 agregat kasar yaitu kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 (No.4) sampai 40 mm (No. 1,5 inci). Agregat kasar berfungsi sebagai bahan pengisi dari volume beton, memberikan kekuatan pada beton, memberikan keawetan dan stabilitas volume beton. Agregat kasar dalam campuran beton wajib tersusun atas butiran yang memiliki kuat, keras, permukaan bertekstur, tidak memiliki rongga di dalamnya dan kekal. Syarat kebersihan kadar lumpur dalam agregat kasar tidak boleh melebihi dari 1% serta tidak mengandung zat-zat yang mengganggu serta dapat merusak beton.

2. Berdasarkan Bentuk Agregat

Tjokrodimulyo (1996) menyatakan bentuk agregat dipengaruhi oleh dua sifat, yaitu kebulatan dan sferikal. Pada beton segar bentuk butiran agregat lebih berpengaruh dari pada setelah beton mengeras. Bentuk butiran agregat bisa dibedakan menjadi 5 bentuk yaitu sebagai berikut.

- a. Bulat, Agregat berbentuk bulat atau bulat telur umumnya diperoleh dari sungai atau pantai.
- b. Tidak beraturan, bentuk alamnya tidak beraturan, atau mempunyai sisi tepi bulat. umumnya diperoleh dari sungai atau lahar gunung.
- c. Bersudut, bentuk yang tidak beraturan mempunyai bagian permukaan yang kasar dan bersudut tajam. agregat yang termasuk jenis ini yaitu semua yang dihasilkan oleh alat mesin pemecah dari berbagai jenis batu.
- d. Memanjang, butiran agregat dikatakan memanjang apabila panjangnya lebih dari kedua sisi dimensi lainnya atau lebarnya sepertiga panjangnya.
- e. Pipih, dikatakan pipih bila tebalnya jauh lebih kecil dari dimensi lainnya. sering dikatakan pipih apabila tebal agregat kurang dari sepertiga lebar.
- f. Panjang dan pipih, agregat yang panjangnya melebihi lebarnya dan lebarnya melebihi tebalnya.

3. Berat Jenis Agregat

Tjokrodimulyo (1996) menyatakan berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Agregat biasanya terdapat pori-pori butiran yang tertutup, sehingga berat jenis agregat dapat dibedakan menjadi dua istilah yaitu, berat jenis mutlak, ketika volume agregat tanpa pori dan berat jenis semu, ketika volume benda padat memiliki pori-pori tertutup dan terbuka.

4. Gradasi Agregat

Tjokrodimulyo (1996) menyatakan gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Apabila volume pori agregat besar, maka butiran agregat memiliki ukuran yang sama (seragam). Sebaliknya jika volume pori yang kecil maka ukuran butiran akan bervariasi. Dikarenakan butiran yang kecil akan mengisi pori-pori antara butiran yang lebih besar, sehingga porinya menjadi sedikit, disebut juga memiliki kemampuan tinggi. Terdapat 3 (tiga) jenis gradasi yang dapat ditemui melalui pengujian analisis saringan antara lain.

a. Gradasi Senjang/Sela (*Gab Grade*)

Salah satu atau lebih dari ukuran agregat tidak ada dalam satu set saringan. Jika dibuat grafik hasil analisis saringan gradasi sela ditunjukkan terdapat

garis horizontal dalam grafik. Dalam kondisi beton dengan kelecakan yang tinggi, lebih cenderung dapat mengalami segregasi. Disarankan digunakan dalam tingkat kemudahan pekerjaan yang rendah.

b. Gradasi Menerus (*Continous Grade*)

Gradasi menerus yaitu terdapat agregat pada setiap ukuran saringan yang digunakan dan agregat memiliki distribusi yang baik. Gradasi agregat ini banyak digunakan pada campuran beton dibandingkan gradasi seragam dan gradasi sela, gradasi menerus adalah yang terbaik digunakan. Hal ini karena campuran beton membutuhkan ukuran agregat yang bervariasi, sehingga gradasi menerus menghasilkan nilai pori agregat kecil serta kemampatannya yang tinggi akan timbul *interlocking* antar agregat yang baik.

c. Gradasi Seragam (*Uniform Grade*)

Agregat yang memiliki ukuran yang seragam (sama) dan memiliki ukuran fraksi pada batas yang sempit. Umumnya dipergunakan pada beton ringan, beton pori, sebagai pengisi agregat yang memiliki agregat sela, sebagai campuran agregat yang tidak memenuhi syarat.

Persyaratan gradasi agregat kasar dan agregat halus mengenai batas-batas gradasi untuk susunan butir pada setiap ukuran ayakan ditentukan dalam berdasarkan SNI 03-2834-2000. Susunan batasan daerah gradasi agregat halus dan agregat kasar disajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 1 Batasan Daerah Gradasi Agregat Halus (Pasir)

Ukuran Saringan mm	Persen Butir Agregat Lolos Saringan			
	Daerah I Pasir Kasar	Daerah II Pasir Sedang	Daerah III Pasir Agak Halus	Daerah IV Pasir Halus
9,60	100 – 100	100 - 100	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 – 100
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3. 2 Batasan Daerah Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan	Persen Butir Agregat Lolos Saringan		
	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
76,0			100 – 100
38,0		100 – 100	95 – 100
19,0	100 – 100	95 – 100	35 – 70
9,6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
4,8	0 – 10	0 – 10	0 – 5

Sumber : SNI 03-2834-2000

5. Berat Satuan dan Kepadatan

Tjokrodimulyo (1996) menyatakan berat satuan agregat merupakan berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dengan satuan kg/liter atau ton/m³. Berat agregat pada suatu tempat dihitung berdasarkan dengan berat satuan, jadi volume padat dan volume pori terbuka yang dihitung volumenya.

6. Kadar Air Agregat

Agregat mempunyai kandungan air didalamnya, hal ini dibedakan menjadi beberapa kondisi berdasarkan kadar airnya yaitu:

- a. kondisi kering oven atau tungku sehingga jika digunakan dalam campuran beton memerlukan banyak air,
- b. kondisi kering udara (butir-butir agregat kering permukaannya tetapi menyimpan sedikit air di porinya),
- c. kondisi jenuh kering permukaan (butiran tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton),
- d. kondisi basah (butir-butir mengandung banyak air baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga apabila digunakan dalam campuran akan menambah air) kondisi agregat ini tidak dicocok untuk campuran beton.

Kondisi agregat jenuh kering permukaan (*SSD*) banyak digunakan sebagai standar acuan, hal tersebut disebabkan oleh tingkat kandungan air dalam agregat hampir menyerupai agregat pada beton, sehingga agregat tidak akan mempengaruhi untuk menambah dan mengurangi air dari pasta, dan kadar air

agregat di lapangan lebih banyak mendekati keadaan *SSD* dari pada keadaan yang lain.

7. Kekuatan dan Keuletan Agregat

Kekuatan beton tidak jauh lebih tinggi daripada kekuatan agregatnya. Selama kekuatan agregat yang digunakan dalam campuran beton lebih tinggi dari mutu beton, maka agregat masih aman digunakan. Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat dan rapuh disebabkan oleh dua hal yaitu, karena tersusun oleh bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel penyusun yang kuat tetapi tidak memiliki ikatan yang kuat. Porositas agregat yang besar dapat berpengaruh keuletan dalam penentuan ketahanan agregat terhadap beban kejut.

3.5.2 Semen

Nugraha dan Antoni (2007) menyatakan arti kata semen adalah bahan yang mempunyai sifat adesif maupun kohesi, yaitu bahan pengikat. Kualitas beton sangat dipengaruhi kualitas semen yang digunakan, hal ini dikarenakan beton tersusun dari agregat yang diikat bersama dengan pasta semen yang mengeras. Pasta semen berfungsi sebagai lem, bila semakin banyak penggunaan tentu dapat semakin kuat. Akan tetapi jika terlalu banyak maka tidak menjamin lekatan akan semakin baik.

Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) 0013-1981 dalam Nugraha dan Antoni (2007) semen *portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang bisa digunakan, yaitu *gypsum*. Irawan (2013) menyatakan Pada saat ini yang paling banyak beredar dipasaran adalah semen *portland* komposit (PCC) SNI 15-7064-2004 dan semen Pozolan (PPC) SNI 15-0302-2004. Kedua semen tersebut tergolong ke dalam semen gabungan (*Blended Cement*). Semen *portland* umumnya ditemukan dan tersedia di pasaran dalam kantong 40 kg atau 50 kg. Berdasarkan standar yang diterbitkan oleh Badan Sandarisasi Nasional dalam irawan (2013) berikut ini adalah standar semen *portland* dan nomor SNI.

1. Semen *Portland*

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan diolah bersama menggunakan bahan tambahan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

2. Semen *Mansonry*

Berdasarkan SNI 15-3758-2004, semen hidrolis jenis ini dipakai pada pekerjaan konstruksi tembok dan plesteran, untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*), dan ketahanan (*durability*) semen ini terdiri dari pencampuran semen *portland* atau pencampuran semen hidrolis dengan bahan yang memiliki sifat menambah keplastisan bersama-sama bahan lainnya yang dipakai.

3. Semen *Portland* Putih

Berdasarkan SNI 15-0129-2004, Semen *portland* putih biasa dipakai untuk semua tujuan pembuatan adukan pasta semen serta beton yang tidak membutuhkan persyaratan khusus, kecuali warna putihnya. Semen ini banyak digunakan untuk pembuatan acian, plamir, *finishing* dan sebagainya.

4. Semen *Portland* Pozolan (PPC)

Berdasarkan SNI 15-0302-2004, fungsi Semen *Portland* Pozolan beragam tergantung jenisnya, yaitu Jenis IP-U (dipakai di semua tujuan pembuatan adukan beton), Jenis IP-K (dipakai di semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang), Jenis P-U (dipakai di pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi), Jenis P-K (dipakai di pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah). Untuk jenis bangunan bisa menggunakan semen jenis PPC antaranya perumahan, jalan raya, irigasi, dermaga dan sebagainya.

5. Semen *Portland* Komposit (PCC)

Berdasarkan SNI 15-7064-2004, Semen *portland* komposit dapat dipakai di konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, dan

pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan lainnya.

6. Semen *Portland* Campur

Berdasarkan SNI 15-3500-2004, suatu bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama dari terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik yang bersifat tidak bereaksi (*inert*). Semen *portland* campur tidak membutuhkan persyaratan khusus dengan kuat tekan maksimum 20 MPa (200 kg/cm²) pada umur 28 hari.

American Standard or Testing Material (ASTM C150) ataupun di Indonesia (SNI 15-2049-2004) membagi kembali semen *portland* menjadi 5 tipe. Adapun Mulyono (2004) menyatakan tipe-tipe semen dan penggunaannya sebagai berikut ini.

1. Tipe I, semen *portland* yang tidak memerlukan persyaratan khusus dalam penggunaannya. Semen tipe ini banyak dipergunakan untuk tujuan umum dan hampir dapat semua macam konstruksi.
2. Tipe II, semen *portland* penggunaannya membutuhkan tahan sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen tipe ini adalah semen modifikasi yang siatnya setengah dari tipe IV dan setengah tipe V (moderat) relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar.
3. Tipe III, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Kuat tekan rencana 28 hari dapat dicapai di umur beton 7 hari. Semen tipe ini umumnya digunakan waktu begetting harus dilakukan pembongkaran secepat mungkin.
4. Tipe IV, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Yang digunakan dalam kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gaitasi yang besar yang memerlukan pertumbuhan kekuatannya lebih lambat dari semen tipe I.
5. Tipe V, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Dipakai untuk daerah di mana tanah atau airnya

memiliki kandungan sulfat yang tinggi, umumnya dipakai pada saluran dan struktur yang ekspose terhadap sulfat.

Semen Portland yang ditemui di pasaran memiliki perbedaan antara produk semen yang dijual. Nugraha dan Antoni (2007) menyatakan satu merek dengan merek lain dapat berbeda dalam hal berikut.

- a. Kehalusan butir-butir semen.
- b. Komposisi kimia (detail).
- c. Perkembangan kekuatan.
- d. Jumlah *gypsum* yang ditambahkan.

3.5.3 Air

Bagian dari bahan penyusun beton yang penting pada membuat beton adalah air. Air memiliki fungsi sebagai bahan pelumas antar butiran agregat agar tingkat kemudahan untuk proses pengerjaan serta untuk proses reaksi kimia yang timbul berlangsung proses pengikatan antar bahan campuran serta beton menjadi keras. Campuran beton hanya perlu 25%-30% sebagai pereaksi dengan semen dari berat semen. Selain untuk proses reaksi kimia dalam beton, air digunakan juga dalam proses perawatan (*curing*) beton dengan melakukan pembasahan ketika beton sudah mulai mengeras sampai umur 28 hari. Menurut Tjokrodimuljo (2007) penggunaan air dalam proses pencampuran bahan-bahan susun beton harus terpenuhi standar persyaratan sebagai berikut ini.

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.5.4 Limbah Bata Ringan

Limbah bata ringan itu sendiri adalah hasil dari limbah konstruksi, limbah dari toko bangunan, dan limbah dari pabrik yang tidak dapat digunakan untuk pekerjaan pasangan dinding karena pecah atau lain sebagainya, dari limbah

tersebut kemudian dihancurkan menjadi bubuk agar dapat digunakan dalam bahan tambah pembuatan beton. Bata ringan memiliki karakteristik ringan, permukaan halus, presisi, dan rata. Umumnya dijumpai dipasaran mempunyai dimensi 60 cm x 20 cm dengan tebal 7 cm–15 cm. Bata ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) dibuat oleh pabrik secara masal dengan bahan campurannya dari semen, kapur, pasir kwarsa, silika, aluminium pasta, dan *gypsum*. Karena diproduksi di pabrik maka menghasilkan produk yang terjamin standar kualitas yang terbaik dan berkualitas. Produksi melalui proses yang menerapkan teknologi yang mengacu pada Standar *Deutsche Industrie Norm (DIN)* dari Jerman.

Umumnya bata ringan memiliki berat antara 600-1800 kg/m³, hal ini membuat bata ringan lebih unggul dari pada bata normal jika digunakan dalam konstruksi bangunan tinggi karena bisa mensubstitusi berat sendiri bangunan secara signifikan. Andres (1989) menyatakan disisi lain kekuatan bata ini mempunyai kekuatan tekan antara 1 MPa sampai 15 MPa.

3.5.5 Bahan tambah

Berdasarkan SNI 7656:2012 bahan tambahan yaitu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifatnya. Sedangkan Mulyono (2004) menyatakan bahan tambah digunakan sesuai dengan kondisi pada pekerjaan konstruksi di lapangan yang bisa digunakan dengan proporsi presentase yang sedikit serta dilaksanakan pengawasan yang ketat agar bahan diberikan secara proporsional jika berlebihan dapat mengakibatkan memberburuk sifat dan kualitas beton. Mengubah sifat-sifat dari beton berfungsi untuk menjadikan lebih cocok dalam pekerjaan tertentu, atau mendapatkan biaya yang lebih murah.

Tjokrodimuljo (2007) menyatakan bahwa bahan tambah berfungsi untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Mempercepat pengerasan.
2. Menambah encer adukan.
3. Menambah kuat tekan pada beton.
4. Menambah daktilitas (mengurangi sifat getas).
5. Mengurangi retak-retak pengerasan.

Sesuai dengan syarat dan ketentuan mutu bahan tambah *admixture* yang tertuang dalam ASTM C 494-81 “*Standard Specification For Chemical Admixture For Concrete*”. Tipe bahan tambah kimia yang dipakai dalam campuran beton dmemiliki pengertian yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Tipe A (*Water Reducing Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi untuk mengurangi kadar air yang digunakan dan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
2. Tipe B (*Retarding Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi sebagai penghambat proses waktu pengikatan adukan beton. digunakan ketika kondisi cuaca panas, proses pengangkutan yang jauh, memperpanjang waktu pengecoran dan pemadatan adukan beton.
3. Tipe C (*Accelerating Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi sebagai mempercepat proses pengikatan adukan dan mempercepat memperoleh kekuatan beton.
4. Tipe D (*Water Reducing And Retarding Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi untuk mereduksi kadar air yang digunakan dan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi penghambat proses waktu pengikatan adukan beton.
5. Tipe E (*Water Reducing And Accelerating Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi untuk mereduksi kadar air yang digunakan dan mempercepat proses pengikatan awal adukan dan mempercepat memperoleh kekuatan awal beton yang tinggi.
6. Tipe F (*Water Reducing And High Range Admixture*), merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mereduksi pemakaian air dalam adukan beton serta menghasilkan beton yang memiliki konsistensi sebesar 12% atau lebih.
7. Tipe G (*Water Reducing And High Range Retarding Admixture*), merupakan bahan tambah adukan beton yang berfungsi untuk mengurangi pemakaian air dalam adukan beton serta menghasilkan beton yang memiliki konsistensi sebesar 12% atau lebih serta memperlambat waktu pengikatan beton dan pengerasan adukan beton.

3.5.6 SikaCim Concrete Additive

SikaCim Concrete Additive merupakan bahan tambah yang banyak tersedia dipasaran dengan harga yang cukup terjangkau diproduksi oleh PT. Sika Indonesia Head Office and Manufacturing, Bogor. Bahan tambah ini memiliki fungsi sebagai pereduksi penggunaan air pada campuran beton hingga 15% dari berat semen, memudahkan proses pengecoran sehingga mengurangi terjadinya keropos pada beton. penggunaan bahan tambah *SikaCim Concrete Additive* dapat memenuhi kebutuhan pelepasan bekisting lebih awal karena penguatan dan pengeringan beton lebih cepat.

3.5.7 Filler (Bahan Pengisi)

Filler merupakan material pengisi dalam campuran beton. Filler dalam campuran beton adalah bahan yang 100% lolos saringan No. 100 dan paling kurang 75% lolos saringan No. 200. Fungsi *filler* yaitu untuk mengisi rongga antar agregat halus dan kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan yaitu abu batu, kapur padam, *portland cement* (PC), debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan campuran dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan campuran beton maka akan menaikkan volumenya. Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan, dapat menurunkan porositas dan penyerapan air pada campuran beton.

Filler dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bata ringan. Bahan pengisi (*filler*) harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis. Fungsi filler dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah semen yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.

2. Filler dan semen secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.
3. Mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

3.5.8 Binder (Bahan Pengikat)

Binder merupakan bahan pengikat dari suatu campuran beton. Pemakaian binder dalam campuran beton sangat pengaruh terhadap kekuatan beton. bahan ikat, apabila dicampur dengan air maka akan menjadi pasta, bila dicampurkan dengan agregat halus maka akan jadi mortar apabila dicampurkan lagi dengan agregat kasar maka akan menjadi campuran beton yang setelah mengeras akan menjadi beton keras. Binder pada beton, silika dan alumina pada fly ash bereaksi dengan cairan alkali untuk membuat pasta yang mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan-bahan lain. Binder akan mengalami proses polimerisasi dan akan mengeras.

3.6 Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik merupakan respon beton terhadap gangguan berupa gaya-gaya yang bekerja dari luar. Gaya tersebut menimbulkan tegangan (*stress*) bentuk dari respon dari gaya dalam dan deformasi yaitu respon beton berupa perubahan bentuk. Deformasi bila dikaitkan dengan dimensi maka disebut dengan regangan (*strain*). Pada penelitian yang dilaksanakan, sifat mekanik beton akan ditinjau dari kuat tekan beton, kuat lentur beton, dan modulus elastisitasnya.

3.6.1 Kuat Tekan Beton

Mutu sebuah struktur diidentifikasi dari kuat tekan beton. Semakin tinggi mutu kekuatan struktur yang ingin dicapai, semakin tinggi juga mutu beton yang direncanakan. Kuat tekan beton yang diisyaratkan dengan $f'c$ merupakan kuat tekan beton yang telah ditetapkan oleh perencana struktur menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, digunakan dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dengan satuan MPa (SNI 03-2847-2002). Untuk kuat tekan beton yang ditargetkan f_{cr} merupakan kuat tekan beton rerata dari beberapa benda uji yang ingin dicapai atau lebih besar dari $f'c$.

Kekuatan beton tidak akan jauh lebih tinggi daripada kekuatan agregat yang dipakai, sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi dari pada kuat tekan beton rencana sehingga agregat masih dianggap kuat. Kuat tekan beton adalah salah satu parameter yang memperlihatkan besarnya beban yang diterima per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh nilai gaya tekan tertentu. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik tetapi relatif kecil dari pada kuat tekannya, sehingga diasumsikan semua tegangan yang terjadi dalam beton didukung oleh kuat tekannya. Berdasarkan SNI 1974:2011 Benda uji silinder dengan pengujian kuat tekan didapatkan nilainya dengan persamaan (3.1). Rumus persamaan nilai kuat tekan beton digunakan sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan:

$f'c$ = Kuat tekan benda uji silinder beton (MPa) atau (N/mm²)

P = Beban tekan beton (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

$$f'cr = \frac{\sum_i^N f'c}{N} \quad (3.2)$$

dengan:

$f'c$ = Kuat tekan benda uji silinder beton (MPa) atau (N/mm²)

$f'cr$ = kuat desak beton rata-rata (MPa)

N = jumlah benda uji

Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dikategorikan dalam beberapa macam dan ditampilkan dalam Tabel 3.3.

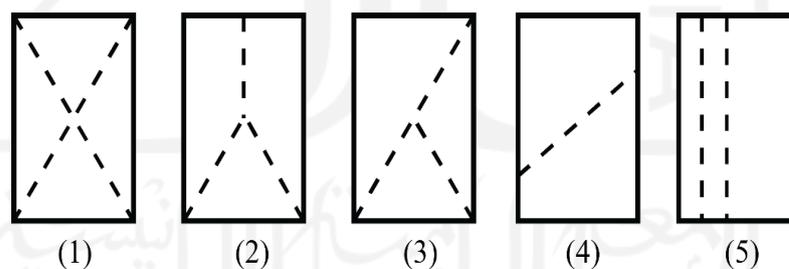
Tabel 3. 3 Kategori Kuat Tekan Beton

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)	Tujuan Konstruksi
Beton Sederhana	≤ 15	Non-Stuktur
Beton Normal (Beton Biasa)	15 – 30	Struktur, bagian struktur penahan beban
Beton Pra-tegang	30 – 40	Balok prategang, tiang pancang
Beton Tinggi	40 – 80	Struktur Khusus
Beton Sangat Tinggi	>80	Struktur Khusus

Sumber : Tjokrodinuljo (2007)

Dalam melaksanakan pengujian kuat tekan beton terdapat bentuk kehancuran benda uji yang disebabkan oleh pembebanan, SNI 1974:2011 menyebutkan ada 5 (lima) bentuk kehancuran benda uji berbentuk silinder yang sering ditemui dalam pengujian, yaitu bentuk kehancuran:

1. Kerucut,
2. Kerucut dan belah,
3. Kerucut dan geser,
4. Geser, dan
5. Sejajar sumbu tegak (kolumnar).



Gambar 3. 5 Sketsa bentuk kehancuran pada benda uji

Dari kelima bentuk kehancuran dapat terjadi gabungan dari beberapa bentuk kehancuran sekaligus dalam satu campuran beton. Hal ini dikarenakan terjadinya segregasi material beton ketika pembuatan benda uji. Tidak homogenya material penyusun beton membuat material yang ringan posisi di bagian atas dan material yang berat posisi di bagian bawah. Permasalahan timbul distribusi kekuatan beton tidak merata yang sehingga pola retakan mengikuti titik-titik terlemah benda uji.

Tjokrodimuljo (1996) berpendapat, terdapat faktor yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain sebagai berikut ini.

1. Faktor air semen

Menurut Mulyono (2004) Faktor Air Semen (FAS) atau *water cement ratio* (*wcr*) merupakan berat air dibagi dengan berat semen salah satu indikator dalam perencanaan campuran beton. Rumus fas ditetapkan sebagai berikut:

$$FAS \text{ (kg/l)} = \frac{\text{berat air (kg/m}^3\text{)}}{\text{berat semen (L/m}^3\text{)}} \quad (3.3)$$

Rendahnya mutu kekuatan beton, disebabkan tinggi nilai FAS. Sedangkan nilai FAS yang semakin rendah tidak berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Kesulitan pemadatan pada pengerjaan dipengaruhi oleh nilai FAS yang rendah pada akhirnya akan menimbulkan turunya mutu beton rencana. Secara umumnya nilai FAS minimumnya diberikan 0,4 dan maksimum 0,65. Duff dan Abrams (1920) dalam Mulyono (2004) dinyatakan terdapat hubungan antara FAS dengan kuat tekan beton pada persamaan berikut.

$$f'_c = A/(B^{1.5X}) \quad (3.4)$$

dengan:

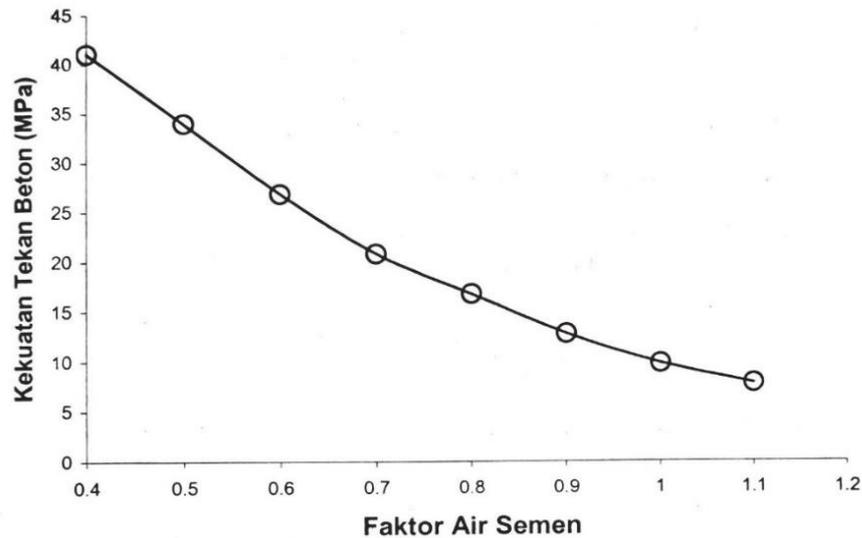
f'_c = Kuat Tekan Beton Silinder

A, B = Nilai Konstanta

X = FAS (faktor air semen)

Duff dan Abrams (1919) dalam Mulyono (2004) melakukan penelitian hubungan antara kekuatan beton 28 hari dan faktor air semen dengan uji beton silinder. Apabila faktor air semen semakin tinggi maka kuat tekan akan menurun, begitupun sebaliknya semakin rendah nilai faktor semen maka kekuatan beton akan semakin tinggi. Namun, dalam penggunaan nilai faktor air semen yang terlalu rendah kuat tekan beton juga akan rendah, hal tersebut ditimbulkan beton akan menjadi sulit untuk dipadatkan dalam pengerjaannya

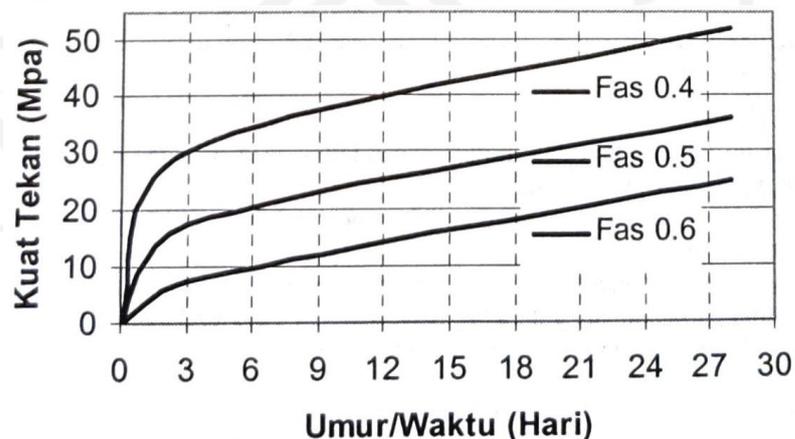
sehingga menimbulkan pori-pori yang besar. Adanya pori udara dalam beton sebesar 5% kuat tekan beton akan berkurang hingga 35% serta pori udara sebesar 10% dapat mensubstitusi kuat tekan beton mencapai 60%. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton ditampilkan dalam grafik di Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Grafik hubungan antara kuat tekan beton umur 7 hari dengan faktor air semen menggunakan semen cepat mengeras

(Sumber: Mulyono, 2004)

Gambar 3.6 memperlihatkan terjadi kenaikan kuat tekan beton yang ekstrim pada FAS 0,5 sampai 1,1. Hubungan antar variasi kuat tekan beton dengan selama umur 28 hari untuk nilai FAS dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton selama masa perkembangannya

(Sumber: Mulyono, 2004)

Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 menunjukkan bahan untuk nilai FAS 0,4 semen sudah terhidrasi dengan baik serta memiliki kuat tekan yang tinggi di umur beton 28 hari. Ketika diberikan penambahan air, maka pori-pori beton akan bertambah dan akibatnya beton lebih banyak pori dan kekuatannya akan menurun.

2. Sifat agregat

Tjokrodinuljo (1996) menyatakan sifat agregat yang paling banyak berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Agregat yang memiliki bentuk yang bersudut dan memiliki tekstur kasar (batu pecah) memiliki luas permukaan lebih besar (kerikil), dengan itu daya lekat terhadap pasta menjadi lebih kuat. Lekatan yang baik antara pasta dengan agregat akan meminimalisir terjadi retak rambut atau micro crack dari gaya tekan biasanya dimulai, jadi kekuatan beton menjadi lebih tinggi. Kekerasan permukaan agregat memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton pada pemakaian faktor air semen yang sama. Penggunaan agregat kasar yang diambil dari batu pecah akan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan penggunaan agregat dari kerikil alami, hal ini karena agregat kasar dari batu pecah memiliki ikatan antar butiran yang lebih unggul sehingga terbentuknya daya lekat yang kuat. Lekatan yang kuat tersebut membuat kekuatan beton menjadi lebih tinggi.

3. Jumlah Semen

Tjokrodinuljo (1996) menyatakan jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika nilai faktor air semen sama (nilai *slump* berubah), Beton yang memiliki kuat tekan tinggi didalamnya campuran beton mengandung proporsi jumlah semen yang besar dan jumlah air yang sedikit. Penggunaan semen yang terlalu sedikit akan menyebabkan pematangan beton segar pada cetakan menjadi sulit dan juga kuat tekan beton menjadi rendah. Namun apabila penggunaan proporsi semen yang berlebih dan jumlah air yang berlebih menimbulkan beton memiliki banyak pori serta kuat tekan beton menjadi rendah.

4. Umur Beton

Menurut Mulyono (2004) menyatakan kuat tekan beton mengalami kenaikan sejalan dengan bertambahnya umur beton. Kuat beton mengalami kenaikan dengan cepat (linier) hingga mencapai umur beton 28 hari, kemudian akan mengalami kenaikan yang relatif kecil. Pada kasus tertentu kekuatan beton dapat terus bertambah hingga beberapa tahun di awal. Kuat tekan rencana beton umumnya dihitung di umur beton 28 hari, dapat juga dihitung kurang dari 28 hari tetapi harus melalui proses konversi ke umur 28 hari. Penggunaan bahan semen memiliki kecenderungan dengan langsung memperbaiki kinerja kekuatan beton karena semen berfungsi sebagai bahan pengikat atau perekat. Standar yang dipakai untuk kuat tekan beton bila tidak ada penyebutan secara khusus adalah kuat tekan di umur beton 28 hari. Mutu beton dianggap 100% ketika mencapai umur 28 hari sedangkan setelah umur 28 hari kenaikan kekuatan beton bertambah secara asimtotis.

3.6.2 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur merupakan kemampuan benda uji beton berbentuk balok yang ditempatkan di dua tumpuan agar menahan gaya yang diberikan dengan arah tegak lurus sumbu benda uji balok beton hingga patah dan dinyatakan dengan satuan MPa. Suatu balok ketika diberikan beban arah tegak lurus dari sumbunya akan terjadi deformasi, sebelum terjadinya deformasi terjadi perlawanan momen lentur dari bahan-bahan pembentuk beton terhadap gaya dari luar. Kuat lentur beton untuk mengetahui pola lendutan dan retakan yang terjadi ketika balok menahan beban lentur, serta dapat mengetahui tingkat daktilitas beton.

Persamaan kuat lentur beton dapat dihitung yang tergantung dengan metode pengujian yang dipilih atau sistem pembebanan. Sistem pembebanan uji kuat tekan lentur terdapat dua sistem, yaitu sistem pembebanan dua titik dan sistem pembebanan satu titik. Berikut ini persamaan yang digunakan pada setiap pembebanan dan kondisi benda uji setelah diuji.

1. Sistem Pembebanan Dua Titik

- a. Jika hasil pengujian patah benda uji berada di daerah pusat pada $1/3$ jarak titik perletakan pada bagian tarik beton, sehingga dipakai persamaan berikut.

$$f_{lt} = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (3.5)$$

- b. Jika hasil pengujian patah benda uji berada di luar pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik beton, dan jarak antar titik yang patah dan titik pusat beban kurang dari 5% jarak titik perletakan, sehingga dipakai persamaan berikut.

$$f_{lt} = \frac{3.P.c}{b.h^2} \quad (3.6)$$

- c. Benda uji yang akibat pengujiannya patah diluar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik patah dan titik pembebanan lebih dari 5% bentang, sehingga tidak dapat digunakan.

dengan:

f_{lt} = Kuat lentur (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Jarak bentang antar dua perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang patah (mm)

h = tinggi tampang lintang patah (mm)

c = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan terdekat.

2. Sistem Pembebanan Satu Titik

- a. Jika hasil pengujian patah benda uji berada di bawah beban, sehingga dipakai persamaan berikut.

$$f_{lt} = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (3.7)$$

- b. Jika hasil pengujiannya patah tidak tepat di bawah beban pada bagian tarik beton, dan jarak antar titik yang patah dan titik beban kurang dari 10% jarak titik perletakan, sehingga dipakai persamaan berikut.

$$f_{lt} = \frac{3.P.c}{b.h^2} \quad (3.8)$$

- c. Untuk benda uji yang akibat pengujiannya patah tidak tepat di bawah beban pada bagian tarik beton dan jarak antara titik patah dan titik pembebanan lebih dari 10% bentang, maka tidak dapat digunakan.

dengan:

f_{lt} = Kuat lentur (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Jarak bentang antar dua perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang patah (mm)

h = tinggi tampang lintang patah (mm)

c = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan terdekat.

3.6.3 Modulus Elastisitas Beton

Sifat elastis suatu bahan secara umum mempunyai tolok ukur yaitu modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan tekanan yang diberikan terhadap beton dengan deformasi satuan panjang. Modulus elastisitas ditentukan ketika perubahan tegangan terhadap regangan pada batas elastis, berdasarkan ASTM daerah elastis beton dibatasi antara regangan 0,00005 dengan tegangan pada 40% dari tegangan maksimum.

McCornac (2003) menyatakan beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dengan agregat. Termuat hubungan antara kuat tekan beton dan modulus elastisitas, modulus elastisitas bisa ditentukan menggunakan rumus empiris berdasarkan SNI 2847:2019 yaitu:

1. untuk beton normal

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.9)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton desak (MPa)

$f'c$ = kuat desak beton (MPa)

2. untuk nilai berat volume (wc) 1440 kg/m³ dan 2560 kg/m³

$$E_c = wc^{1,5} 0.043 \sqrt{f'c} \quad (3.10)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton desak (MPa)

$f'c$ = kuat desak beton (MPa)

wc = berat isi beton (kg/m³)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besar nilai modulus elastisitas beton mengalami peningkatan berbanding lurus dengan meningkatnya kuat tekan beton. Untuk pengujian di laboratorium dengan benda uji silinder Antono (1993) menyebutkan perhitungan modulus elastisitas secara umum sebagai berikut.

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.11)$$

$$f = \frac{P}{A_o} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = \frac{l-l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (3.13)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

σ = tegangan (MPa)

ε = regangan (tanpa satuan)

P = beban desak (N)

A_o = luas tampang beton (mm²)

l = panjang ukur (yang memendek) sewaktu ada tegangan (mm)

l_o = panjang awal benda uji (mm)

Δl = perubahan panjang benda uji (mm)

Terdapat hubungan antara σ dan ε untuk menentukan modulus elastisitas (E) dinyatakan dalam grafik. Berdasarkan hukum *Hooke*, nilai modulus elastisitas beton bisa ditentukan memakai rumus:

$$\sigma = E_c \cdot \varepsilon \quad (3.14)$$

dengan:

σ = tegangan (MPa)

E_c = modulus elastisitas (MPa)

ε = regangan

3.7 Sifat Fisik Beton

Sifat fisik dari suatu benda yang utama adalah berat dan volumenya. Volume dalam beton terdiri oleh bagian tidak padat dan bagian padat. Volume bagian padat diperoleh dari semen, agregat kasar, agregat halus, serta bahan kimia tambah sedangkan bagian tidak padat berasal dari pori-pori yang berasal udara yang terperangkap baik tidak terisi oleh air (pori-pori tertutup) maupun yang terisi air (pori terbuka). Untuk mengetahui sifat fisik beton pada penelitian ini ditinjau dari penyerapan air pada beton dan porositas beton.

3.7.1 Penyerapan Air Pada Beton

Penyerapan air (*water absorbtion*) yaitu salah satu parameter sifat fisik dari beton untuk menentukan besarnya persentase air yang dapat terserap oleh beton. Penyerapan air pada beton nilainya akan semakin kecil jika beton memiliki kerapatan antar partikel yang tinggi dan pori-pori dipermukaan sedikit atau rapat. Beton yang memiliki kekedapan yang baik berdasarkan SNI 03-2914-1992 yaitu ketika dilakukan perendaman di air selama 10+0,5 menit nilai penyerapan maksimum sebesar 2,5% terhadap berat kering tungku beton, sedangkan untuk perendaman selama 1x24 jam nilai resapan air maksimum sebesar 6,5% terhadap berat kering tungku beton. Untuk mendapatkan nilai besarnya penyerapan air pada beton Lawrence H dan Van Vlack (1989) menyebutkan diukur dan dihitung memakai rumus sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \quad (3.15)$$

dengan:

M_b = Massa sampel setelah direndam di dalam air (gram)

M_k = Massa kering oven (gram)

3.7.2 Porositas Beton

Porositas adalah suatu perbandingan volume pori-pori dalam beton dengan volume total beton. Secara sederhana diartikan besarnya nilai kadar pori-pori yang terkandung didalam beton. Besarnya nilai persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton sangat mempengaruhi kekuatan beton, hal ini juga berhubungan dengan penggunaan faktor air semen dalam campuran beton. Pori-pori dalam beton timbul akibat dari udara yang terperangkap dapat juga air yang saling terhubung disebut juga kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada meskipun air yang dipergunakan dalam campuran beton sudah mengalami penguapan, jadi dapat juga mereduksi kepadatan beton.

Terdapat dua macam porositas dalam beton yaitu porositas terbuka dan porositas tertutup. Porositas terbuka biasanya terletak dipermukaan beton yang masih mempunyai akses kepermukaan luar meskipun rongga berada ditengah padatan beton. Porositas tertutup sulit untuk ditentukan, pori-pori terjebak di tengah-tengah padatan beton dan tidak memiliki akses kepermukaan luar. Penentuan porositas suatu bahan umumnya yang ditentukan porositas terbuka dan dicari nilainya menggunakan persamaan ASTM C-642-97 sebagai berikut.

$$P = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad (3.16)$$

dengan:

P = Porositas (%)

A = Berat sampel dalam air, *W water* (gram)

B = Berat sampel kondisi SSD, *W saturation* (gram)

C = Berat sampel kering oven, *W dry* (gram)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang dilaksanakan oleh peneliti untuk mengumpulkan informasi ataupun data untuk mendapatkan kesimpulan dari apa yang telah diteliti. Untuk penelitian ini metode yang diterapkan menggunakan metode eksperimental (percobaan), yaitu penelitian ini dilaksanakan untuk menyelidiki kemungkinan dari sebab akibat dengan cara membandingkan hasil penelitian dengan material atau variasi campuran yang belum dilakukan pengujian sebelumnya.

4.2 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan–Bahan Penelitian

Adapun bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai merupakan pasir dengan kondisi *SSD* (*Saturated Surface Dry*) berasal dari pasir Kulon progo.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipakai merupakan batu pecah dengan kondisi *SSD* (*Saturated Surface Dry*) berasal dari Clereng Kulon progo.

3. Semen

Semen yang digunakan untuk bangunan pada umumnya yaitu *PCC* (*Portland Composite Cement*) sama penggunaannya semen *portland* jenis I dengan merek Dinamix.

4. Air

Air yang pakai diperoleh dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

5. Limbah Bata Ringan

Bata Ringan jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) yang dihaluskan sampai lolos saringan No. 100 (0,15 mm) didapatkan dari limbah bata ringan toko bangunan yang dihaluskan menjadi bubuk dengan variasi substitusi semen 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%.

6. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan yaitu *SikaCim Concrete Additive* penggunaannya 0,7% dari berat semen.

7. Pelumas

Pelumas berfungsi sebagai bahan pendukung pembuatan benda uji yang dioleskan pada cetakan. Digunakan dalam proses pencetakan kaping dan beton segar dalam cetakan agar benda uji dapat dengan mudah dilepas.

8. Adukan Belerang

Belerang berfungsi sebagai bahan pendukung pembuatan benda uji. Belerang digunakan sebagai bahan pembuatan kaping pada beton silinder.

4.4 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang dipergunakan pada pengujian penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan ketelitian 0,1 gram,
2. Mesin pengguncang saringan,
3. Oven dengan pengukur suhu,
4. Talam,
5. Kuas,
6. Sikat halus,
7. Sikat kuningan,
8. Piknometer,
9. Satu set saringan,

10. Oven yang dilengkapi pengatur suhu,
11. Kerucut Abrams,
12. Bejana Tempat Air,
13. Batang Penumbuk,
14. Cetakan silinder dengan diameter 150 mm tinggi 300 mm,
15. Wadah ukur,
16. Palu karet,
17. Alat perata,
18. Seperangkat alat kunci,
19. Tempat mengalir air (kran),
20. Kain lap atau tisu,
21. Kain goni,
22. Pengukur Suhu ketelitian 1° C,
23. Mesin uji kuat tekan dengan ketelitian pembawa maksimum 10 kN,
24. Kompresometer-ekstensometer dapat mengukur sampai ketelitian 0,635 um,
25. Dial gauge,
26. *Stopwatch*,
27. Jangka sorong,
28. Pelat tempat penuang adukan beton,
29. Mesin pencampur bahan (*Mixer*)/Molen,
30. Pelat Kaping,
31. Alat Pelurus,
32. Kompor,
33. Cawan peleleh untuk adukan belerang,
34. Kawat yang sesuai untuk menggantungkan benda uji dalam air,
35. Troli / *Hand Pallet*.

4.5 Pemeriksaan Agregat Halus

4.5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis jenuh, dan angka

penyerapan air dalam agregat halus. Pengujian dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1970-1990. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Alat dan bahan penelitian dipersiapkan.
2. Benda uji dimasukkan wadah yang sesuai selanjutnya dikeringkan dalam oven dengan temperatur $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap. Benda uji didinginkan sampai suhu yang dapat dikerjakan, lalu rendam dalam air biarkan (24 ± 4) jam pada suhu ruangan.
3. Kelebihan air rendaman dibuang dengan hati-hati agar tidak terjadi hilangnya butiran halus terbawa air. Setelah itu benda uji ditebarkan di atas talam dan diaduk agar pengeringan merata hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan.
4. Pemeriksaan kelembaban permukaan atau kondisi jenuh kering permukaan benda uji dilakukan dengan pengujian kerucut. Cetakan kerucut terpancung diletakkan di atas talam yang rata dengan lubang besar posisi di bawah. Agregat halus dimasukkan ke dalam kerucut sampai penuh dan melebihi cetakan. Selanjutnya dipadatkan menggunakan batang penumbuk sebanyak 25 kali secara merata. Penumbukan dilaksanakan dengan menjatuhkan batang penumbuk secara bebas dengan ketinggian 5 mm dari permukaan penumbuk ke permukaan agregat. Tumpahan agregat halus dibersihkan di sekitar kerucut lalu kerucut diangkat. Kondisi jenuh kering permukaan tercapai bila saat kerucut diangkat agregat halus akan runtuh sedikit demi sedikit. Jika masih berbentuk seperti cetakan setelah cetakan diangkat maka belum tercapai kondisi jenuh kering permukaan.
5. Piknometer diisi dengan air sebagian. Ambil agregat halus dengan kondisi jenuh kering permukaan sebanyak (500 ± 10) gram lalu dimasukkan kedalam piknometer. Tambahkan air sampai 90% kapasitas dari piknometer. Untuk menghilangkan gelembung udara di dalam air piknometer diguncangkan dan diputar menggunakan tangan sampai tidak terdapat gelembung udara.
6. Piknometer direndam di air lalu diukur temperatur air untuk menyesuaikan suhu $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ dan tambahkan air sampai mencapai tanda batas.

7. Piknometer yang berisi benda uji dan air sampai tanda batas ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram.
8. Agregat halus dikeluarkan dari dalam piknometer dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$. Lalu benda uji didinginkan pada suhu ruangan selama $(1,0\pm 0,5)$ jam setelah itu ditimbang beratnya.
9. Piknometer saat berisi air penuh ditimbang berat sampai batas pembacaan yang telah ditentukan dan ukur suhu air untuk penyesuaian suhu standar $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

4.5.2 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat kasar bertujuan sebagai pegangan untuk pemeriksaan dalam penentuan gradasi atau pembagian butir agregat halus dengan memakai saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Talam ditimbang.
2. Berat benda uji ditimbang sesuai dengan yang telah diisyaratkan.
3. Benda uji dimasukkan kedalam oven dikeringkan menggunakan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap.
4. Saringan disusun dengan posisi ukuran saringan paling besar di atas hingga kecil dan pan diletakkan di posisi paling bawah. Selanjutnya benda uji dimasukkan dari saringan bagian atas dan ditutup dengan penutup saringan.
5. Saringan disusun dan ditempatkan didalam mesin pengguncang saringan (*sieve shaker*), kemudian mesin dinyalakan selama antara 10–15 menit.
6. Berat benda uji ditimbang yang tertahan disetiap saringan dan dicatat.

4.5.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Pengujian ini adalah standar acuan untuk memperoleh berat volume gembur agregat halus berdasarkan SNI 03-4804-1998. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Diameter dan tinggi silinder diukur.
2. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan dalam silinder menggunakan sekop secara berlebihan (tanpa dilakukan pemadatan) dan diratakan permukaannya.
4. Silinder yang berisi benda uji kemudian ditimbang.

5. Berat benda uji dicatat.

4.5.4 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Pengujian ini adalah standar acuan untuk memperoleh berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 03-4804-1998. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Diameter dan tinggi silinder diukur.
2. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan dalam silinder menggunakan alat bantu sekop diisi sepertiga bagian dari volume penuh kemudian tusuk lapisan agregat dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali.
4. Diisi lagi hingga volume dua per tiga silinder dan tusuk lagi 25 kali menggunakan batang penumbuk.
5. diisi kembali sampai berlebih dan tusuk 25 kali menggunakan batang penumbuk.
6. Permukaan benda uji diratakan dengan alat perata.
7. Silinder yang berisi benda uji ditimbang.
8. Dicatat beratnya.

4.5.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk memperoleh persentase jumlah bahan yang terkandung dalam agregat halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Pan ditimbang tanpa benda uji.
2. Benda uji ditimbang dan dimasukkan dalam pan.
3. Benda uji dan pan selanjutnya direndam dalam bejana air dan diguncang-guncangkan hingga terjadi pemisahan sempurna antara butiran yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm).
4. Air pencuci dituangkan di atas saringan nomor 16 (1,18 mm) yang dibawahnya saringan nomor 200 (0,075 mm) ketika menuangkan dilakukan secara hati-hati agar agregat tidak ikut terbang.
5. Ulangi pekerjaan butir (c) dan (d) hingga air pencuci terlihat jernih.

6. Seluruh benda uji tersebut dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya.
7. Benda uji dikeringkan didalam oven sampai beratnya tetap dengan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
8. Persentase bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) ditimbang dan dihitung.

4.6 Pemeriksaan Agregat Kasar

4.6.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis jenuh, dan angka penyerapan air dalam agregat kasar. Pengujian dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Pan ditimbang beratnya.
2. Agregat kasar diambil dan ditimbang mendekati jumlah yang dibutuhkan
3. Material lolos saringan ukuran 4,75 mm dipisahkan dengan penyaringan kering. Kemudian benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau material lain yang menempel di permukaan agregat.
4. Benda uji dikeringkan di oven dengan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap. Selanjutnya keluarkan dari oven dan dinginkan satu sampai tiga jam pada suhu kamar atau pada suhu normal yang dapat dikerjakan.
5. Benda uji ditimbang dalam kondisi kering oven, kemudian benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam.
6. Setelah perendaman, benda uji dikeluarkan dari dalam air kemudian pindahkan di lembaran kain lap dan guling-gulingkan sampai lapisan air di permukaan benda uji hilang. Khusus untuk butiran yang besar, keringkan secara tersendiri dengan dilap satu per satu. Pengerjaan harus hati-hati sampai mencapai kondisi jenuh kering permukaan.
7. Benda uji kondisi jenuh kering permukaan ditimbang dengan ketelitian 1,0 gram terdekat.

8. Benda uji segera dimasukkan dalam keranjang kawat dan timbang beratnya di dalam air yang memiliki kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada suhu (23 ± 2) °C. untuk menghilangkan udara yang terperangkap diantara benda uji goyang-goyangkan di dalam kondisi wadah terendam.

4.6.2 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agegat kasar bertujuan sebagai pegangan untuk pemeriksaan dalam penentuan gradasi atau pembagian butir agregat kasar dengan memakaikan saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Prosedur pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Talam ditimbang beratnya.
2. Benda uji dtimbang beratnya sesuai dengan yang disyaratkan.
3. Benda uji dimasukkan didalam oven dan dikeringkan pada suhu (110 ± 5) °C hingga beratnya tetap.
4. Saringan disusun pada posisi ukuran saringan terbesar di atas hingga terkecil dan pan di posisi paling bawah. Selanjutnya benda uji dimasukkan dari saringan bagian atas dan ditutup dengan penutup saringan.
5. Susunan saringan tersebut ditempatkan dalam mesin pengguncang saringan (*sieve shaker*), kemudian nyalakan mesin selama 10–15 menit.
6. Benda uji ditimbang beratnya yang tertahan disetiap saringan dan dicatat.

4.6.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Pengujian ini adalah untuk menentukan berat volume gembur agregat kasar menggunakan acuan standar berdasarkan SNI 03-4804-1998. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Diameter dan tinggi silinder diukur.
2. Silinder kondisi kosong ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan kedalam silinder menggunakan sekop secara berlebih (tanpa dipadatkan) dan ratakan permukaan benda uji.
4. Silinder yang berisi benda uji ditimbang.
5. Berat benda uji dicatat.

4.6.4 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Pengujian ini adalah sebagai acuan dalam menentukan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 03-4804-1998. Prosedur untuk pengujian laboratorium sebagai berikut.

1. Diameter dan tinggi silinder diukur dengan penggaris.
2. Silinder kondisi kosong ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan dalam silinder menggunakan sekop diisi sepertiga bagian dari volume penuh kemudian dilakukan penusukan lapisan agregat menggunakan batang penumbuk sebanyak 25 kali.
4. Diisi lagi hingga mencapai volume dua per tiga silinder dan tusuk lagi 25 kali dengan batang penumbuk.
5. Diisi kembali sampai berlebih dan tusuk 25 kali dengan batang penumbuk.
6. Permukaan benda uji diratakan menggunakan alat perata.
7. Silinder yang berisi benda uji ditimbang.
8. Berat benda uji dicatat.

4.7 Pemeriksaan Semen

Pemeriksaan semen dilakukan menggunakan metode pengamatan secara visual dari kemasan kantong atau zak semen dalam kondisi tertutup rapat dan tidak terjadi penggumpalan pada semen.

4.8 Pemeriksaan Air

Pemeriksaan air dilakukan dengan cara mengamati secara visual saja yang mencakup air harus bersih, tidak berwarna (bening), tidak berbau, dan tidak berasa.

4.9 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

suatu perhitungan secara teoritis dalam penentuan proporsi bahan-bahan penyusun beton yang dipergunakan untuk kebutuhan campuran beton merupakan pengertian dari perencanaan campuran beton (*Mix Design*), hal ini dilaksanakan untuk mendapatkan proporsi campuran yang memenuhi syarat mutu. Tahapan *mix*

design yang menjadi acuan standar yaitu berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana 25 MPa. Adapun Langkah-langkah perencanaan campuran beton diterangkan sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton ($f'c$) rencana ditetapkan pada umur beton 28 hari.
Kuat tekan beton direncanakan sebesar 25 MPa pada umur 28 hari
2. Nilai deviasi standar (S) ditetapkan berdasarkan Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Pergitungan deviasi standar didasarkan pada volume beton yang akan dibuat dan mutu pekerjaan. Dalam perencanaan campuran beton pada penelitian menggunakan nilai deviasi standar sebesar 7 MPa dengan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dianggap jelek, hal ini karena tidak memiliki pengalaman sebelumnya.

3. Nilai tambah dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$M = 1,64 \times Sr \quad (4.1)$$

dengan:

M = Nilai Tambah

1,64 = tetapan statistik nilainya tergantung dengan persentase kegagalan hasil uji

Sr = Deviasi standar rencana

4. Kuat tekan rata-rata ditargetkan (f'_{cr}) diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (4.2)$$

dengan:

f'_{cr} = Kuat tekan rerata ditargetkan

f'_c = Kuat tekan beton

M = Nilai Tambah

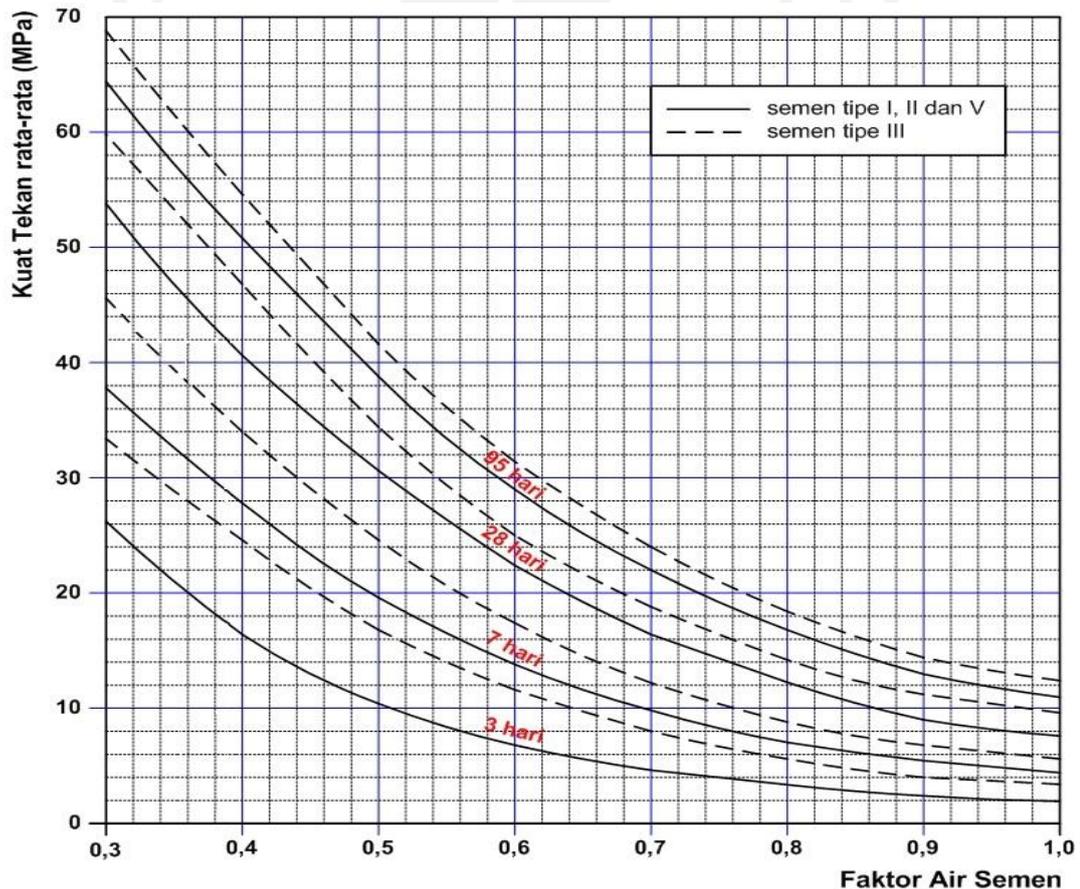
5. Jenis semen yang ditetapkan dan ditentukan tipe dan jenis penggunaannya.
6. Jenis agregat halus yang dipakai ditentukan agregat alami atau buatan. Untuk jenis agregat kasar yang ditentukan ukuran maksimalnya.
7. Penentuan nilai faktor air semen diperoleh dengan memakai grafik 1 “hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen” di Gambar 4.1.
- a. Kekuatan tekan diperkirakan dari Tabel 4.2 diketahui dari jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji yang dipakai pada umur beton rencana didapatkannya kekuatan tekan.

Tabel 4. 2 Perkiraan Kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,5 dan agregat kasar yang dipakai di Indonesia

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- b. Kemudian, dilihat pada Gambar 1 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS) (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).
- c. Garis tegak lurus dibuat secara vertikal dengan nilai fas 0,5 sesuai dengan tabel 4.2. Kemudian tarik garis secara horizontal dengan nilai kuat tekan beton silinder (MPa) ke kanan sampai berpotongan dengan nilai fas.
- d. Setelah berpotongan, lalu dibuat garis parabola baru secara proporsional sesuai dengan acuan parabola antara perpotongan garis.
- e. Ditarik secara horizontal dari f'_{cr} ke kanan sampai menyentuh garis kurva yang baru dibuat. Maka pada perencanaan didapatkan nilai fas bebas.



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

Gambar 4. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen (Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm x tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Nilai faktor air semen (fas) maksimum ditentukan menggunakan Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dan lingkungan khusus

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	0,6
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	327	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel diatas nilai faktor air semen (fas) maksimum diperoleh dan jumlah semen minimum yang digunakan. Lokasi beton ditentukan. Sehingga fas yang dipilih memiliki nilai yang terkecil.

9. Nilai *Slump*

Tinggi nilai *slump* perencanaan ditetapkan.

10. Ukuran Butir Maksimum Agregat

Ukuran butir maksimum agregat yang dipakai.

11. Nilai Kadar Air Bebas

Penentuan kadar air bebas didapatkan dari Tabel 4.4 dengan acuan memakai data jenis batuan, ukuran agregat maksimum, dan *slump* rencana.

Tabel 4. 4 Perkiraan kadar air bebas per-meter kubik beton

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Kemudian dihitung menggunakan persamaan

$$W = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \quad (4.3)$$

dengan:

Wh = Asumsi jumlah air untuk agregat halus (Tabel 4.4)

Wk = Asumsi jumlah air untuk agregat kasar (Tabel 4.4)

12. Kadar Semen

Jumlah kebutuhan semen dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{f_{\text{as}}}$$

13. Kadar semen maksimum

Dalam perencanaan penelitian ini, kadar semen maksimum tidak ditetapkan.

14. Kadar Semen Minimum

Kadar semen minimum telah ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada Tabel 4.3 yaitu kadar semen minimum.

15. Kadar semen yang digunakan

Kadar semen yang dipakai merupakan kadar semen yang paling besar, yaitu kadar semen yang didapatkan dari perhitungan fas dan kadar air bebas.

16. Faktor air semen disesuaikan

Faktor air semen yang disesuaikan dihitung bila terdapat perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi kadar semen maksimum atau minimum. *Mix design* ini tidak perlu adanya faktor air semen disesuaikan, yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan.

17. Susunan besar butir agregat halus

Susunan besar butir agregat halus merupakan daerah gradasi agregat halus

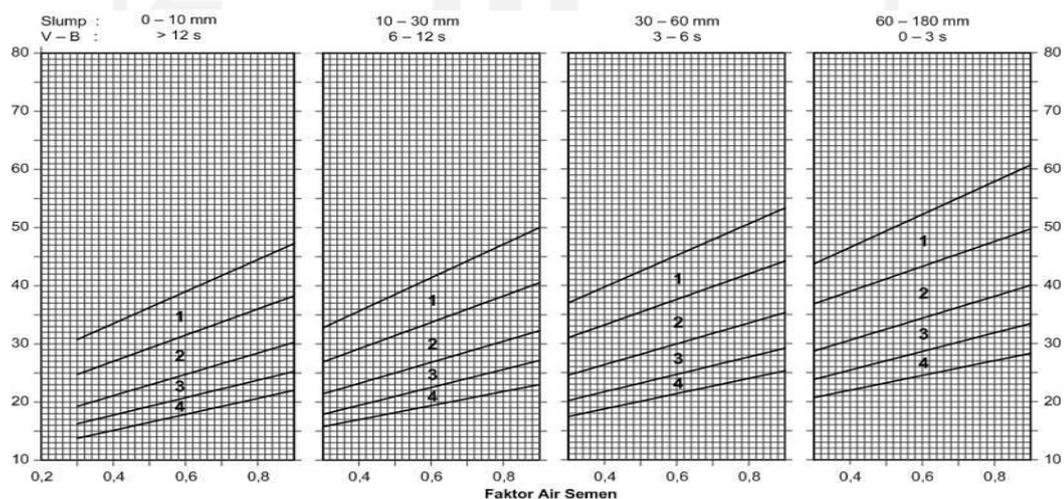
18. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat kasar dan halus diperoleh dari hasil pengujian berat jenis.

19. Persen Agregat Halus

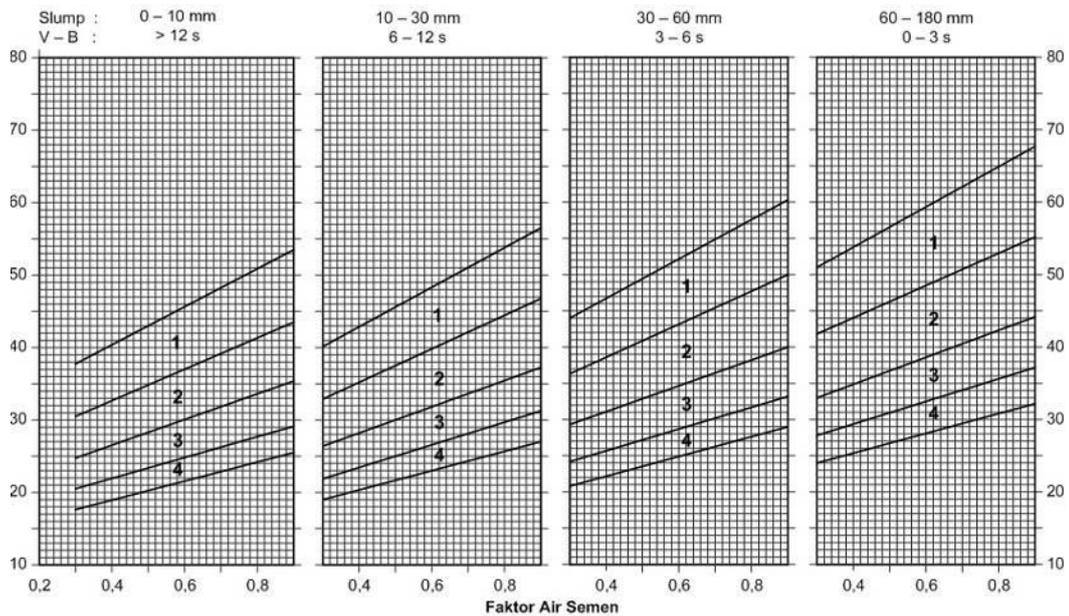
Ditentukan melalui Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4 persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum. Digunakan nilai *fas*, nilai *slump*, dan daerah gradasi agregat halus, maka persen agregat halus dapat ditentukan. Dari grafik dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Persen Agregat Halus} = (\text{Batas bawah} + \text{Batas Atas}) / 2$$



Grafik 15: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

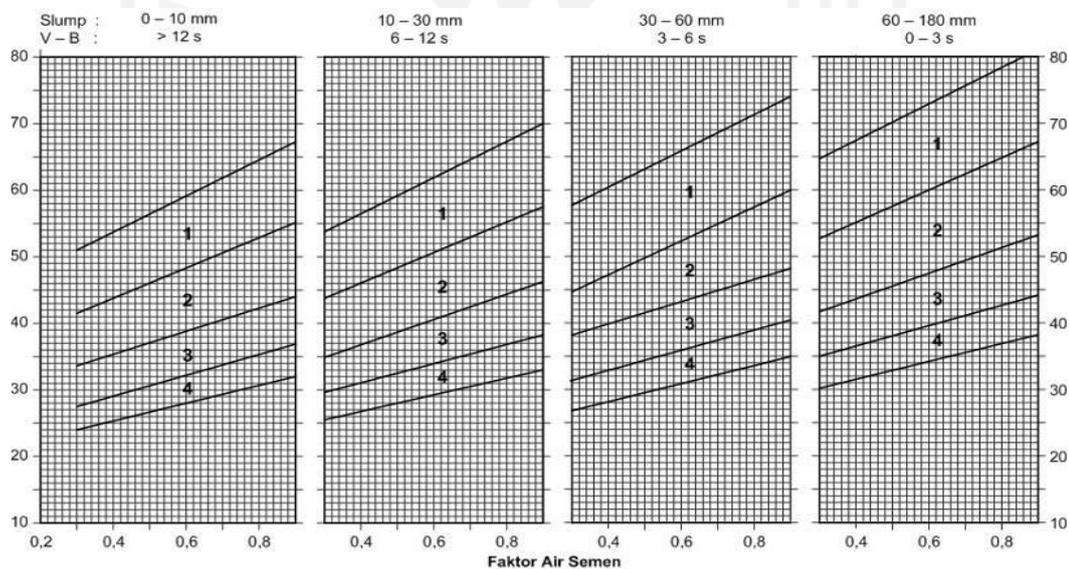
Gambar 4. 2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm



Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 4.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Grafik 13: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm

Gambar 4.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000) Berat jenis agregat (gabungan) SSD

Berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

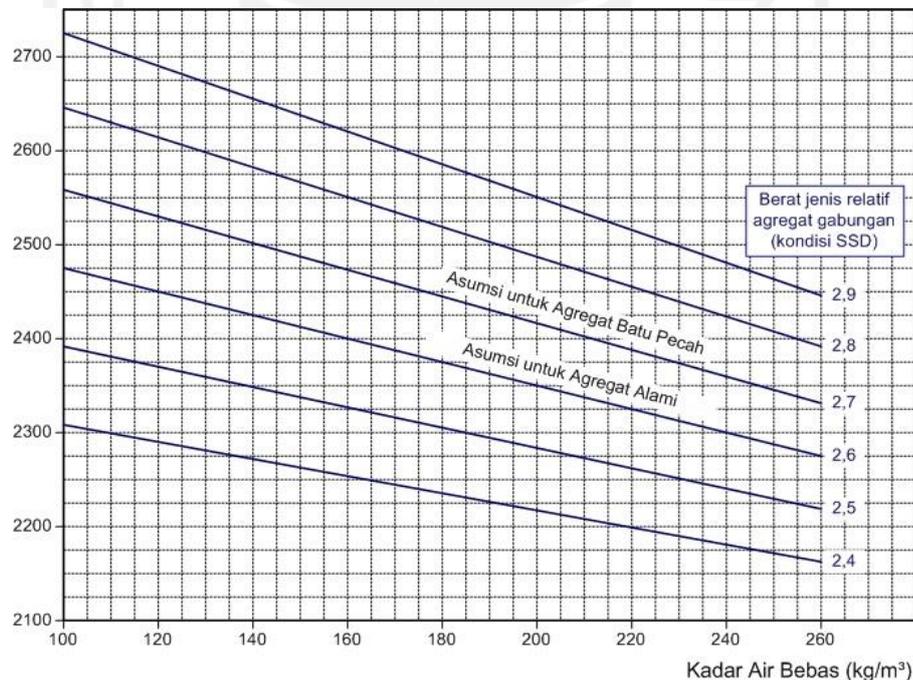
$$BJ. Ag. Gab. = (\% Ag. halus \times BJ Ag. halus) + (\% Ag. kasar \times BJ Ag. kasar)$$

dengan:

BJ = Berat Jenis

20. Berat isi beton

Berat isi beton rencana dapat ditentukan melalui Grafik 16. Pertama dibuat garis kurva berat jenis agregat gabungan secara proporsional kemudian ditarik garis vertikal dari kadar air bebas sampai menyentuh kurva Berat Jenis agregat gabungan yang baru dibuat. Lalu ditarik garis secara horizontal ke kiri dari perpotongan garis kadar air bebas dan Berat Jenis agregat gabungan.



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

Gambar 4. 5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

21. Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dapat dihitung memakai persamaan berikut.

Kadar Ag. Gabungan = Berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas

22. Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus dapat dihitung memakai persamaan berikut.

Kadar agregat halus = Persen agregat halus x Kadar Ag. Gabungan

23. Kadar Agregat Kasar

Kadar agregat kasar dapat dihitung memakai persamaan berikut.

Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan – kadar agregat halus

24. Proporsi campuran beton sebagai berikut.

Sehingga didapatkan proporsi bahan penyusun beton semen *portland*, air, agregat halus, agregat kasar setiap 1 m³.

4.10 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar dan agregat halus dikondisikan dalam kondisi *SSD* (*saturated surface dry*) agar dalam pengerjaan pembuatan adukan beton tidak butuh manambah atau mereduksi penggunaan air.
2. Setiap bahan ditimbang sesuai perhitungan campuran beton (*mix design*) serta ditambahkan 10%-20% setiap bahan untukantisipasi bahan kurang akibat dari menempelnya bahan di mixer dan alat lainnya.
3. Setiap cetakan silinder diolesi pelumas dan ditimbang beratnya.
4. Mesin pengaduk dihidupkan, dalam kondisi mesin berputar agregat halus dan agregat kasar dimasukkan, lalu semen. Bubuk bata ringan dimasukkan diikuti air secara bertahap. Kemudian bahan tambah *SikaCim Concrete Aditive* baiknya disisakan sedikit air diwaktu pengadukan bahan untuk koreksi nantinya.
5. Pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.
6. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang lembab dan segera dilaksanakan pengujian *slump*.

7. Apabila nilai *slump* telah sesuai rencana, beton segar segera dimasukkan kedalam cetakan silinder yang telah disiapkan. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan juga dipukul-pukul bagian dinding cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat dan tanpa rongga udara.
8. Permukaan beton diratakan dengan mistar perata dan diberi tanda setiap cetakannya.
9. Setelah satu jam air dalam permukaan beton (*water bleeding*) dipindahkan kedalam gelas ukur menggunakan pipet.

4.11 Pengujian *Slump*

Pengujian nilai *slump* diuji berdasarkan acuan SNI 1972:2008. Pengujian *slump* bertujuan untuk menentukan kekentalan/keleccakan beton segar agar mendapatkan nilai *slump* yang baik dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu beton rencana. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Kerucut abrams dibasahi terlebih dahulu dan diletakkan diatas permukaan yang datar, kaku, tidak menyerap air, lembab. Cetakan ditahan dengan kokoh oleh operator dan dibagian injakan cetakan selama pengisian beton segar.
2. Kerucut abram diisi dalam tiga lapis, untuk setiap lapisnya sepertiga dari volume cetakan.
3. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang penusuk. penusukan dilakukan secara merata dipermukaan lapisan dan lapisan bawah pada bagian miring kerucut abram penusukan dilakukan secara miring. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan.
4. Pengisian adukan beton segar lapisan bagian atas diisi secara berlebih kemudian ditusuk 25 kali. Adukan beton ditambahkan kalau pemadatan menghasilkan beton segar turun di bawah ujung atas kerucut abram.
5. Permukaan beton segar diratakan dibagian atas kerucut dengan metode batang penusuk digelindingkan di atasnya.
6. kerucut dilepaskan segera dari beton segar dengan mengangkat ke arah vertikal secara hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik

tanpa gerakan lateral atau torsional. Seluruh pekerjaan pengujian *slump* diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 ½ menit.

7. Setelah beton menunjukkan terjadi penurunan pada permukaan, tingginya diukur bandingkan tinggi kerucut dan catat hasil pengukurannya.

4.12 Perawatan Benda Uji

Untuk menghindari penguapan air di beton yang baru saja dicetak dan belum mengeras, beri penutup pada benda uji segera setelah pekerjaan akhir. Kain goni basah dapat digunakan sebagai penutup, akan tetapi goni harus dijaga tetap kondisi basah sampai hingga benda uji dibuka dari cetakan. Dapat diletakkan plastik di atas kain goni untuk menjaga agar kain goni tetap basah. Pelat lebih dipilih yang tidak menyerap dan tidak reaktif atau dapat juga lembaran plastik yang kedap air, kuat, dan awet.

Benda uji dibuka dari cetakan setelah 24 jam \pm 8 jam setelah pencetakan berdasarkan acuan SNI 2493:2011. Kemudian benda uji diberikan kode dan direndam di dalam bak air dengan periode tertentu. Sebelum dilakukan pengujian benda uji di angkat dari bak dan dipastikan permukaan benda uji dalam kondisi lembab pada temperatur ruang.

4.13 Pembuatan Kaping

Pembuatan kaping bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang rata di bagian ujung dari silinder beton yang telah dicetak. Pembuatan kaping dilaksanakan berdasarkan SNI 6369:2008. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Adukan belerang yang akan digunakan disiapkan dalam kondisi kering dan dituang di cawan peleleh lalu panaskan dengan suhu 129°C-143°C diamati secara periodik menggunakan termometer logam.
2. Pelat kaping sebelum digunakan dihangatkan terlebih dahulu selanjutnya diolesi dengan oli sampai merata dan segera aduk belerang yang sudah meleleh sebelum dituangkan di setiap alat kaping.
3. Dipastikan ujung benda uji cukup kering ketika pengkapingan dan tuangkan adukan pada permukaan pelat kaping.

4. Silinder beton diangkat ke atas pelat, lalu tempelkan sisi silinder beton dengan alat penegak, silinder digeser ke bawah sampai menyentuh pelat kaping, dan jaga agar tetap menyentuh alat tersebut sampai adukan mengeras.
5. Setelah adukan belerang mengeras digunakan bahan yang sesuai untuk menutupi bagian ujung silinder.

4.14 Pengujian Sifat Mekanik Beton

4.14.1 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk menentukan kuat tekan dengan benda uji beton berbentuk silinder sesuai dengan umur rencana 28 hari dan membandingkan kuat tekan rencana dengan kuat tekan hasil dari pengujian. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan berdasarkan SNI 1974:2011. Pengujian modulus elastisitas dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan benda uji yang sama. Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan berdasarkan SNI 03-4169-1996. Pengujian ini menggunakan beton silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Prosedur pengujian sebagai berikut.

1. Setiap benda uji ditimbang berat.
2. Diameter dan tinggi diukur setiap benda uji silinder.
3. Alat kompresometer-ekstensometer dipasang pada benda uji yang akan digunakan pengujian.
4. Landasan pengujian dibersihkan terlebih dahulu dan benda uji diletakkan di mesin pengujian kuat tekan. Jarum kompresometer-ekstensometer diatur pada posisi nol (0) arah longitudinal.
5. Mesin uji dioperasikan dan waktu pembebanan mulai dihitung dengan *stopwatch*, kecepatan pembebanannya diatur antara 207-275 kP/detik. Beban tekan dicatat ketika regangan tercapai 50×10^{-6} dan regangan yang dicapai ketika pembebanan mencapai 40% kuat tekan maksimum. Lanjutkan pembebanan hingga benda uji hancur kemudian catat beban maksimum yang diterima benda uji silinder selama pembebanan.
6. Tipe kehancuran serta kondisi visual benda uji dicatat dan disketsa.

4.14.2 Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya gaya yang dapat ditahan dengan arah tegak lurus pada sumbu benda uji balok sampai patah. Pengujian kuat lentur beton dilaksanakan berdasarkan SNI 4431:2011 dengan pembebanan dua titik. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Benda uji diukur dimensinya minimal di tiga tempat dan ditimbang beratnya.
2. Dibuat garis-garis melintang untuk tanda serta titik perletakan pembebanan sejauh 5% dari jarak bentang di luar titik perletakkannya.
3. Mesin tekan beton disiapkan, kemudian dipasang 2 buah perletakan dengan lebar bentangnya tiga kali jarak titik pembebanan serta pasang alat pembebanannya.
4. Atur skala pembacaan dan pembebanannya.
5. Benda uji ditempatkan di atas perletakan yang telah diberi tanda.
6. Mesin uji tekan beton dihidupkan dan dilaksanakan pembebanan dengan kecepatan pembebanan harus kontinu.
7. Pembebanan dihentikan ketika benda uji patah dan dicatat beban maksimumnya.
8. Diukur dan dicatat tinggi dan lebar tampang lintang patah sekurangnya tiga titik sertajarak antara tampang lintang yang patahdari tumpuan terdekat di empat tempat.

4.15 Pengujian Sifat Fisik Beton

4.15.1 Pengujian Penyerapan Air Pada Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai penyerapan air yang terjadi pada beton. Pengujian penyerapan air dilaksanakan berdasarkan acuan SNI 03-6433-2000. Benda uji beton berbentuk kubus dengan dimensi 150x150x150 mm sesuai dengan syarat minimal volume benda uji 350 cm³. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Benda uji dikeringkan di oven pada suhu 100°C sampai 110°C lebih dari 24 jam. Selanjutnya benda uji dikeluarkan dari oven dan didiamkan hingga dingin

dalam udara kering (lebih diutamakan di dalam desikator) dengan suhu 20-25°C kemudian timbang beratnya.

2. Benda uji direndam di wadah selama 24 jam.
3. Air yang terdapat di permukaan benda uji dihilangkan menggunakan lap atau tisu dan timbang massanya.

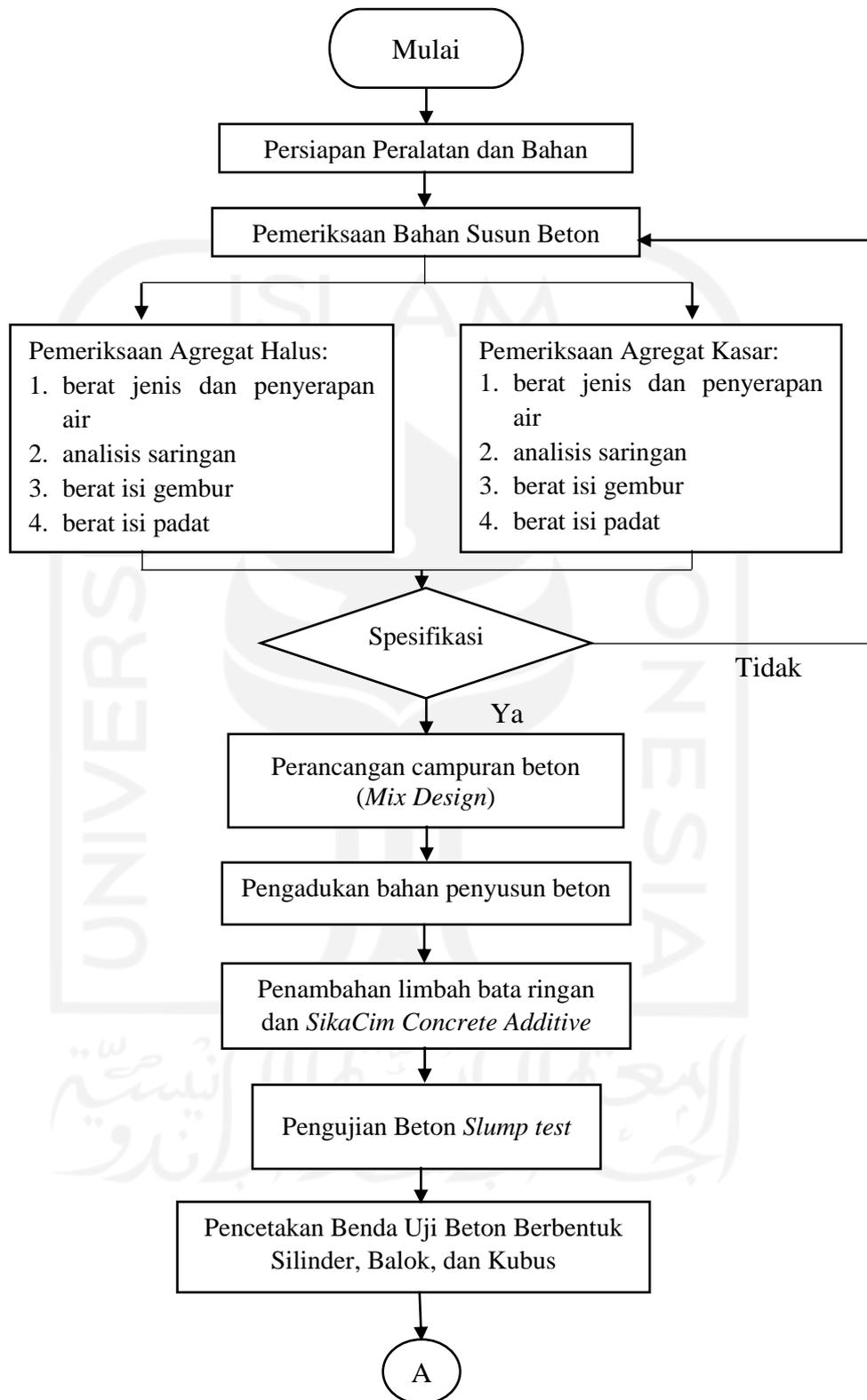
4.15.2 Pengujian Porositas Beton

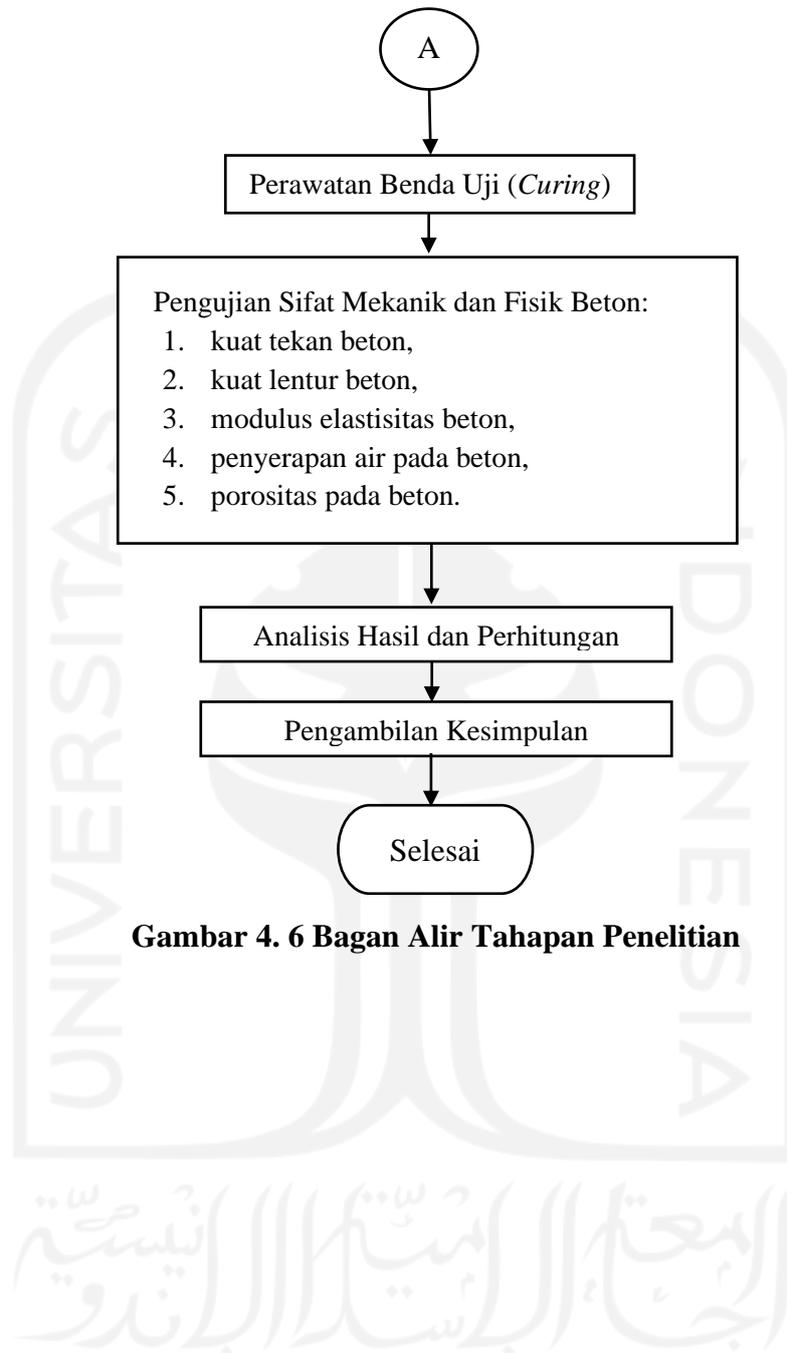
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentasi pori-pori yang terdapat dalam beton yang telah mengeras. Pengujian porositas beton dilaksanakan berdasarkan acuan SNI 03-6433-2000. Benda uji beton berbentuk kubus dengan dimensi 150x150x150 mm sesuai dengan syarat minimal volume benda uji 350 cm³. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Benda uji dikeringkan di oven pada suhu 100°C sampai 110°C lebih dari 24 jam. Setelah itu benda uji dikeluarkan dari oven dan didiamkan hingga dingin dalam udara kering (lebih diutamakan di dalam desikator) dengan suhu 20-25°C kemudian timbang beratnya.
2. Perendaman benda uji dilakukan tidak kurang selama 24 jam dan ditimbang beratnya dalam air.
3. Air yang terdapat di permukaan benda uji dihilangkan menggunakan lap atau tisu dan timbang beratnya.

4.16 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Bagan alir Penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian. Bagan alir dapat membantu dalam melakukan evaluasi terhadap prosedur penelitian. Bagan alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4. 6 Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Suatu penelitian pasti akan memperoleh hasil untuk setiap pengujian yang telah dilaksanakan, selanjutnya dilaksanakan analisis dari hasil yang didapatkan dan dilakukan pembahasan untuk data yang didapatkan. Dimana untuk analisis serta pembahasan dari hasil penelitian dijelaskan dan dijabarkan di bawah ini meliputi pengendalian mutu bahan penyusun beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas beton, penyerapan air pada beton, dan porositas beton.

5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar dilaksanakan melalui pengujian laboratorium untuk mendapatkan sifat-sifat agregat yang akan dipakai sebagai bahan penyusun beton. Bahan penyusun beton yang memiliki persentase paling tinggi dibandingkan bahan lain yaitu agregat kasar. Sehingga agregat kasar memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan beton. Dilaksanakan pengujian terhadap agregat kasar mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat isi gembur, dan berat isi padat. Perolehan hasil untuk setiap pengujian agregat kasar bisa dibaca sub sub bab sebagai berikut.

5.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Berat jenis dan penyerapan air dilaksanakan pengujian pada agregat kasar guna memperoleh berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air. Nilai berat jenis agregat kasar dipakai untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan agregat gabungan pada *mix design*. Data-data hasil pengujian di laboratorium berat jenis dan penyerapan air agregat kasar bisa dibaca pada Tabel 5.1 serta data kelengkapannya dapat dibaca pada Lampiran 1.1.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel	Sampel	Rerata
	1	2	
Berat agregat kasar kering mutlak, gram (B_k)	4935	4937	4936
Berat agregat kasar kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram (B_j)	5000	5000	5000
Berat agregat kasar dalam air, gram (B_a)	3005	3003	3004
Berat jenis curah, (B_k/B_j-B_a)	2,473	2,472	2,4725
Berat jenis jenuh kering permukaan, (B_j/B_j-B_a)	2,506	2,503	2,5045
Berat jenis semu, (B_k/B_k-B_a)	2,557	2,552	2,5545
Penyerapan air, (B_j-B_k)/ B_k x 100%, %	1,317	1,276	1,2965

Pemeriksaan agregat kasar melalui pengujian berat jenis dan penyerapan air mendapatkan hasil nilai berat jenis jenuh kering permukaan adalah sebesar 2,5045. Nilai tersebut berada diantara 2,5–2,7 yang berarti hasil pengujian memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F. sedangkan nilai penyerapan air dari agregat kasar diperoleh nilai sebesar 1,2965%. Sehingga agregat kasar dapat digunakan untuk bahan campuran beton.

5.1.2 Analisis Saringan Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar dimaksudkan untuk mengklasifikasikan agregat kasar yang didasarkan kehalusan butirannya. Pengujian analisis saringan agregat halus ini digunakan saringan ukuran 40 mm; 20 mm; 10 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,20 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Untuk hasil pengujian laboratorium modulus halus butir agregat kasar gradasi agregat menggunakan acuan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 5.2 serta data kelengkapannya dapat dibaca pada Lampiran 1.2 dan Lampiran 1.3.

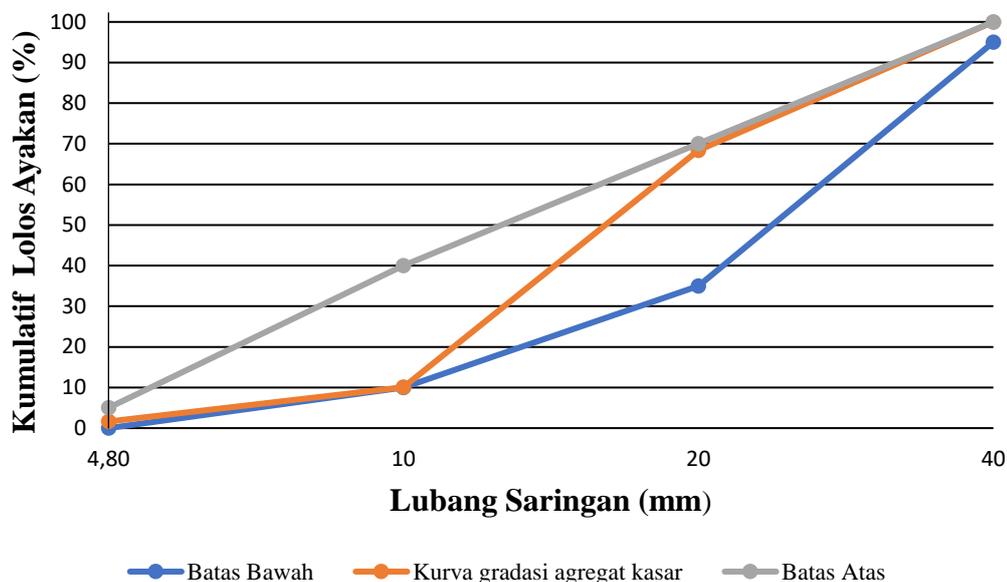
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal		Berat Tertinggal		Berat Tertinggal Kumulatif		Persen Lolos Kumulatif		Rata-rata	Spesifikasi Ukuran Maksimal 40 mm
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel			
	1	2	1	2	1	2	1	2		
(mm)	(gram)		(%)		(%)		(%)		(%)	
40	0	0	0	0	0	0	100	100	100	95-100
20	1562	1603	31,24	32,06	31,24	32,06	68,76	67,94	68,35	35 – 70
10	2921	2893	58,42	57,86	89,66	89,92	10,34	10,08	10,21	10 – 40
4,8	442	416	8,84	8,32	98,50	98,24	1,5	1,76	1,63	0 – 5
2,4	58	61	1,16	1,22	99,66	99,46	0,34	0,54	0,44	-
1,2	2	6	0,04	0,12	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36	-
0,6	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36	-
0,3	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36	-
0,15	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36	-
Pan	15	21	0,3	0,42	-	-	0	0	0	-
Jumlah	5000	5000	100	100	717,86	718	-	-	-	-
Rerata	5000		100		717,93		-	-	-	-

Berdasarkan data yang diperoleh dan tertera dalam Tabel 5.2, nilai modulus halus butir agregat kasar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{717,93}{100} = 7,179$$

Hasil perhitungan diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 7,179. Nilai tersebut telah memenuhi syarat sesuai SNI 03-1968-1990 yang menetapkan nilai modulus agregat kasar antara 5-8. Hasil analisa saringan agregat kasar menunjukkan masuk dalam jenis ukuran agregat kasar maksimum 40 mm. Grafik hasil pengujian analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Daerah Gradasi Agregat Kasar

5.1.3 Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Pengujian berat isi gembur dilaksanakan untuk memperoleh berat isi gembur agregat kasar yang diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kasar kering dengan volume. Hasil pengujian laboratorium berat isi gembur agregat kasar bisa dibaca di Tabel 5.3 dan data kelengkapannya dapat dibaca di lampiran 1.4.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W_1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W_2), gram	19300	19200
Berat agregat (W_3), gram	6700	6650
Volume Silinder (V), cm^3	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = W_3/V , $gram/cm^3$	1,247	1,239
Berat isi gembur rata-rata, $gram/cm^3$	1,243	

Berdasarkan hasil pengujian berat isi gembur agregat kasar memperoleh hasil rerata dari dua sampel sebesar $1,243 \text{ gram/cm}^3$.

5.1.4 Berat Isi Padat Agregat Kasar

Pengujian berat isi padat dilaksanakan untuk memperoleh berat isi padat agregat kasar yang diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kasar kering dengan volume. Hasil pengujian berat isi padat agregat kasar dapat dibaca pada Tabel 5.3 dan data kelengkapannya dapat dibaca pada lampiran 1.5.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W_1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W_2), gram	20200	20300
Berat agregat (W_3), gram	7600	7750
Volume Silinder (V), cm^3	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = W_3/V , $gram/cm^3$	1,414	1,444
Berat isi gembur rata – rata, $gram/cm^3$	1,429	

Berdasarkan hasil pengujian berat isi padat agregat kasar diperoleh nilai rata-rata dari dua sampel sebesar $1,429 \text{ gram/cm}^3$. Selisih antara hasil berat isi gembur rata-rata dengan padat rata-rata agregat kasar tidak terlalu jauh, yaitu sebesar $0,186 \text{ gram/cm}^3$. Sehingga agregat kasar ini dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Pengujian berat isi agregat memiliki tujuan untuk mempermudah perhitungan campuran bahan susun beton dengan ditimbang beratnya dibandingkan ukuran volume.

5.2 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus dilaksanakan melalui pengujian laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat agregat halus yang akan dipakai sebagai bahan penyusun beton. Agregat halus sebagai bahan penyusun beton yang memberikan pengaruh sifat dapat dikerjakan dengan mudah dan bahan pengisi antar agregat kasar dengan pasta semen. Pengujian yang akan dilaksanakan terhadap agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat isi

gembur, berat isi padat, dan kadar lumpur agregat halus. Hasil yang diperoleh dari setiap pengujian agregat kasar bisa dibaca pada sub sub bab sebagai berikut.

5.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dilaksanakan guna memperoleh berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (*SSD*), berat jenis semu, dan penyerapan air. Data-data hasil pengujian di laboratorium berat jenis dan penyerapan air bisa dibaca di Tabel 5.5 serta data kelengkapannya dapat dibaca di Lampiran 1.6.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Berat agregat kasar kering mutlak, gram (<i>Bk</i>)	490	490	490
Berat agregat halus kondisi jenuh kering permukaan (<i>SSD</i>), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (<i>Bt</i>)	958	960	959
Berat piknometer berisi air, gram (<i>B</i>)	646	646	646
Berat jenis curah, ($Bk/B+500-Bt$)	2,606	2,634	2,62
Berat jenis jenuh kering permukaan, ($500/B+500-Bt$)	2,659	2,688	2,6735
Berat jenis semu, ($Bk/B+Bk-Bt$)	2,752	2,784	2,768
Penyerapan air, $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2,040	2,040	2,040

Pemeriksaan agregat halus melalui pengujian berat jenis dan penyerapan air mendapatkan hasil nilai berat jenis jenuh kering permukaan rata-rata adalah sebesar 2,673. Nilai tersebut berada diantara 2,5–2,7 yang berarti hasil pengujian memenuhi persyaratan SK SNI T-15-1990:1. sedangkan nilai penyerapan air dari agregat halus diperoleh nilai sebesar 2,040%. Sehingga agregat halus dapat digunakan untuk bahan campuran beton.

5.2.2 Analisis Saringan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus dimaksudkan untuk mengklasifikasikan agregat halus yang didasarkan kehalusan butirannya. Pengujian analisis saringan agregat halus ini digunakan saringan ukuran 9,60 mm;

4,8 mm; 2,4 mm; 1,20 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Untuk hasil pengujian laboratorium modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6 serta data kelengkapannya dapat dibaca pada Lampiran 1.7 dan Lampiran 1.8.

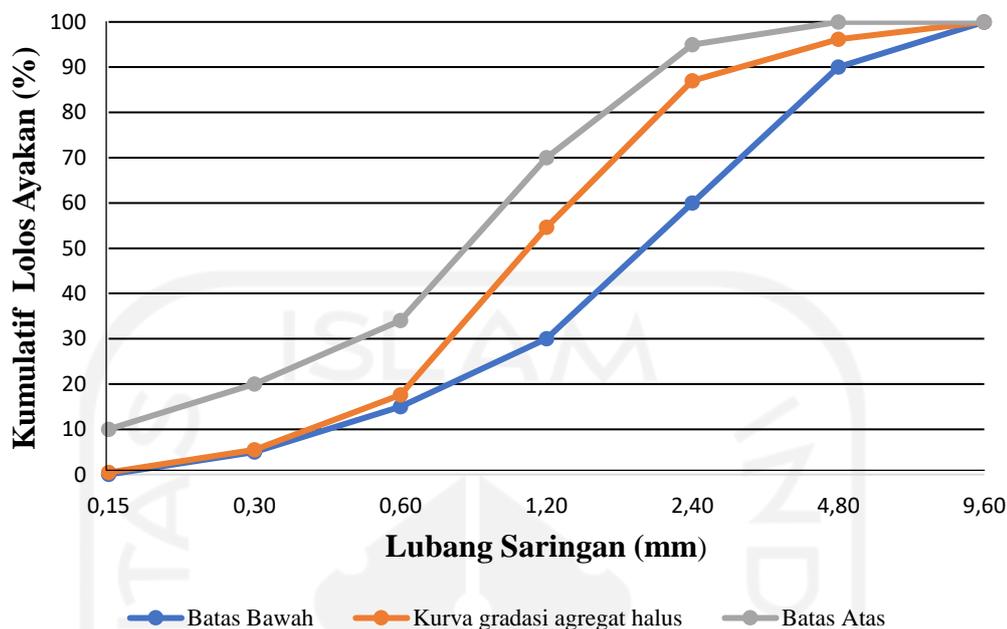
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal		Berat Tertinggal		Berat Tertinggal Kumulatif		Persen Lolos Kumulatif		Rerata	Spesifikasi
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel			
	1	2	1	2	1	2	1	2		
(mm)	(gram)		(%)		(%)		(%)		(%)	SNI 03-2834-2000
9,60	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
4,8	72	80	3,60	4,00	3,60	4,00	96,40	96,00	96,20	90 – 100
2,4	182	186	9,10	9,30	12,70	13,30	87,30	86,70	87,00	60 – 95
1,2	645	650	32,25	32,50	44,95	45,80	55,05	54,20	54,625	30 - 70
0,6	743	732	37,15	36,60	82,10	82,40	17,90	17,60	17,6	15 – 34
0,3	254	243	12,70	12,15	94,80	94,55	5,20	5,45	5,45	5 – 20
0,15	96	97	4,80	4,85	99,60	99,40	0,40	0,60	0,45	0 – 10
Pan	8	12	0,40	0,60	0	0	0	0	0	-
Jumlah	2000	2000	100	100	337,75	339,45	-	-	-	Daerah 1
Rerata	2000		100		338,6					

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus daerah gradasi pasir termasuk daerah gradasi pasir I yaitu jenis pasir kasar. Dari data yang diperoleh dan tertera dalam Tabel 5.6, nilai modulus halus butir agregat kasar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{338,6}{100} = 3,386$$

Hasil perhitungan diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 3,386. Nilai tersebut telah memenuhi syarat sesuai SNI 03-1968-1990 yang menetapkan nilai modulus agregat halus antara 1,5-3,8. Grafik hasil pengujian analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Daerah Gradasi Agregat Halus

5.2.3 Berat Isi Gembur Agregat Halus

Pengujian berat isi gembur dilaksanakan untuk memperoleh berat isi gembur agregat halus yang diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat halus kering dengan volume. Hasil pengujian laboratorium berat isi gembur agregat halus dapat dibaca pada Tabel 5.7 dan data kelengkapannya dapat dibaca pada lampiran 1.9.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W_1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W_2), gram	19750	19600
Berat agregat (W_3), gram	7150	7050
Volume Silinder (V), cm^3	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = W_3/V , $gram/cm^3$	1,331	1,314
Berat isi gembur rata – rata, $gram/cm^3$	1,322	

Berdasarkan hasil pengujian berat isi gembur agregat halus diperoleh nilai rata-rata dari dua sampel sebesar 1,322 gram/cm³.

5.2.4 Berat Isi Padat Agregat Halus

Pengujian berat isi padat dilaksanakan untuk memperoleh berat isi padat agregat halus yang diartikan perbandingan antara berat agregat halus kering dengan volume. Hasil pengujian laboratorium berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan kelengkapan data dapat dibaca pada lampiran 1.10.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (<i>W</i> 1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (<i>SSD</i>) (<i>W</i> 2), gram	21100	20900
Berat agregat (<i>W</i> 3), gram	8500	8350
Volume Silinder (<i>V</i>), cm ³	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = $W3/V$, gram/cm ³	1,582	1,556
Berat isi gembur rata-rata, gram/cm ³	1,569	

Berdasarkan hasil pengujian berat isi padat agregat halus diperoleh nilai rata-rata dari dua sampel sebesar 1,569 gram/cm³. Selisih antara hasil berat isi gembur rata-rata dengan padat rata-rata agregat halus tidak terlalu jauh, yaitu sebesar 0,2465 gram/cm³. Sehingga agregat halus ini dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Pengujian berat isi agregat memiliki tujuan untuk mempermudah perhitungan campuran bahan susun beton dengan ditimbang beratnya dibandingkan ukuran volume.

5.2.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

Nilai kandungan lumpur diperoleh dari pelaksanaan pengujian butir lolos ayakan nomor 200 bisa juga disebut pengujian kadar lumpur. Data hasil pengujian kadar lumpur di laboratorium pada agregat halus pasir progo dapat dibaca pada Tabel 5.9 dan kelengkapannya dapat dibaca pada Lampiran 1.11.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat halus kering mutlak (W_1), gram	500	500
Berat Agregat halus setelah dicuci dan dioven (W_2), gram	497	496
Berat lumpur (W_3) = ($W_1 - W_2$), gram	3	4
Kadar lumpur = $W_3 \times 100\%$, %	0,60%	0,80%
Kadar lumpur rata-rata, %	0,70%	

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian kadar lumpur agregat halus rata-rata yaitu sebesar 0,70%. Sehingga agregat halus (pasir) dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, karena telah memenuhi syarat kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% berdasarkan SNI 03-4428-1997.

5.3 Hasil Pemeriksaan Semen

Semen yang dipakai pada penelitian ini yaitu semen PPC (*Pordland Pozollan Cement*) dengan merek Dynamix. Berdasarkan pemeriksaan semen secara visual saat pembelian di toko bangunan penyimpanan semen sudah baik, tidak diletakkan sembarangan atau dibiarkan langsung diatas lantai atau tanah tetapi diberikan alas kayu dibawahnya serta terlindung dari sinar matahari. Kemasan semen tidak terdapat kerusakan segel dan masih tertutup rapat. Semen tidak mengalami penggumpalan atau mengeras. Sehingga semen dapat dipakai untuk bahan susun beton.

5.4 Hasil Pemeriksaan Air

Pemeriksaan air dilaksanakan secara visual saja. Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Secara visual air yang digunakan bersih, tidak berwarna (bening), tidak terkontaminasi bahan lain, dan tidak berbau.

5.5 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton Sedang

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari pemeriksaan agregat halus maupun kasar, sehingga dapat direncanakan proporsi campuran beton sesuai dengan kebutuhan volume pekerjaan pengujian beton. penelitian ini membutuhkan 18 beton silinder, 18 beton balok, dan 18 beton kubus yang memiliki volume total sebesar $0,228 \text{ m}^3$. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Volume Kebutuhan Total Campuran Beton Sedang

Benda Uji	Panjang	Lebar	Tinggi	Diameter	Jumlah	Volume
	(m)	(m)	(m)	(m)	(Buah)	(m^3)
Beton Silinder	-	-	0,3	0,15	18	0,095
Beton Balok	0,4	0,1	0,1	-	18	0,072
Beton Kubus	0,15	0,15	0,15	-	18	0,061
Total						0,228

Perhitungan volume kebutuhan pekerjaan setiap variasi beton sedang membutuhkan volume sebesar $0,0380 \text{ m}^3$, terdiri dari 3 beton silinder, 3 beton balok, dan 3 beton kubus. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Volume Beton Sedang Setiap Campuran Uji

Benda Uji	Panjang	Lebar	Tinggi	Diameter	Jumlah	Volume
	(m)	(m)	(m)	(m)	(Buah)	(m^3)
Beton Silinder	-	-	0,3	0,15	3	0,0159
Beton Balok	0,4	0,1	0,1	-	3	0,012
Beton Kubus	0,15	0,15	0,15	-	3	0,010125
Total						0,038025

Perencanaan proporsi campuran material penyusun beton normal (*Mix Design*) dihitung mengacu berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil perhitungan *mix design* beton normal yang didasarkan pada hasil pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar. disajikan pada Tabel 5.12 dibawah ini sebagai berikut.

**Tabel 5. 12 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Material Penyusun Beton
(Mix Design)**

No.	Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai		
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	25 MPa		
2	Deviasi Standar	Diketahui	7 MPa		
3	Nilai tambah (margin)		12 MPa		
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1 + 3	37 MPa		
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen <i>Portland</i> Tipe I		
6	Jenis agregat: - Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah		
	- Halus	Ditetapkan	Alami		
7	Faktor air semen bebas		Tabel 2, Grafik 1, dan 2		
8	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,6		
9	<i>Slump</i>	Ditetapkan	60-180 mm		
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm		
11	Kadar air bebas	Tabel 3	185 kg/m ³		
12	Kadar semen	11 : 8	370 kg		
13	Kadar semen maksimum	Tidak ditetapkan	-		
14	Kadar semen minimum	Ditetapkan	325 kg		
15	Kadar Semen yang digunakan		370 kg		
16	Faktor air semen yang disesuaikan		0,5		
17	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	Gradasi 1		
18	Berat jenis agregat halus		2.673		
	Berat jenis agregat kasar		2.505		
19	Persentase agregat halus	Grafik 13 s/d 15	45,75%		
20	Berat jenis relatif agregat (gabungan) SSD		2,581		
21	Berat isi beton	Graik 16	2365 kg/m ³		
22	Kadar agregat gabungan	20 – 12 - 11	1810 kg/m ³		
23	Kadar agregat halus	18 x 21	828,075 kg/m ³		
24	Kadar agregat kasar	21 – 22	981,925 kg/m ³		
	Proporsi campuran				
		Semen	Air	Agregat Kondisi Jenuh Kering Permukaan (kg)	
		(kg)	(kg/lt)	Halus	Kasar
25	- Tiap m ³	370	185	828,075	981,925
	- Tiap campuran uji 0,038 m ³	14,069	7,034	31,487	37,337
26	Koreksi campuran dengan angka penyusutan 15%				
	Tiap 1 m ³	425,5	212,75	952,286	1129,214
	Tiap 0,038025 m ³	16,179	8,089	36,211	42,938

Perencanaan pengadukan beton setiap variasi beton dilaksanakan 6 kali pengadukan, terdiri dari 1 kali pengadukan beton kontrol dan 5 kali pengadukan beton variasi. Sehingga sesuai perhitungan *mix design* didapatkan proporsi setiap adukan variasi uji beserta dengan angka penyusutan sebesar 15% didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 5.13 sebagai berikut ini.

Tabel 5. 13 Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Setiap Variasi Uji dengan Angka Penyusutan 15%

Kode Benda Uji	Volume Benda Uji	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Serbuk Bata Ringan	<i>SikaCim Concrete Additive</i>	FAS
	(m ³)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	
BK	0,0380	16,179	8,089	36,211	42,938	-	-	0,5
A1	0,0380	15,775	6,876	36,211	42,938	0,404	0,113	0,425
A2	0,0380	15,370	6,876	36,211	42,938	0,809	0,113	0,425
A3	0,0380	14,966	6,876	36,211	42,938	1,213	0,113	0,425
A4	0,0380	14,561	6,876	36,211	42,938	1,618	0,113	0,425
A5	0,0380	14,157	6,876	36,211	42,938	2,022	0,113	0,425

Keterangan:

BK = Beton normal tanpa modifikasi campuran beton,

A1 = Beton substitusi sebagian semen dengan serbuk bata ringan 2,5%, *Sikacim Concrete Additive* 0,7% berat semen, dan Pengurangan Kadar air 15%,

A2 = Beton substitusi sebagian semen dengan serbuk bata ringan 5%, *Sikacim Concrete Additive* 0,7% berat semen, dan Pengurangan Kadar air 15%,

A3 = Beton substitusi sebagian semen dengan serbuk bata ringan 7,5%, *Sikacim Concrete Additive* 0,7% berat semen, dan Pengurangan Kadar air 15%,

A4 = Beton substitusi sebagian semen dengan serbuk bata ringan 10%, *Sikacim Concrete Additive* 0,7% berat semen, dan Pengurangan Kadar air 15%,

A5 = Beton substitusi sebagian semen dengan serbuk bata ringan 12,5%, *Sikacim Concrete Additive* 0,7% berat semen, dan Pengurangan Kadar air 15%.

5.6 Hasil Pengujian *Slump*

Pada penelitian ini nilai *slump* untuk beton normal yang telah direncanakan sebesar 60-180 mm. mutu beton rencana dikategorikan sebagai beton dengan mutu sedang. Pada penelitian yang telah dilaksanakan memperoleh nilai *slump* beton kontrol sebesar 80 mm jenis *slump* sebenarnya., sehingga nilai *slump* telah memenuhi persyaratan dari *slump* rencana.

Untuk penelitian yang dilaksanakan ini ditambahkan bahan tambah *SikaCim Concrete Additive* yang memiliki fungsi sebagai memperbaiki *workability* campuran beton mutu sedang, untuk mereduksi penggunaan air, dan menambah kekuatan beton setelah ditambahkan variasi beton dengan substitusi parsial semen dengan bata ringan. Berikut ini hasil pengujian *slump* ditampilkan pada Tabel 5.14.

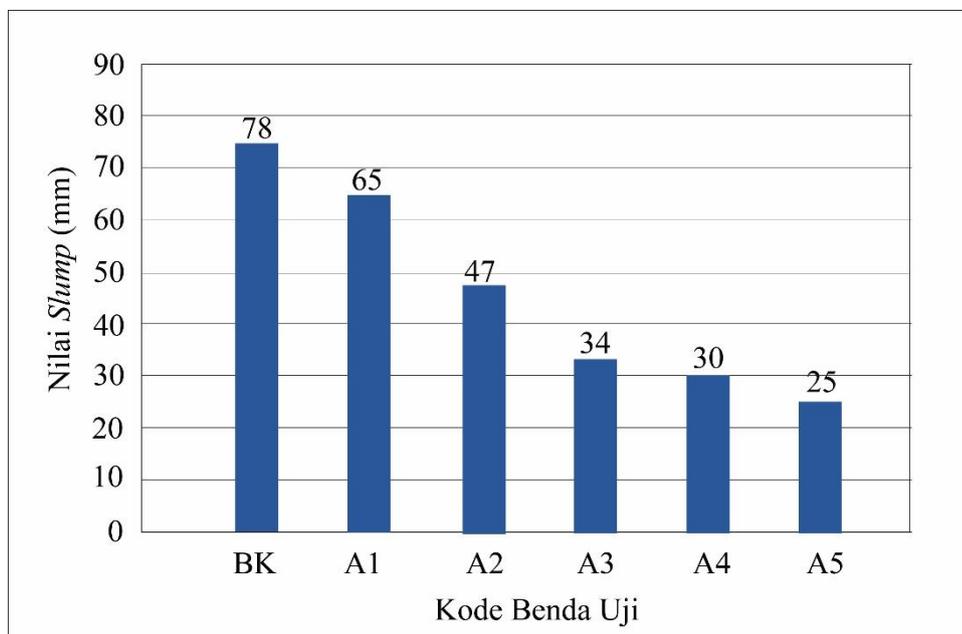
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian *Slump* Setiap Proporsi Campuran Beton

Kode Benda Uji	Faktor Air Semen	<i>Slump</i>
	(fas)	(mm)
BK	0,5	78
A1	0,425	65
A2	0,425	47
A3	0,425	34
A4	0,425	30
A5	0,425	25

Tabel 5.13 memperlihatkan hasil data dari pengujian *slump* pada setiap variasi beton sedang menjadikan nilai *slump* terjadi penurunan seiring dengan substitusi parsial semen dengan bata ringan dan penambahan bahan tambah *SikaCim Concrete Additive* untuk mengurangi penggunaan air 15%. Hal tersebut membuat *workability* adukan beton segar menjadi lebih rendah dari beton Normal.

Hasil dari pengamatan penelitian ini menunjukkan dengan seiring peningkatan proporsi substitusi parsial semen dengan bata ringan membuat penyerapan air oleh bubuk bata ringan semakin besar dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* tidak berperan dalam tingkat kemudahan pengerjaan

(*workability*) beton segar menjadi lebih tinggi. Untuk lebih jelasnya nilai *slump* dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 Grafik Nilai *Slump* Hasil Campuran Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang

5.7 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Beton

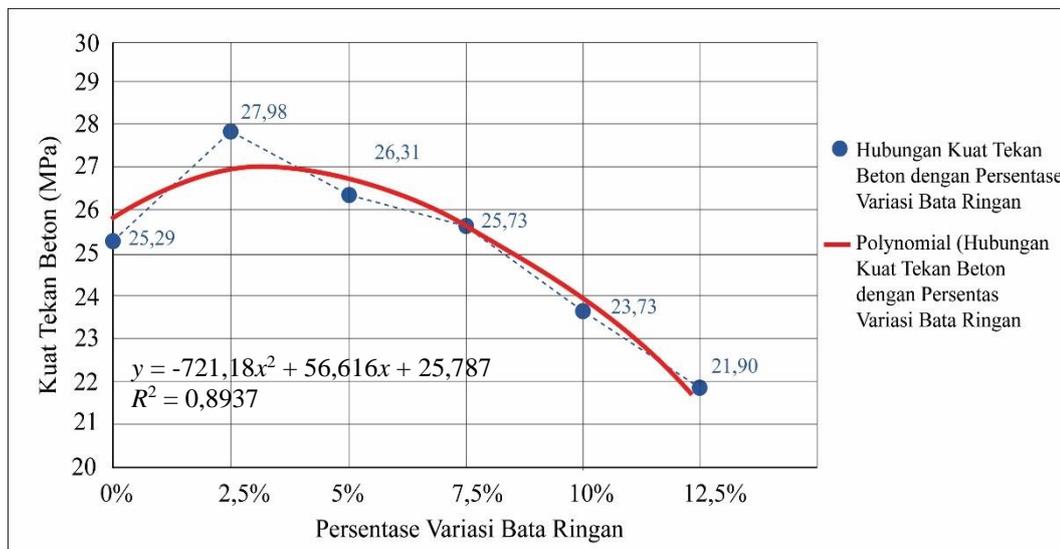
5.7.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Sedang

Pengujian kuat tekan beton mutu sedang dilaksanakan saat benda uji berumur 28 hari dengan bentuk benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah benda uji pada pengujian kuat tekan ini berjumlah 18 buah masing-masing 3 sampel benda uji pada setiap variasi beton mutu sedang. Sebelum dilaksanakan pengujian kuat tekan, pada bagian atas dan bawah benda uji dilakukan pengkapingan dengan menggunakan belereng untuk mendapatkan bidang permukaan yang rata sehingga beban yang diberikan dapat terdistribusi ke benda uji secara merata untuk menghasilkan data yang akurat. Perhitungan hasil data yang diperoleh dari pengujian kuat tekan digunakan persamaan 3.1 dan persamaan 3.2.

Berikut ini hasil pengukuran benda uji serta hasil perhitungan kuat tekan beton mutu sedang normal dan beton sedang variasi substitusi parsial semen dengan bata ringan 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5% serta penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton mutu sedang sebesar 0,7% dari berat semen dan reduksi kadar air sebesar 15% hanya pada beton modifikasi disajikan pada Tabel 5.15 dan grafik hasil kuat tekan beton mutu sedang pada Gambar 5.4.

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Berat Beton (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Kuat Tekan (<i>f'_c</i>) (MPa)	Kuat Tekan Rerata (<i>f'_c</i>) (MPa)
		Diameter (mm)	Tinggi (mm)				
Kode	No.	(mm)	(mm)	(kg)	(kg/m ³)	(MPa)	(MPa)
BK	1	150,90	300,80	12,64	2349,27	25,44	25,29
	2	150,10	300,70	12,65	2377,42	26,00	
	3	150,50	300,10	12,63	2365,97	24,45	
A1	1	150,70	300,90	12,56	2340,75	28,31	27,98
	2	150,10	310,20	12,52	2280,38	27,69	
	3	150,20	310,30	12,70	2308,99	27,94	
A2	1	156,00	296,00	12,48	2205,18	24,85	26,05
	2	150,20	294,20	12,52	2402,54	27,09	
	3	155,00	303,00	12,41	2170,06	26,23	
A3	1	150,40	299,60	12,68	2382,46	27,30	25,83
	2	150,20	300,20	12,73	2393,44	26,24	
	3	149,40	302,50	12,59	2373,59	23,96	
A4	1	151,20	300,30	12,45	2308,43	23,67	23,73
	2	150,30	302,30	12,78	2383,53	21,14	
	3	150,60	298,10	12,52	2357,02	26,39	
A5	1	149,40	303,90	12,89	2420,28	22,53	21,90
	2	150,80	302,10	12,46	2309,83	21,56	
	3	151,50	320,00	12,56	2178,02	21,63	



Gambar 5. 4 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Berdasarkan pengujian kuat tekan beton mutu sedang di laboratorium dan dilakukan perhitungan diperoleh hasil tertera pada Tabel 5.15 dan lebih jelasnya dilihat pada Gambar 5.4 di atas yang menunjukkan bahwa dengan dilakukannya substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan serta penggunaan *SikaCim Concrete Additive* untuk mengurangi nilai fas dapat mempengaruhi peningkatan serta penurunan yang terjadi pada kuat tekan beton mutu sedang.

Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi peningkatan kuat tekan beton mutu sedang dari kuat tekan rencana dengan substitusi parsial semen dengan kadar bubuk bata ringan sebesar 2,5%, 5%, dan 7,5% dengan kode benda uji A1, A2, dan A3 kemudian terjadi penurunan kuat tekan beton mutu sedang seiring dengan penambahan substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan dengan kadar 10% dan 12,5% untuk kode benda uji A4 dan A5. Berdasarkan grafik Gambar 5.4, hasil analisis regresi diperoleh nilai $R^2 = 0,8937$ yang mendekati 1 (satu) berarti dari simpangan nilai observasi dengan nilai model semakin baik nilai kecocokan. Sedangkan dengan menggunakan pendekatan rumus regresi *polynomial* dengan asumsi order = 2 menggunakan bantuan *Microsoft Excel* untuk mencari nilai ekstrim kuat tekan digunakan rumus sebagai berikut:

$$y = -721,18x^2 + 56,616x + 25,787 \quad (5.1)$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = (2)(-721,18)x + 56,616 \quad (5.2)$$

apabila $y' = 0$ maka persamaan menjadi sebagai berikut,

$$-1442,36x + 56,616 = 0 \quad (5.3)$$

$$x = \frac{-56,616}{-1442,36}$$

$$x = 0,0392 \quad (5.4)$$

kemudian nilai x dari persamaan (5.4) disubstitusikan dengan persamaan (5.1) sehingga nilai y dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y &= -721,18x^2 + 56,616x + 25,787 \\ y &= -721,18(0,0392)^2 + 56,616(0,0392) + 25,787 \\ y &= 26,898 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Sehingga didapatkan nilai optimum berada pada koordinat titik yaitu (0,0392;26,898) dengan nilai x menggunakan satuan persen (%) dan nilai y menggunakan satuan MPa, hal tersebut hanya berlaku sebagai asumsi diatas. Dari koordinat titik tersebut diperoleh nilai kuat tekan optimum beton variasi mutu sedang berada pada nilai 26,898 MPa dengan kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan sebesar 3,92%.

Berdasarkan pengujian laboratorium peningkatan kuat tekan sampai mencapai optimum pada beton variasi mutu sedang kadar substitusi parsial dengan bubuk bata ringan sebesar 2,5% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 5,22% terhadap kuat tekan beton normal mutu sedang, hal ini terjadi karena bahan pengisi (*filler*) dan bahan pengikat (*binder*) yaitu bubuk limbah bata ringan dan semen pada campuran beton mutu sedang mendapatkan kepadatan dan kerekatan dengan batas optimal tersebut, dengan mengisi rongga dan mengikat

antar agregat halus dan kasar. Serta penggunaan bubuk bata ringan yang mengandung silika, penggunaan bahan *SikaCim Concrete Additive* yang bekerja untuk memperkuat beton mutu sedang, dengan bahan-bahan tersebut beton mutu sedang mendapatkan kepadatan dan kerekatan antar bahan susun beton yang lebih baik dari pada beton normal sehingga pori-pori yang terdapat dalam beton berkurang dan beton mampu menahan gaya tekan yang lebih tinggi, kekuatan agregat juga berpengaruh pada kuat tekan beton mutu sedang. Agregat yang telah mencapai kekuatan yang optimal akan mengalami retak dan pecah.

Sedangkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan beton mutu sedang yang terjadi terhadap nilai kuat tekan rencana karena bahan pengisi (*filler*) yaitu bubuk bata ringan setelah mencapai batas tertentu kemudian bila ditambah lagi kadarnya maka penambahan tersebut sudah tidak ada lagi manfaatnya pada campuran beton mutu sedang dan filler hanya mengganggu semen dan bahan ikat lainnya, sedangkan bahan pengikat (*binder*) yaitu semen sudah tidak mampu bekerja lagi dengan baik untuk merekatkan antar agregat halus dan kasar. Faktor lain yaitu faktor nilai *slump* yang semakin rendah seiring ditambahkannya kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan serta bahan *additive SikaCim Concrete Additive* tidak berperan dalam peningkatan *workability*. Adanya hal tersebut beton sulit dipadatkan dalam pengerjaannya sehingga menimbulkan pori yang besar. Pori-pori yang terdapat pada beton mengganggu gaya tekan saat pengujian kuat tekan yang diberikan, karena gaya tekan tidak dapat tersalurkan secara merata.

Faktor yang penting dalam pembuatan campuran beton adalah nilai *slump*, penurunan nilai *slump* dimungkinkan disebabkan oleh penyerapan air oleh bubuk bata ringan yang tinggi. Air yang jumlahnya sedikit tidak mampu untuk mengikat jumlah semen yang lebih banyak dengan agregat, Akibatnya semen tidak bereaksi secara sempurna serta adukan beton mutu sedang menjadi sulit untuk dikerjakan dan dipadatkan dengan sempurna. Hasilnya terdapat banyak pori-pori pada beton dan kepadatan beton yang tidak baik. Hasil perhitungan kuat tekan beton mutu sedang normal dan beton mutu sedang variasi terdapat selisih antara nilai kuat tekannya. Besarnya persentase nilai selisih antara kuat tekan beton normal mutu

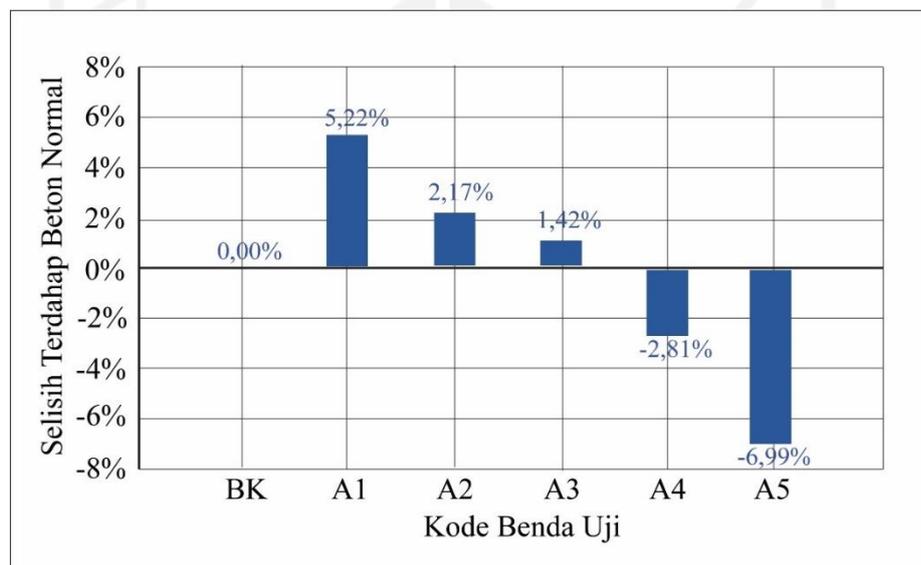
sedang dan beton variasi mutu sedang terhadap peningkatan dan penurunan kuat tekan beton mutu sedang disajikan pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Persentase Selisih Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sengah dengan Beton Variasi Mutu Sengah

Benda Uji		FAS	Kadar SikaCim Concrete Additive (%)	Kadar Bubuk Bata Ringan (%)	Kuat Tekan Beton ($f'c$) (MPa)	Kuat Tekan Beton Rerata ($f'c$) (MPa)	Peningkatan dan Penurunan Rerata Kuat Tekan Beton (%)
Kode	No		(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
BK	1	0,500	0	0	25,44	25,20	0,00
	2	0,500	0	0	26,00		
	3	0,500	0	0	24,17		
A1	1	0,425	0,7	2,5	28,31	27,98	5,22
	2	0,425	0,7	2,5	27,69		
	3	0,425	0,7	2,5	27,94		
A2	1	0,425	0,7	5	25,64	26,32	2,17
	2	0,425	0,7	5	27,09		
	3	0,425	0,7	5	26,23		
A3	1	0,425	0,7	7,5	27,30	25,93	1,42
	2	0,425	0,7	7,5	26,53		
	3	0,425	0,7	7,5	23,96		
A4	1	0,425	0,7	10	23,95	23,82	-2,81
	2	0,425	0,7	10	21,14		
	3	0,425	0,7	10	26,39		
A5	1	0,425	0,7	12,5	22,53	21,91	-6,99
	2	0,425	0,7	12,5	21,56		
	3	0,425	0,7	12,5	21,63		

Pada Tabel 5.16 diatas menunjukkan terdapat besaran persentase selisih antar nilai kuat tekan rata-rata beton normal mutu sedang dengan beton variasi mutu sedang yang mengalami kenaikan dan penurunan dari kuat tekan beton normal. Nilai kuat tekan maksimum didapatkan pada variasi substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan dan pengurangan nilai fas sebesar 15% yaitu dengan kode benda uji A1 dengan persentase kenaikan kuat tekan sebesar 5,22%

terhadap beton normal. Peningkatan kuat tekan beton variasi terhadap beton normal mutu sedang tidak terlalu signifikan, akan tetapi dengan menggunakan bahan limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen akan lebih bermanfaat bagi lingkungan dan dapat menghemat biaya pengecoran bila dilakukan pada proyek dengan volume pengecoran yang besar. Untuk nilai kuat tekan terendah diperoleh dari kode benda uji A5 dengan besar nilai penurunan kuat tekan sebesar 6,99% terhadap kuat tekan beton sedang normal. Agar lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.5 grafik persentase selisih kenaikan dan penurunan kuat tekan beton variasi mutu sedang terhadap beton normal mutu sedang di bawah ini.



Gambar 5. 5 Grafik Persentase Selisih Kenaikan Dan Penurunan Kuat Tekan Beton Variasi Mutu Sengah Terhadap Beton Normal Mutu Sengah

Hasil pengujian kuat tekan beton mutu sedang pada penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian sejenis yang dilaksanakan oleh Cunradiana dkk. (2020) dengan penggunaan tepung bata ringan sebagai bahan campuran beton dengan variasi tepung 0%, 10%, 30%, dan 50% dan Kurniawan dkk. (2020) menggunakan tambahan limbah bata ringan 10%, 20%, 30%, 40% dari volume pasir dan bubuk talek 8% dari volume semen sebagai campuran pembuatan beton memiliki persamaan pada variasi pertama dilakukan penambahan kadar bubuk bata ringan pada beton menghasilkan peningkatan kuat tekan beton mutu sedang,

kemudian seiring dilakukan penambahan bubuk bata ringan kuat tekan beton mutu sedang mengalami penurunan.

Ditinjau dari perbedaannya penelitian pertama kadar optimum penggunaan tepung bata ringan sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan, tetapi bubuk bata ringan digunakan sebagai bahan tambahan. Untuk tepung bata ringan 30% dan 50% pada campuran beton, hasilnya mengalami penurunan nilai kuat tekan berada dibawah rencana mutu beton. Pada penelitian kedua, dengan target mutu beton K-400 didapatkan hasil terjadi penurunan mutu beton dengan masing-masing mutu beton rata-rata K-294, K-271, K-251, dan K-225. Sedangkan pada penelitian ini kadar optimum sebesar 2,5% bubuk bata ringan sebagai bahan substitusi semen.

5.7.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Mutu Sedang

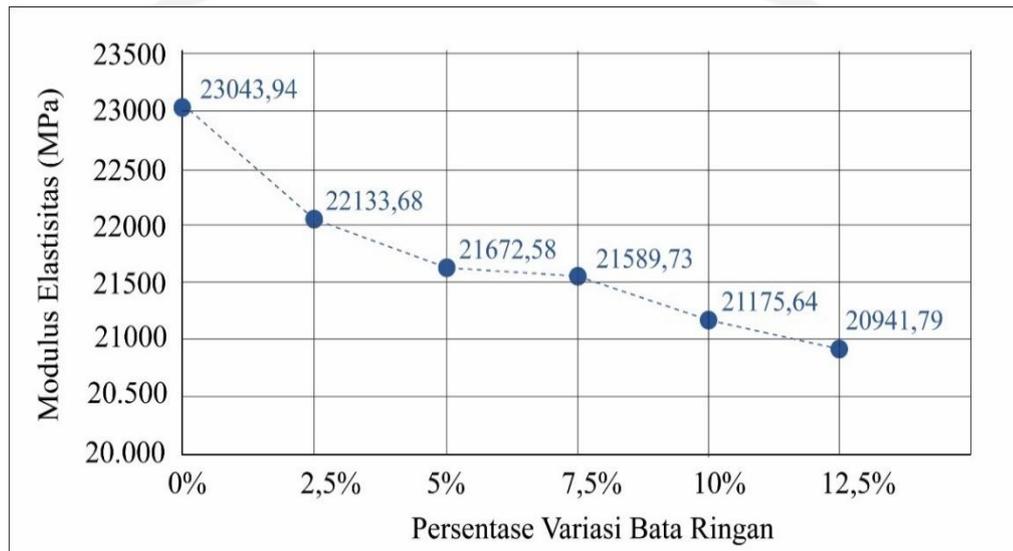
Modulus elastisitas beton diuji dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Tujuan pengujian ini untuk membandingkan nilai modulus elastisitas beton normal mutu sedang dengan beton variasi mutu sedang untuk keperluan dalam perencanaan struktur beton. Nilai modulus elastisitas diperoleh dari hubungan tegangan dan regangan beton di daerah elastis. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan setelah perhitungan data menggunakan bantuan *Microsoft Excel* serta menggunakan persamaan 3.11, persamaan 3.12, dan persamaan 3.13 diperoleh nilai modulus elastisitas beton pada beton normal mutu sedang dan beton pada setiap variasi beton serta perbandingan hasil pengujian modulus elastisitas di laboratorium dengan nilai modulus elastisitas beton mutu sedang menggunakan pendekatan rumus empiris SNI 2847:2019 ditampilkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Dengan Pembandingan Rumus Empiris

Benda Uji		Kuat Tekan Beton ($f'c$)	E_c Perhitungan	E_c Rumus Empiris $4700\sqrt{f'c}$	E_c Perhitungan Rerata ($f'c$)	E_c Rumus Empiris Rerata	Koreksi Perhitungan dengan Rumus Empiris
Kode	No	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)
BK	1	25,44	22768,11	23706,61			
	2	26,00	22768,11	23963,55	23043,94	23592,51	2,33
	3	24,17	23595,60	23107,38			
A1	1	28,31	23238,94	25008,37	22133,68	24860,98	10,97
	2	27,69	22161,98	24732,63			
	3	27,94	21000,12	24841,94			
A2	1	25,64	20823,55	23797,23	21672,58	24110,84	10,11
	2	27,09	22339,97	24462,66			
	3	26,23	21854,20	24072,65			
A3	1	27,30	22182,39	24557,04	21589,73	23922,93	9,75
	2	26,53	22694,57	24206,50			
	3	23,96	19892,22	23005,25			
A4	1	23,95	21039,86	23000,40	21175,64	22916,78	7,60
	2	21,14	20938,98	21607,75			
	3	26,39	21548,08	24142,20			
A5	1	22,53	21102,93	22310,07	20941,79	21997,52	4,80
	2	21,56	20996,10	21821,37			
	3	21,63	20726,33	21861,13			

Berdasarkan Tabel 5.17 diperoleh nilai modulus elastisitas beton normal mutu sedang hasil pengujian di laboratorium dibandingkan dengan menggunakan rumus empiris hanya memiliki selisih 2,33% lebih rendah dari perhitungan rumus empiris $4700\sqrt{f'c}$, yang berarti beton normal telah sesuai jika dalam perencanaan menggunakan rumus empiris $4700\sqrt{f'c}$. Sedangkan untuk semua beton variasi mutu sedang diperoleh nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dari beton normal dan mengalami penurunan nilai modulus elastisitas seiring dengan penambahan substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan, jika dilihat dari persentase koreksi dengan rumus empiris hasil pengujian modulus elastisitas rata-

rata memiliki selisih cukup signifikan. Salah satu faktor yang dimungkinkan karena penggunaan bubuk bata ringan yang lolos saringan no. 100 (0,15 mm), pada penelitian ini ketidakseragaman antara butir semen dengan butir bubuk bata ringan dapat mempengaruhi nilai tegangan-regangan pada beton variasi. Untuk lebih jelasnya ditampilkan pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Modulus Elastisitas beton normal (E) tidak dicari dengan eksperimental, tapi dicari berdasarkan perumusan SNI 2847:2019. Akan tetapi perlu diuji secara nyata tanpa menggunakan rumus setelah beton dimodifikasi untuk mendapatkan rumus empiris. Nilai modulus elastisitas beton normal akan naik seiring dengan bertambahnya kuat tekan beton dan diprediksi hasilnya menggunakan pendekatan rumus $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$, sehingga jika dimasukkan nilai kuat tekan beton variasi mutu sedang yang optimal 27,98 MPa nilai modulus elastisitas beton mutu sedang seharusnya berada di nilai 24861,24 MPa, jika dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton yang optimal hasil pengujian didapatkan nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 22133,68 MPa yang nilai tersebut berada dibawah nilai modulus elastisitas yang menggunakan rumus empiris $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$.

5.7.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilaksanakan saat benda uji berumur 28 hari dengan bentuk benda uji berbentuk persegi panjang dimensi panjang 400 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm. Jumlah benda uji pada pengujian kuat lentur ini berjumlah 18 buah masing-masing 3 sampel benda uji pada setiap variasi beton. Pengujian kuat lentur beton dilaksanakan menggunakan dua titik pembebanan. Sehingga diperoleh daerah momen maksimum berada pada daerah L/3 tepat di tengah-tengah bentang balok. Perhitungan hasil data yang diperoleh dari pengujian kuat lentur digunakan persamaan 3.5 dan persamaan 3.6.

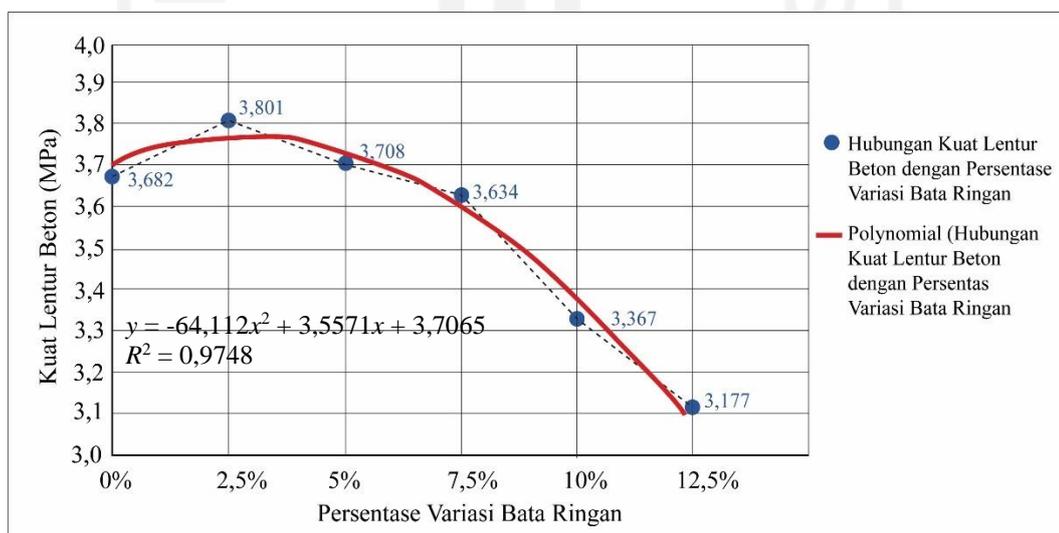
Berikut ini hasil perhitungan kuat lentur beton normal mutu sedang dan beton variasi mutu sedang substitusi parsial semen dengan bata ringan 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%, penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada campuran beton sebesar 0,7% dari berat semen dan reduksi kadar air sebesar 15% pada beton modifikasi, serta persentase peningkatan dan penurunan kuat lentur beton variasi mutu sedang terhadap beton normal mutu sedang ditampilkan pada Tabel 5.19 dan grafik hasil kuat lentur beton pada Gambar 5.8.

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Normal Mutu Sengah dan Beton Variasi Mutu Sengah Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Benda Uji		Kadar <i>SikaCim Concrete Additive</i>	Kadar Bubuk Bata Ringan	Berat Beton	Kuat Lentur Beton	Kuat Lentur Rerata	Peningkatan dan Penurunan Kuat Lentur Beton
Kode	No.	(%)	(%)	(kg)	(MPa)	(MPa)	(%)
BK	1	0	0	9,550	3,771	3,682	0
	2	0	0	9,359	3,625		
	3	0	0	9,306	3,659		
A1	1	0,7	2,5	9,166	3,961	3,801	1,601
	2	0,7	2,5	9,522	3,667		
	3	0,7	2,5	9,287	3,796		
	3	0,7	5	9,297	3,723		

Lanjutan Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Dengan Pembandingan Rumus Empiris

Benda Uji		Kadar SikaCim Concrete Additive	Kadar Bubuk Bata Ringan	Berat Beton	Kuat Lentur Beton	Kuat Lentur Rerata	Peningkatan dan Penurunan Kuat Lentur Beton
Kode	No.	(%)	(%)	(kg)	(MPa)	(MPa)	(%)
A2	1	0,7	5	9,550	3,640	3,718	0,365
	2	0,7	5	9,763	3,762		
	3	0,7	5	9,297	3,723		
A3	1	0,7	7,5	9,314	3,586	3,634	-0,650
	2	0,7	7,5	9,482	3,773		
	3	0,7	7,5	8,849	3,554		
A4	1	0,7	10	9,540	3,472	3,377	-4,467
	2	0,7	10	8,908	3,523		
	3	0,7	10	8,803	3,105		
A5	1	0,7	12,5	9,217	3,430	3,177	-7,352
	2	0,7	12,5	9,08	3,044		
	3	0,7	12,5	9,114	3,068		



Gambar 5. 7 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Berdasarkan hasil pengolahan data-data yang didapat di Tabel 5.17 dan dari Gambar 5.8 grafik hasil pengujian kuat lentur beton diperoleh bahwa dengan bertambahnya substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dapat meningkatkan kinerja dari kuat lentur beton mutu sedang. Peningkatan kuat lentur beton mutu sedang rata-rata terhadap kuat lentur beton normal mutu sedang terjadi pada kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan 2,5% dan 5% dengan kode benda uji A1 dan A2. Peningkatan kuat lentur beton mutu sedang rata-rata yang optimal didapatkan dari kode benda uji A1 dengan besar peningkatan kuat lentur sebesar 1,601% terhadap beton normal mutu sedang. Namun untuk kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan 7,5%, 10%, dan 12,5% dengan kode benda uji A3, A4, dan A5 mengalami penurunan nilai kuat lentur rata-rata dibawah dari nilai kuat lentur beton normal mutu sedang. Penurunan kuat lentur rerata paling rendah diperoleh pada kode benda uji A5 dengan besar penurunan kuat lentur sebesar -7,352% terhadap beton normal mutu sedang. Sedangkan dengan menggunakan pendekatan rumus regresi *polynomial* dengan asumsi order = 2 menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* untuk mencari nilai ekstrim kuat lentur digunakan rumus sebagai berikut:

$$y = -64,112x^2 + 3,5571x + 3,7065 \quad (5.6)$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = (2)(-64,112)x + 3,5571 \quad (5.7)$$

apabila $y' = 0$ maka persamaan menjadi sebagai berikut,

$$-128,224x + 3,5571 = 0 \quad (5.7)$$

$$x = \frac{-3,5571}{-128,224}$$

$$x = 0,0277 \quad (5.8)$$

kemudian nilai x dari persamaan (5.8) disubstitusikan dengan persamaan (5.6) sehingga nilai y dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y &= -64,112x^2 + 3,5571x + 3,7065 \\
 y &= -64,112(0,0277)^2 + 3,5571(0,0277) + 3,7065 \\
 y &= 3,756
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

Sehingga didapatkan nilai optimum berada pada koordinat titik yaitu (0,0277;3,756) dengan nilai x menggunakan satuan persen (%) dan nilai y menggunakan satuan MPa, hal tersebut hanya berlaku sebagai asumsi diatas. Dari koordinat titik tersebut diperoleh nilai kuat tekan optimum beton variasi berada pada nilai 3,756 MPa dengan kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan sebesar 2,77%. Hasil analisis regresi diperoleh nilai $R^2 = 0,9748$ yang mendekati 1 (satu) berarti dari simpangan nilai observasi dengan nilai model semakin baik nilai kecocokan.

Berdasarkan pengujian laboratorium peningkatan kuat lentur sampai mencapai optimum pada beton variasi kadar substitusi parsial dengan bubuk bata ringan sebesar 2,5%, hal ini terjadi karena bahan pengisi (*filler*) dan bahan pengikat (*binder*) yaitu semen dan bubuk limbah bata ringan pada campuran beton mutu sedang mendapatkan kepadatan dan kerekatan dengan batas optimal tersebut, dengan mengisi rongga dan mengikat antar agregat halus dan kasar. Serta bubuk bata ringan yang mengandung silika yang juga terdapat pada semen, penggunaan bahan *additive SikaCim Concrete Additive* yang bekerja untuk memperkuat beton mutu sedang, dengan bahan-bahan tersebut beton mutu sedang mendapatkan kepadatan dan kerekatan antar bahan susun beton yang lebih baik dari pada beton normal sehingga pori-pori yang terdapat dalam beton mutu sedang berkurang dan beton mutu sedang mampu menahan beban arah tegak lurus dari sumbunya.

Sedangkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan beton mutu sedang yang terjadi rencana karena bahan pengisi (*filler*) yaitu bubuk bata ringan setelah mencapai batas tertentu kemudian bila ditambah lagi kadarnya maka penambahan tersebut sudah tidak ada lagi manfaatnya pada campuran beton mutu sedang dan filler hanya mengganggu semen dan bahan ikat lainnya, sedangkan bahan

pengikat (*binder*) yaitu semen sudah tidak mampu bekerja lagi dengan baik untuk merekatkan antar agregat halus dan kasar. Faktor lain penurunan terhadap nilai kuat lentur rencana karena faktor nilai *slump* yang semakin rendah seiring ditambahkannya kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan serta bahan *additive SikaCim Concrete Additive* tidak berperan dalam peningkatan *workability*. Adanya hal tersebut beton sulit dipadatkan dalam pengerjaannya sehingga menimbulkan pori yang besar atau keropos. Dengan adanya pori pada beton mutu sedang, saat diberikan gaya tegak lurus dari sumbunya daya lekat antar agregat menjadi menurun serta dapat memicu timbulnya keretakan pada beton. Penurunan nilai kuat tekan beton mutu sedang dan penurunan nilai modulus elastisitas berpengaruh juga terhadap kuat lentur, dengan turunnya nilai modulus elastisitas maka faktor kekakuan balok menurun sehingga kuat lentur beton mutu sedang juga menurun karena nilai kuat lentur berbanding lurus dengan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton variasi.

Hasil Pengujian kuat lentur beton mutu sedang jika dibandingkan dengan perhitungan menggunakan pendekatan SNI 2847:2013 bahwa kuat lentur beton (f_s) = $0,623\sqrt{f'_c}$. Sehingga didapatkan nilai kuat lentur beton optimal dengan kadar substitusi parsial semen dengan bata ringan sebesar 2,5% dengan hasil pengujian kuat tekan beton mutu sedang optimal dengan nilai 27,98 MPa berada di nilai kuat lentur 3,29 MPa, nilai kuat lentur menggunakan pendekatan SNI 2847:2013 berada di bawah nilai kuat lentur beton mutu sedang hasil pengujian yang optimal dengan nilai sebesar 3,801 MPa.

5.8 Hasil Pengujian Sifat Fisik Beton

Hasil Pengujian sifat fisik beton yang meliputi pengujian penyerapan air dan porositas beton disajikan dibawah ini sebagai berikut.

5.8.1 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton

Berdasarkan SNI 03-2914-1992 menyebutkan penyerapan air maksimum terhadap berat kering oven beton setelah perendaman 1x24 jam yaitu 6,5% untuk beton yang kedap air yang dapat mengurangi terjadinya korosi pada tulangan beton. Data yang diperoleh dari pengujian penyerapan air dihitung menggunakan

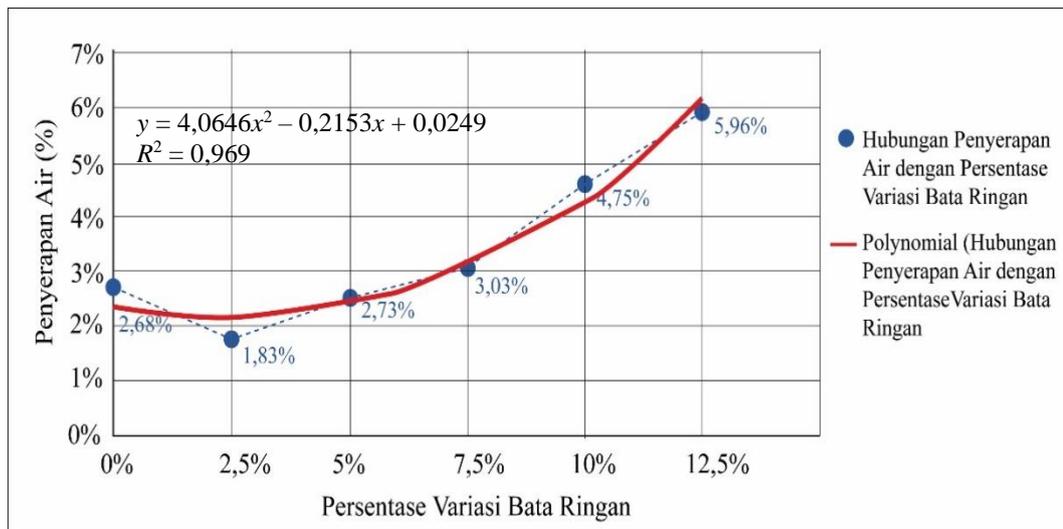
persamaan 3.15. Berikut ini merupakan hasil perhitungan penyerapan air pada beton normal dan beton variasi substitusi parsial semen dengan bata ringan 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5% ditampilkan pada Tabel 5.20 dan grafik hasil penyerapan air pada beton pada Gambar 5.8.

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Benda Uji		Dimensi Benda Uji			Berat kering tungku (kg)	Berat Setelah Direndam (kg)	Penyerapan Air dalam Beton (%)	Penyerapan Air Rerata (%)
		Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)				
Kode	No.	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	(%)	(%)
BK	1	15,180	15,120	15,160	7,950	8,164	2,692	2,685
	2	15,130	15,140	15,130	7,949	8,223	3,447	
	3	15,110	15,190	14,810	7,824	7,974	1,917	
A1	1	15,030	15,150	15,170	7,942	8,074	1,662	1,830
	2	15,060	15,180	14,790	7,931	8,087	1,967	
	3	15,030	15,090	14,920	7,741	7,885	1,860	
A2	1	15,110	15,130	15,140	7,784	8,019	3,019	2,573
	2	15,050	15,140	15,130	8,008	8,218	2,622	
	3	15,220	15,110	14,980	7,995	8,161	2,076	
A3	1	15,090	15,120	15,130	7,804	8,061	3,293	3,033
	2	14,830	15,050	15,270	7,513	7,703	2,529	
	3	15,130	15,190	15,160	7,724	7,977	3,276	
A4	1	15,180	14,840	15,180	7,447	7,857	5,506	4,755
	2	15,150	15,110	15,270	7,781	8,139	4,601	
	3	15,130	15,220	15,020	7,552	7,866	4,158	
A5	1	15,160	15,050	15,010	7,778	8,169	5,027	5,962
	2	14,880	15,140	15,270	7,336	7,954	8,424	
	3	14,840	15,110	15,180	7,867	8,216	4,436	

Hasil pengujian dan perhitungan penyerapan air rerata untuk beton normal mutu sedang dan beton variasi mutu sedang masih termasuk dalam standar beton kedap air yang nilainya kurang dari 6,5%. Untuk nilai penyerapan maksimum didapat sebesar 5,962% dengan kode benda uji A5. Sedangkan untuk penyerapan

air beton minimum berada pada nilai 1,830% dengan kode benda uji A1. Seiring dengan peningkatan kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan nilai penyerapan air pada beton variasi mengalami penurunan, akan tetapi penurunan nilai penyerapan air tidak terlalu signifikan.



Gambar 5. 8 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Berdasarkan grafik Gambar 5.8 menggunakan pendekatan rumus regresi *polynomial* dengan asumsi order = 2 menggunakan bantuan *Microsoft Excel* untuk mencari nilai ekstrim penyerapan air digunakan rumus sebagai berikut:

$$y = 4,0646x^2 - 0,2153x + 0,0249 \quad (5.10)$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = (2)(4,0646)x - 0,2153 \quad (5.11)$$

apabila $y' = 0$ maka persamaan menjadi sebagai berikut,

$$8,1292x - 0,2153 = 0 \quad (5.12)$$

$$x = \frac{0,2153}{8,1292}$$

$$x = 0,0265 \quad (5.13)$$

kemudian nilai x dari persamaan (5.13) disubstitusikan dengan persamaan (5.10) sehingga nilai y dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y &= 4,0646x^2 - 0,2153x + 0,0249 \\ y &= 4,0646(0,0265)^2 - 0,2153(0,0265) + 0,0249 \\ y &= 0,022 \end{aligned} \tag{5.14}$$

Sehingga didapatkan nilai optimum berada pada koordinat titik yaitu (0,0265;0,022) dengan nilai x dan y menggunakan satuan persen (%), hal tersebut hanya berlaku sebagai asumsi diatas. Dari koordinat tersebut diperoleh nilai penyerapan air minimum beton variasi berada pada nilai 2,2% dengan kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan sebesar 2,65%. Berdasarkan grafik Gambar 5.9, hasil analisis regresi *polynomial* diperoleh nilai $R^2 = 0,969$ yang mendekati 1 (satu) berarti dari simpangan nilai observasi dengan nilai model semakin baik nilai kecocokan.

Beton yang memiliki nilai penyerapan air yang rendah atau dibawah nilai spesifikasi maksimal penyerapan 6,5% mengindikasikan beton lebih awet dan memiliki durabilitas yang tinggi jika beton memiliki nilai penyerapan yang tinggi maka dapat menyebabkan degradasi pada kekuatan beton. Terjadi penurunan nilai penyerapan air sampai mencapai optimum pada beton variasi mutu sedang kadar substitusi parsial dengan bubuk bata ringan sebesar 2,5% terhadap beton normal mutu sedang, hal ini terjadi karena bahan pengisi (*filler*) dan bahan pengikat (*binder*) yaitu semen dan bubuk limbah bata ringan pada campuran beton mutu sedang mendapatkan kepadatan dan kerekatan dengan batas optimal tersebut, dengan mengisi rongga dan mengikat antar agregat halus dan kasar. Serta menandakan pada beton memiliki kepadatan dan kerapatan antar partikel yang tinggi dan pori-pori dipermukaan sedikit atau rapat atas pengaruh unsur silika pada bata ringan. Pada penelitian Rommel (2015) menyebutkan unsur silika dapat mempengaruhi sifat rekatan antar agregat yang lebih baik. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap peningkatan penyerapan air pada beton variasi disebabkan oleh penurunan nilai *slump* yang semakin rendah, sehingga *workability* beton

segar menjadi sulit dipadatkan yang menghasilkan kepadatan beton mutu sedang yang kurang baik akibat adanya rongga udara, kerapatan antar partikel yang rendah, dan banyaknya pori-pori dipermukaan beton yang timbul akibat dari udara yang terperangkap sehingga memperluas tampang beton yang terkena air rendaman membuat daya serap air pada beton meningkat.

5.8.2 Hasil Pengujian Porositas Beton

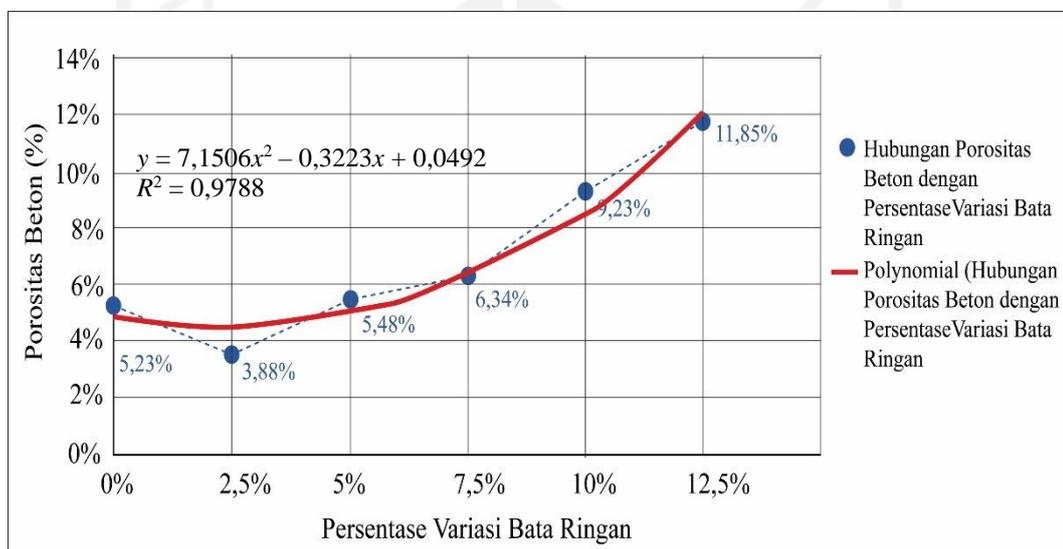
Pengujian porositas beton ini sebagai representasi tingkat kepadatan benda uji beton. Data yang diperoleh dari pengujian porositas beton dan perhitungan menggunakan persamaan 3.16. Berikut ini merupakan hasil perhitungan penyerapan air pada beton normal dan beton variasi substitusi parsial semen dengan bata ringan 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% ditampilkan pada Tabel 5.21 dan grafik hasil porositas rerata beton ditampilkan pada Gambar 5.9.

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Benda Uji		Dimensi Benda Uji			Berat Kering Tungku (kg)	Berat SSD (kg)	Berat dalam Air (kg)	Porositas dalam Beton (%)	Porositas Beton Rerata (%)
		Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)					
BK	1	15,180	15,120	15,160	7,950	8,164	4,188	5,382	5,229
	2	15,130	15,140	15,130	7,949	8,223	4,036	6,544	
	3	15,110	15,190	14,810	7,824	7,974	3,985	3,760	
A1	1	15,030	15,150	15,170	7,942	8,074	4,164	3,376	3,876
	2	15,060	15,180	14,790	7,931	8,087	4,236	4,051	
	3	15,030	15,090	14,920	7,741	7,885	4,458	4,202	
A2	1	15,110	15,130	15,140	7,784	8,019	4,387	6,470	5,479
	2	15,050	15,140	15,130	8,008	8,218	4,173	5,192	
	3	15,220	15,110	14,980	7,995	8,161	4,685	4,776	
A3	1	15,090	15,120	15,130	7,804	8,061	4,141	6,556	6,336
	2	14,830	15,050	15,270	7,513	7,703	4,249	5,501	
	3	15,130	15,190	15,160	7,724	7,977	4,337	6,951	
A4	1	15,180	14,840	15,180	7,447	7,857	3,821	10,159	9,227
	2	15,150	15,110	15,270	7,781	8,139	4,275	9,265	
	3	15,130	15,220	15,020	7,552	7,866	4,064	8,259	

Lanjutan Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Variasi Mutu Sedang Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Benda Uji		Dimensi Benda Uji			Berat Kering Tungku (kg)	Berat SSD (kg)	Berat dalam Air (kg)	Porositas dalam Beton (%)	Porositas Beton Rerata (%)
		Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)					
Kode	No.	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(%)
A5	1	15,160	15,050	15,010	7,778	8,169	4,578	10,888	11,849
	2	14,880	15,140	15,270	7,336	7,954	4,092	16,002	
	3	14,840	15,110	15,180	7,867	8,216	4,185	8,658	



Gambar 5. 9 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal Mutu Sedang dan Beton Mutu Sedang Variasi Substitusi Parsial Semen dengan Bubuk Bata Ringan

Hasil pengujian dan perhitungan porositas rerata untuk beton normal mutu sedang dan beton variasi mutu sedang diperoleh bahwa seiring dengan penambahan substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan nilai porositas beton mengalami peningkatan. Porositas beton mutu sedang tertinggi didapatkan oleh kode benda uji A5 dengan besar persentase nilai porositas sebesar 11,849%, sedangkan dengan menggunakan pendekatan rumus regresi *polynomial* dengan

asumsi order = 2 menggunakan bantuan *Microsoft Excel* untuk mencari nilai ekstrim porositas beton digunakan rumus sebagai berikut:

$$y = 7,1506x^2 - 0,3223x + 0,0492 \quad (5.15)$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = (2)(7,1506)x - 0,3223 \quad (5.16)$$

apabila $y' = 0$ maka persamaan menjadi sebagai berikut,

$$14,3012x - 0,3223 = 0 \quad (5.17)$$

$$x = \frac{0,3223}{14,3012}$$

$$x = 0,0225 \quad (5.18)$$

kemudian nilai x dari persamaan (5.18) disubstitusikan dengan persamaan (5.15) sehingga nilai y dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$y = 7,1506x^2 - 0,3223x + 0,0492$$

$$y = 7,1506(0,0225)^2 - 0,3223(0,0225) + 0,0492$$

$$y = 0,045 \quad (5.19)$$

Sehingga didapatkan nilai optimum berada pada koordinat titik yaitu (0,0225;0,045) dengan nilai x dan y menggunakan satuan persen (%), hal tersebut hanya berlaku sebagai asumsi diatas. Dari koordinat tersebut Perhitungan diatas diperoleh nilai porositas beton mutu sedang minimum beton variasi berada pada nilai 4,5% dengan kadar substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan sebesar 2,25%. Berdasarkan grafik Gambar 5.9, hasil analisis regresi diperoleh nilai $R^2 = 0,9788$ yang mendekati 1 (satu) berarti dari simpangan nilai observasi dengan nilai model semakin baik nilai kecocokannya.

Porositas beton dapat disebabkan oleh pelaksanaan pengecoran yang jelek dengan pemadatan yang kurang maksimal, maupun kelecakan beton segar yang rendah. Faktor air semen sangat berpengaruh pada campuran beton. Faktor air semen yang semakin tinggi beton akan mudah dikerjakan, tetapi kekuatan tekan akan menurun, begitupun sebaliknya semakin rendah nilai faktor semen maka

kekuatan beton akan semakin tinggi. Namun dalam penggunaan nilai faktor air semen yang terlalu rendah kuat tekan beton juga akan rendah. Sehingga beton mutu sedang segar tanpa bahan tambah yang membantu *workability* harus memiliki nilai *fas* yang optimum, agar mendapatkan kepadatan dan kelecakan yang baik. Pada penelitian ini, terjadi penurunan nilai porositas sampai mencapai optimum pada beton variasi kadar substitusi parsial dengan bubuk bata ringan sebesar 2,5% terhadap beton normal mutu sedang menandakan rongga udara yang terdapat pada beton mutu sedang semakin kecil dan beton mutu sedang memiliki kepadatan yang baik. Kemudian terjadinya peningkatan nilai persentase porositas beton variasi setelah mencapai optimum dapat diakibatkan dari faktor air semen yang semakin rendah sehingga sulit dalam pengerjaan, besar kecilnya nilai *slump*, maupun kesalahan dalam pengecoran. Untuk itu, semakin rendah nilai porositas beton akan semakin tinggi tingkat kekuatan beton (mutu beton) karena beton memiliki kepadatan yang baik. Sebaliknya, jika semakin tinggi nilai porositas maka tingkat kekuatan beton mutu sedang semakin rendah.

5.9 Hubungan Antar Grafik Hasil Pengujian

Pada penelitian ini terdapat hubungan antar grafik hasil pengujian. Korelasi antar grafik dinyatakan dengan menggunakan analisis regresi linier. R^2 yang mendekati 1 (satu) berarti simpangan nilai hasil observasi dengan nilai model antar pengujian semakin baik nilai kecocokan. Penjelasan hubungan antara grafik dijelaskan sebagai berikut.

5.9.1 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi

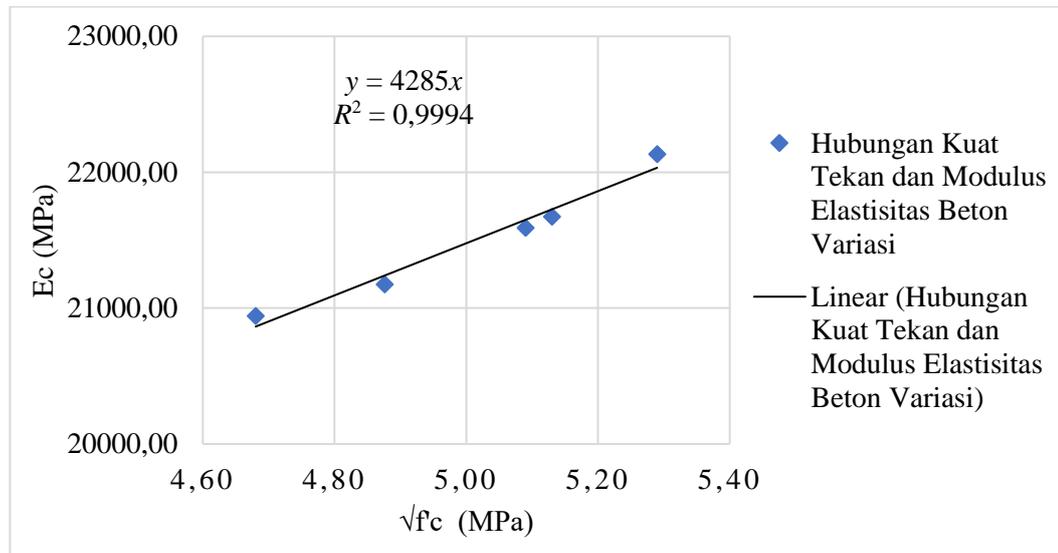
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.6 terdapat hubungan antara nilai hasil kuat tekan beton variasi mutu sedang dan nilai hasil modulus elastisitas beton variasi mutu sedang yaitu memiliki nilai kuat tekan berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitasnya, semakin besar mutu kuat tekan semakin besar pula nilai modulus elastisitas beton variasi. Hasil pengujian dan perhitungan diperoleh data-data bahwa nilai modulus elastisitas beton variasi berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya. Sehingga dengan hasil tersebut dapat dicari rumus

empiris hubungan nilai modulus elastisitas beton variasi dengan kuat tekan beton variasi mutu sedang, hasil dari perhitungan ditampilkan pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5. 21 Hubungan Nilai Kuat Tekan dan Nilai Modulus Elastisitas Hasil Pengujian Beton Variasi Mutu Sedang

Benda Uji		Kuat Tekan Beton ($f'c$)	Akar $f'c$	E_c Perhitungan	Akar $f'c$ rerata	E_c Perhitungan Rerata
Kode	No	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A1	1	28,31	5,32	23238,94	5,29	22133,68
	2	27,69	5,26	22161,98		
	3	27,94	5,29	21000,12		
A2	1	25,64	5,06	20823,55	5,13	21672,58
	2	27,09	5,20	22339,97		
	3	26,23	5,12	21854,20		
A3	1	27,30	5,22	22182,39	5,09	21589,73
	2	26,53	5,15	22694,57		
	3	23,96	4,89	19892,22		
A4	1	23,95	4,89	21039,86	4,88	21175,64
	2	21,14	4,60	20938,98		
	3	26,39	5,14	21548,08		
A5	1	22,53	4,75	21102,93	4,68	20941,79
	2	21,56	4,64	20996,10		
	3	21,63	4,65	20726,33		

Untuk memperoleh hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan dapat menggunakan analisis regresi menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* dengan memasukkan data-data $\sqrt{f'c}$ rerata dan nilai modulus elastisitas rerata beton variasi dari Tabel 5.18 di atas. Hasil Grafik yang didapat dari hubungan $\sqrt{f'c}$ dan modulus elastisitas (E_c) beserta persamaan liniernya ditampilkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.7, hasil analisis regresi diperoleh nilai nilai $R^2 = 0,9994$ yang mendekati 1 (satu) diartikan dari simpangan data nilai hasil penelitian dengan nilai model semakin baik nilai kecocokan. Hubungan antara nilai modulus elastisitas dengan nilai kuat tekan beton variasi pada penelitian ini didapatkan rumus empiris modulus elastisitas adalah sebagai berikut:

$$E_c = 4285\sqrt{f'c} \quad (5.1)$$

Sedangkan untuk hubungan nilai modulus elastisitas dengan kuat tekan beton normal mutu sedang mempunyai rumus empiris yang berdasarkan SNI 2847:2019 sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} \quad (5.2)$$

dengan:

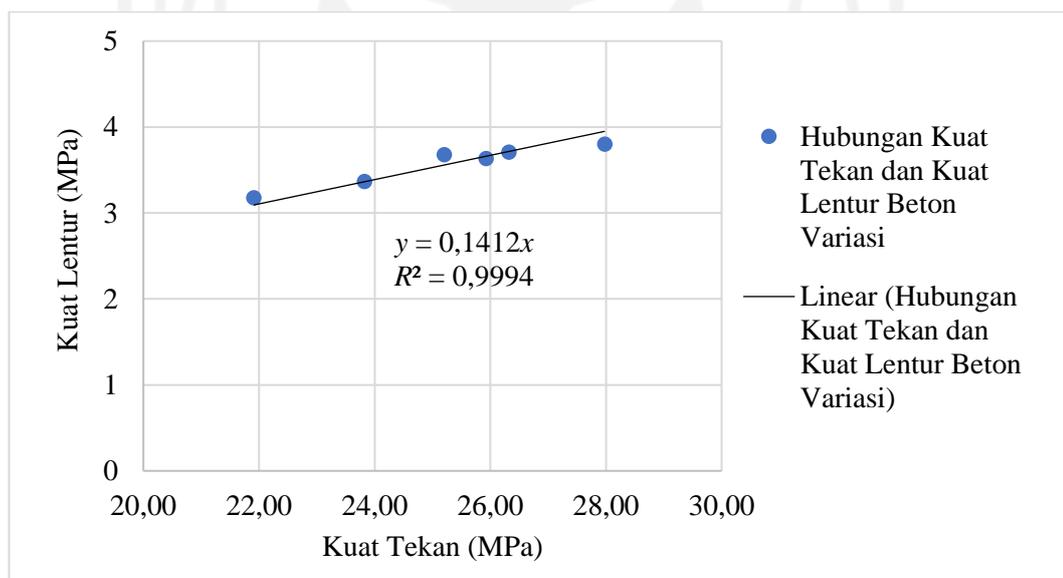
E_c = Modulus elastisitas (MPa)

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

5.9.2 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.4 dan Gambar 5.7 terdapat hubungan antara nilai hasil kuat tekan beton variasi mutu sedang dan nilai hasil kuat lentur beton variasi mutu sedang, yaitu nilai kuat tekan berbanding lurus dengan nilai kuat lenturnya, semakin besar mutu kuat tekan semakin besar pula nilai kuat lentur beton variasi.

Untuk memperoleh hubungan kuat tekan dengan kuat lentur dapat menggunakan analisis regresi linier menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* dengan memasukkan data-data f'_c rerata dan nilai kuat lentur rerata beton variasi. Hasil Grafik yang didapat dari hubungan f'_c dan f_{lt} beserta persamaan liniernya ditampilkan pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Variasi Mutu Sedang dan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.11 hasil analisis regresi linier diperoleh nilai $y = 0,1412x$ dan $R^2 = 0,9994$, nilai R^2 yang mendekati 1 (satu) diartikan dari simpangan data tersebut, hasil nilai antar pengujian akan semakin baik nilai kecocokannya.

5.9.3 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang

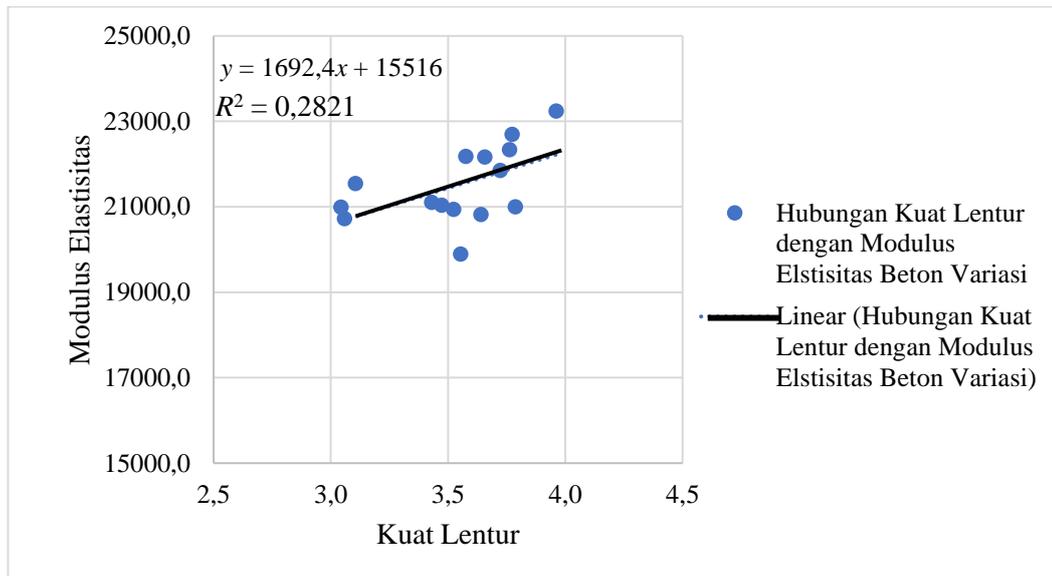
Berdasarkan grafik Gambar 5.4 dan Gambar 5.8 terdapat hubungan antara nilai hasil kuat tekan beton variasi mutu sedang dan nilai hasil penyerapan air beton variasi, yaitu nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan nilai penyerapan air, semakin besar kuat tekan beton semakin kecil nilai penyerapan air beton variasi mutu sedang. Sebaliknya, jika kuat tekan beton kecil nilainya, maka penyerapan air semakin besar.

5.9.4 Hubungan Kuat Tekan Beton Variasi dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.4 dan Gambar 5.9 terdapat hubungan antara nilai hasil kuat tekan beton variasi mutu sedang dan nilai hasil porositas beton variasi mutu sedang, yaitu nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan nilai porositas beton, semakin besar kuat tekan beton semakin kecil nilai porositas beton variasi. Sebaliknya, jika kuat tekan beton kecil nilainya, maka porositas semakin besar.

5.9.5 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 terdapat hubungan antara nilai hasil kuat lentur beton variasi mutu sedang dan nilai hasil modulus elastisitas beton variasi mutu sedang, yaitu nilai kuat lentur berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas, semakin besar mutu kuat lentur semakin besar pula nilai modulus elastisitas beton variasi. Untuk memperoleh hubungan kuat lentur dengan modulus elastisitas dapat menggunakan analisis regresi linier menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* dengan memasukkan data-data kuat lentur dan nilai modulus elastisitas beton variasi mutu sedang. Berikut ini grafik 5.14 hubungan nilai kuat lentur beton variasi mutu sedang dan modulus elastisitas beton variasi mutu sedang.



Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Nilai Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.14 hasil analisis regresi linier diperoleh nilai $y = 6053,2x$ dan $R^2 = 0,2821$, nilai R^2 yang masih jauh mendekati 1 (satu) diartikan dari simpangan data tersebut, hasil nilai antar pengujian kurang baik nilai kecocokannya antara kuat lentur dan modulus elastisitas beton variasi.

5.9.6 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 terdapat hubungan antara nilai kuat lentur dan penyerapan air beton variasi, yaitu nilai kuat lentur beton variasi mutu sedang berbanding terbalik dengan nilai penyerapan air beton variasi mutu sedang, semakin besar kuat lentur beton semakin kecil nilai penyerapan air beton variasi. Sebaliknya, jika kuat lentur beton nilainya kecil, maka penyerapan air akan semakin besar.

5.9.7 Hubungan Kuat Lentur Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.7 dan Gambar 5.9 terdapat hubungan antara nilai kuat lentur dan porositas beton variasi mutu sedang, yaitu nilai kuat lentur beton variasi mutu sedang berbanding terbalik dengan nilai porositas beton variasi mutu sedang, semakin besar kuat lentur beton semakin kecil nilai porositas beton

variasi. Begitupun sebaliknya, jika kuat lentur beton nilainya kecil, maka porositas akan semakin besar.

5.9.8 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang dan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.6 dan Gambar 5.8 terdapat hubungan antara nilai modulus elastisitas dan penyerapan air pada beton variasi mutu sedang, nilai modulus elastisitas beton variasi mutu sedang nilainya berbanding terbalik dengan nilai penyerapan air pada beton variasi, semakin besar nilai modulus elastisitas beton semakin kecil nilai penyerapan air pada beton variasi mutu sedang. Begitupun sebaliknya, beton dengan kondisi nilai modulus elastisitas beton kecil, maka didapatkan penyerapan air akan semakin besar.

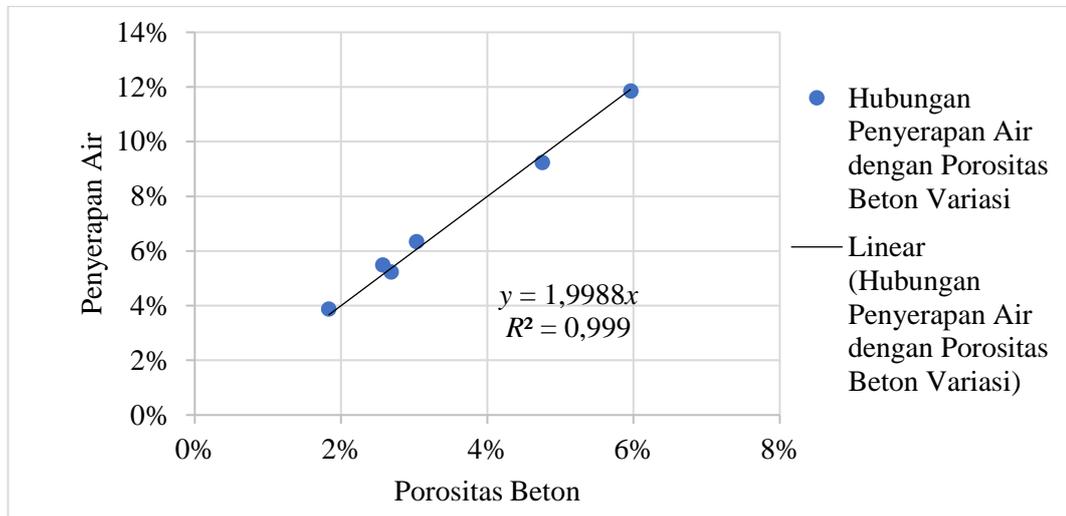
5.9.9 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.6 dan Gambar 5.9 terdapat hubungan antara nilai modulus elastisitas dan porositas pada beton variasi mutu sedang, nilai elastisitas beton variasi mutu sedang nilainya berbanding terbalik dengan nilai porositas pada beton variasi mutu sedang, semakin besar nilai modulus elastisitas beton semakin kecil nilai porositas pada beton variasi. Begitupun sebaliknya, beton dengan kondisi nilai modulus elastisitas beton kecil, maka didapatkan porositas pada beton variasi akan semakin besar.

5.9.10 Hubungan Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang

Terdapat hubungan antara penyerapan air dan porositas beton mutu sedang dengan berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 hasil pengujian beton variasi substitusi parsial semen dengan bubuk bata ringan. Nilai penyerapan air akan semakin rendah jika nilai porositas beton mutu sedang semakin rendah, begitupun sebaliknya jika nilai penyerapan air semakin tinggi maka nilai porositas beton mutu sedang juga semakin tinggi. Untuk memperoleh hubungan penyerapan air dengan porositas beton dapat menggunakan analisis regresi menggunakan bantuan program *Microsoft Excel* dengan memasukkan data penyerapan air rerata dan nilai porositas beton rerata beton variasi. Hasil Grafik regresi linier yang

didapat dari hubungan penyerapan air dan porositas beton ditampilkan pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Nilai Penyerapan Air Beton Variasi Mutu Sedang dan Porositas Beton Variasi Mutu Sedang

Berdasarkan grafik Gambar 5.19 hasil analisis regresi linier diperoleh nilai $y = 0,19988x$ dan $R^2 = 0,999$, nilai R^2 yang mendekati 1 (satu) diartikan simpangan data tersebut, hasil nilai antar pengujian akan semakin baik nilai kecocokannya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari data-data penelitian dan hasil pembahasan, maka penulis dapat menyimpulkan dari penelitian ini. Serta penulis meninggalkan saran agar dapat berguna dalam penelitian-penelitian yang akan dilaksanakan selanjutnya.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dari data-data pengujian dalam penelitian serta melaksanakan pembahasan mengenai pemanfaatan limbah bata ringan sebagai substitusi sebagian semen dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* terhadap pengujian kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas, penyerapan air, dan porositas beton. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Sifat mekanik beton variasi mutu sedang terhadap beton normal mutu sedang mengalami peningkatan dengan kadar optimal limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen sebesar 2,5%, dengan peningkatan kuat desak beton optimum tercapai pada substitusi limbah bata ringan 2,5%, yaitu 27,98 MPa, dengan peningkatan sebesar 5,22%. Pada variasi persentase substitusi limbah bata ringan tersebut, kuat lentur optimal tercapai sebesar 3,68 MPa, dengan peningkatan sebesar 1,60%. Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton substitusi mengalami penurunan, seiring dengan peningkatan kadar limbah bata ringan. Hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan beton variasi dari hasil analisis regresi diperoleh rumus empiris beton variasi limbah bata ringan sebesar $4285\sqrt{f'c}$.
2. Sifat fisik beton variasi mutu sedang terhadap beton normal mutu sedang berdasarkan pengujian mendapatkan nilai penyerapan air minimum pada beton substitusi sebesar 1,830% pada variasi substitusi limbah bata ringan 2.5

%, dan nilai porositas beton minimum diperoleh nilai sebesar 3,876% pada variasi variasi substitusi limbah bata ringan 2.5 %.

3. Komposisi yang efektif pada campuran beton mutu sedang yang memenuhi dan mendekati target mutu beton rencana mutu sedang jika ditinjau dari sisi biaya penggunaan variasi substitusi parsial semen dengan kadar bubuk limbah bata ringan sebesar 7,5% dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* 0,7% dari berat semen. Sehingga beton mutu sedang dengan substitusi parsial semen dengan kadar bubuk limbah bata ringan dapat digunakan sebagai material elemen struktural pada bangunan. Secara umum, beton mutu sedang dengan substitusi parsial semen dengan kadar bubuk limbah bata ringan dapat digunakan sebagai material elemen struktur pada bangunan.
4. Penggunaan limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton mutu sedang berpengaruh terhadap penurunan *workability* adukan beton segar yang ditandai dengan penurunan nilai *slump* seiring penambahan kadar substitusi parsial semen. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* tidak membantu meningkatkan *workability* beton segar, sehingga tidak cocok digunakan sebagai bahan tambah limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen.

6.2. Saran

Adapun saran yang bisa disampaikan oleh penulis berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan untuk penelitian yang akan dilaksanakan selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan menggunakan penambahan bahan tambah jenis lainnya yang dapat meningkatkan *workability* adukan beton yang lebih baik agar didapatkan kepadatan beton mutu sedang yang maksimal serta hasil pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur, penyerapan air, dan porositas beton yang lebih baik serta hasil penelitian yang lebih akurat.
2. Penggunaan limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen dan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* tanpa mengurangi nilai faktor air semen dalam campuran beton perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

3. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan bubuk bata ringan yang lebih halus lagi dengan lolos saringan nomor 200 dengan lubang ayakan 0,075 mm untuk mendapatkan nilai hasil pengujian beton yang lebih baik lagi.



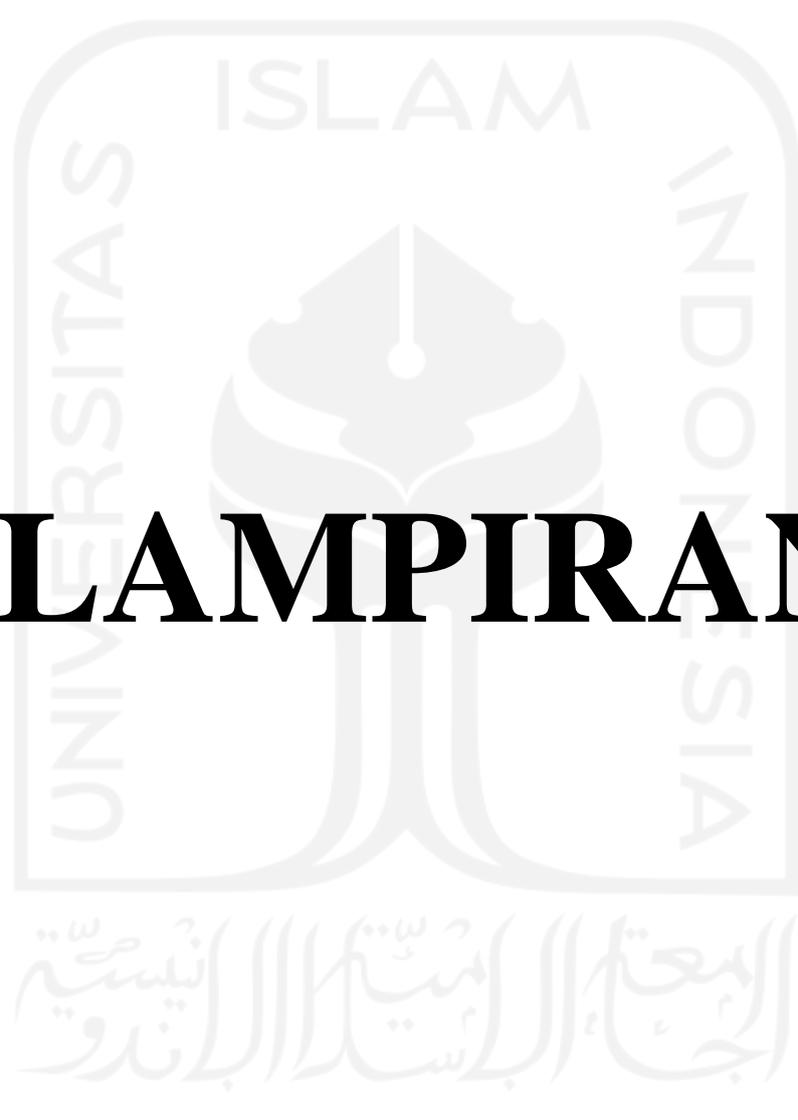
DAFTAR PUSTAKA

- Adhityatama, Y. Y. 2016. Analisis Pengaruh Penambahan Pecahan Bata Ringan Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.
- Andres, S. D. 1989. *Material of Construction Fourth Edition*. MCGraw-Hill. Singapore
- Antono, A., 1993. *Teknologi Beton*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- ASTM C 642-97. 1997. *Standart test Method of Density, Absorption, and Void's in Hardened Concrete*. United States.
- Badan Standarisasi Nasional. 1996. *SNI 03-4169-1996: Metode Pengujian Modulus Elastisitas dan Rasio Poison Beton Dengan Kompresor Ektensometer*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0129-2004: Semen Portland Putih*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0302-2004: Semen Portland pozolan*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-2049-2004: Semen Portland*. BSN. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-3500-2004: Semen Portland Campur*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-3758-2004: Semen Masonry*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-7064-2004: Semen Portland Komposit*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-1968-1990: Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-1970-1990: Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-2914-1992: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-4142-1996: Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-4804-1998: Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 03-6433-2000: Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan Dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 1972-2008: Cara Uji Slump Beton*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. BSN. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 2493-2011: Tata Cara Pembuatan Dan Peralatan Benda Uji Beton Di Laboratorium*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 6369-2008: Tata Cara Pembuatan Kaping Untuk Benda Uji Silinder Beton*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 7656-2012: Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI-03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. BSN. Jakarta.
- Cunradiana, M., Ndale, F.X., Suku., Y.L. 2020. Pengaruh penggunaan tepung bata ringan pada campuran beton terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. *Teknosiar*. Vol.14 No.01:2721-2270. Ende.
- Rommel, E., Wahyudi, Y., Dharmawan, R., 2015. Tinjauan Permeabilitas Dan Absorpsi Beton Dengan Menggunakan Bahan Fly Ash sebagai *Cementitious*. *Jurnal Media Teknik Sipil*. Volume 13 Nomor 2. Malang.
- Irawan, R.R. 2013. *Semen Portland di Indonesia untuk Aplikasi Beton Kinerja Tinggi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Jamal, M., Widiastuti, M., Anugrah, A. T. 2017. *Pengaruh Penggunaan Sikacim Additive Concrete Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halu Pasir Mahakam*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV. E-ISSN:2598-7429. Samarinda.
- Kurniawan, D.W., Ridwan, A., dan Cahyo, S.P.Y. 2020. Uji Kuat Tekan Dan Absorpsi Pada Beton Ringan Dengan Penambahan Limbah Bata Ringan Dan Bubuk Talek. *Jurmateks*. Vol.3 No.1:2621-7686. Kediri.
- McCormac, J. C. 2003. *Desain Beton Bertulang*. Erlangga. Jakarta.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.

- Ngabdurrochman. 2009. *Teknologi Beton Ringan*. Universitas Sains Al Qur'an. Wonosobo.
- Nugraha, P. dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Andi. Yogyakarta.
- Nurjanah., Nikmatul, N.L. 2020. Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Bata Merah dan Limbah Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Qua Teknika*. Vol.10 No.2:2088-2424. Blitar.
- Prayogo, D.H., Ridwan, A., Winarto. 2019. Pemanfaatan limbah gypsum board dan batu bata merah untuk substitusi semen pada pembuatan beton. *Jurmateks*. Vol.2 No.2:2621-7686. Kediri.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

The image features a large, faint watermark of the Universitas Islam Indonesia logo in the background. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized green and white symbol in the center, resembling a flame or a flower. The text 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' is written around the shield, and the Arabic name 'الجامعة الإسلامية الإندونيسية' is at the bottom. The word 'LAMPIRAN' is overlaid in the center in a bold, black, serif font.

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1969-1990)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Clereng Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kasar kering mutlak, gram (Bk)	4935	4937	4936
Berat agregat kasar kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat agregat kasar dalam air, gram (Ba)	3005	3003	3004
Berat jenis curah, $Bk / (Bj - Ba)$	2,473	2,472	2,4725
Berat jenis jenuh kering muka, $Bj / (Bj - Ba)$	2,506	2,503	2,5045
Berat jenis semu, $Bk / (Bk - Ba)$	2,557	2,552	2,5545
Penyerapan air, $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$, %	1,317	1,276	1,2965

Keterangan :

5000 : berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan, gram

Kesimpulan	Nilai berat jenis jenuh kering muka memenuhi persyaratan berada diantara 2,5–2,7
------------	--

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Diperiksa Oleh:



Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.2 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Clereng Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)		Rata-rata (%)
	Sampel		Sampel		Sampel		Sampel		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
40	0	0	0	0	0	0	100	100	100
20	1562	1603	31,24	32,06	31,24	32,06	68,76	67,94	68,35
10	2921	2893	58,42	57,86	89,66	89,92	10,34	10,08	10,21
4,8	442	416	8,84	8,32	98,50	98,24	1,5	1,76	1,63
2,4	58	61	1,16	1,22	99,66	99,46	0,34	0,54	0,44
1,2	2	6	0,04	0,12	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36
0,6	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36
0,3	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36
0,15	0	0	0	0	99,70	99,58	0,30	0,42	0,36
Pan	15	21	0,3	0,42	-	-	0	0	0
Jumlah	5000	5000	100	100	717,86	718			

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{(717,89 + 718) / 2}{100} = 7,1793$$

GRADASI KERIKIL

Ukuran Saringan	Persen Butir Agregat Lolos Saringan / Besar Butiran Maksimum :		
	10 mm	20 mm	40 mm
76,0			100 – 100
38,0		100 – 100	95 – 100
19,0	100 – 100	95 – 100	35 – 70
9,6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
4,8	0 – 10	0 – 10	0 – 5

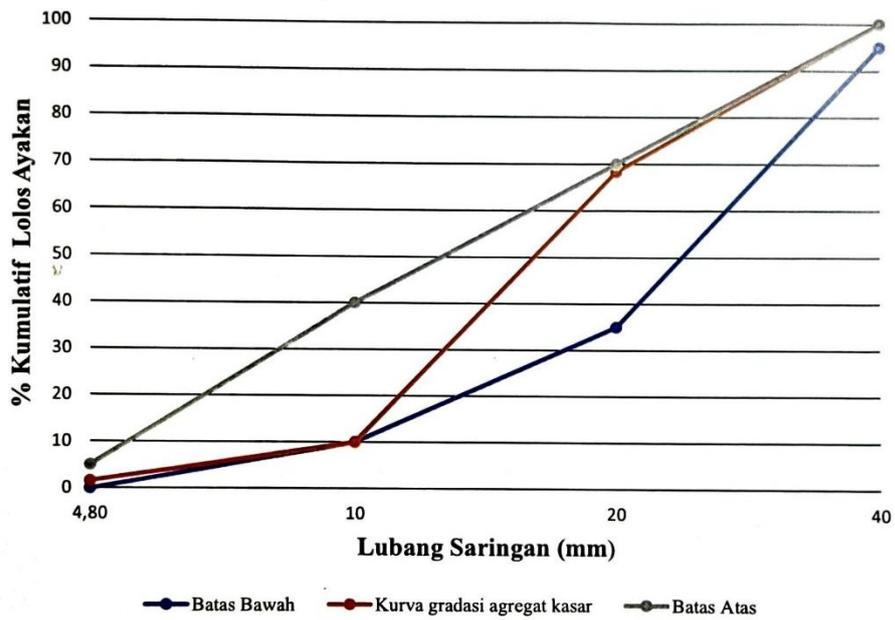
Lampiran 1.3 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Hasil Analisa Saringan:

- Ukuran Maksimum Kerikil : (40 mm)

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa Oleh:

[Signature]
 LABORATORIUM
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
S. Sutarna
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS JAMBI
 YOGYAKARTA

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

[Signature]
 Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.4 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

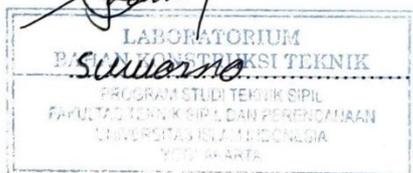
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR (SNI 03-4804-1998)

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Clereng Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	19300	19200
Berat agregat (W3), gram	6700	6650
Volume Silinder (V), cm ³	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = W3/V, gram/cm ³	1,247	1,239
Berat isi gembur rata – rata, gram/cm ³	1,243	

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.6 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	490	490
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	958	960	959
Berat piknometer berisi air, gram (B)	646	646	646
Berat jenis curah,(1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,606	2,634	2,62
Berat jenis jenuh kering muka,(2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,659	2,688	2,6735
Berat jenis semu,(3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,752	2,784	2,768
Penyerapan air,(4) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%, \%$	2,040	2,040	2,040

Keterangan :

500 : berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan, gram

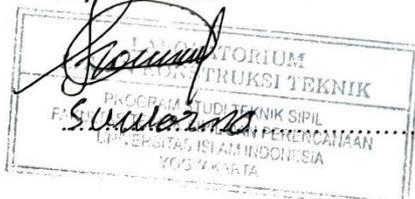
Kesimpulan	Nilai berat jenis jenuh kering muka memenuhi persyaratan berada diantara 2,5–2,7
------------	--

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Diperiksa Oleh:



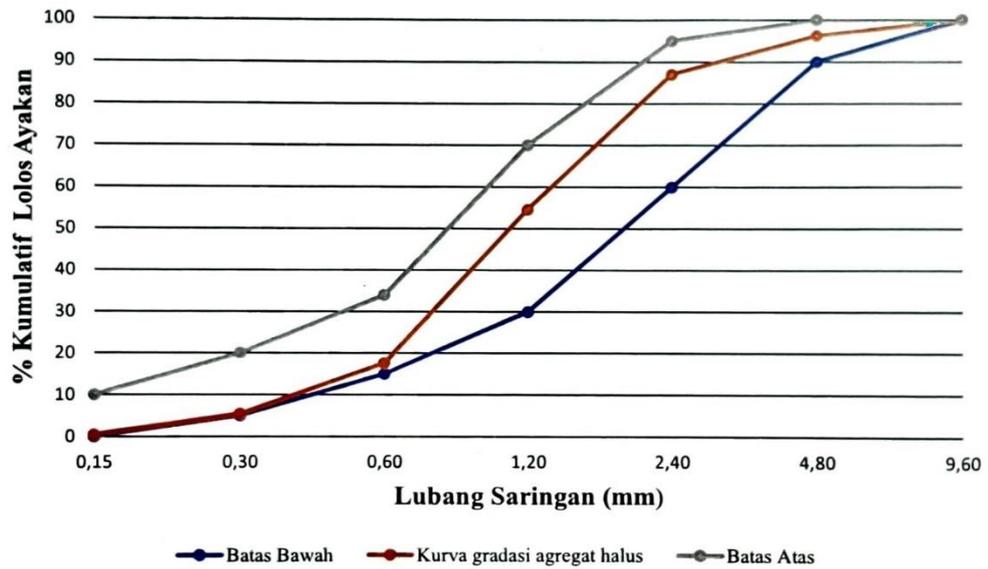
Lampiran 1.8 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir Masuk Daerah : (Daerah I)
- Jenis Pasir : Pasir Kasar

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa Oleh:

Suwarno
 LABORATORIUM
 TEKNIK KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS SEWU MANDONEDIA
 YOGYAKARTA

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto
 Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.9 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS (SNI 03-4804-1998)

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	19750	19600
Berat agregat (W3), gram	7150	7050
Volume Silinder (V), cm ³	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = W3/V, gram/cm ³	1,331	1,314
Berat isi gembur rata – rata, gram/cm ³	1,3225	

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.10 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

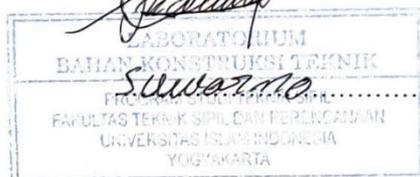
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat silinder (W1), gram	12600	12550
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	21100	20900
Berat agregat (W3), gram	8500	8350
Volume Silinder (V), cm ³	5372,359	5365,245
Berat isi gembur = $W3/V$, gram/cm ³	1,582	1,556
Berat isi gembur rata – rata, gram/cm ³	1,569	

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 1.11 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BUTIRAN LOLOS AYAKAN NO.200
/ UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
(SNI 03-4142-1996)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat halus kering mutlak (W1), gram	500	500
Berat Agregat halus setelah dicuci dan dioven (W2), gram	497	496
Berat lumpur (W3) = (W1-W2), gram	3	4
Kadar lumpur = $W3 \times 100\%$, %	0,60%	0,80%
Kadar lumpur rata-rata, %	0,70%	

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982), berat bagian yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mm):

- a. untuk pasir maksimum 5% (lima persen)
- b. untuk kerikil maksimum 1% (satu persen)

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Diperiksa Oleh:




Rahmat Adi Setianto

Lampiran 2.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan Campuran Beton (*Mix design*)

Metode perhitungan perencanaan campuran beton normal mutu sedang memakai metode SNI 03-2834-2000. Tahapan-tahapan perencanaan campuran beton dijabarkan sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton ($f'c$) rencana ditetapkan pada umur beton 28 hari.
Kuat tekan beton direncanakan sebesar 25 MPa pada umur 28 hari
2. Nilai deviasi standar (S) ditetapkan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 1 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Pergitungan deviasi standar didasarkan pada volume beton yang akan dibuat dan mutu pekerjaan. Dalam perencanaan campuran beton ini menggunakan nilai deviasi standar sebesar 7 MPa dengan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dianggap jelek, hal ini karena belum memiliki pengalaman sebelumnya.

3. Nilai tambah dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 M &= 1,64 \times S_r \\
 &= 1,64 \times 7 \\
 &= 11,48 \text{ MPa} \approx 12 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Kuat tekan rata-rata ditargetkan ($f'cr$) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 F'_{cr} &= f'c + M \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

5. Jenis semen yang ditetapkan adalah semen *portland* tipe I yang penggunaannya tidak mempunyai syarat khusus dan dapat dipakai pada pekerjaan konstruksi yang umum.
6. Jenis agregat halus yang dipakai adalah agregat alami, memakai pasir merapi. Untuk jenis agregat kasar yang dipakai adalah batu pecah merapi yang memiliki ukuran maksimal 40 mm.
7. Nilai faktor air semen ditentukan dengan memakai grafik “hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen” sebagai berikut.
 - a. Kekuatan tekan diperkirakan dari Tabel 2 diketahui dari jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji yang dipakai pada umur beton rencana didapaknya kekuatan tekan.

Tabel 2 Perkiraan Kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,5 dan agregat kasar yang dipakai di Indonesia

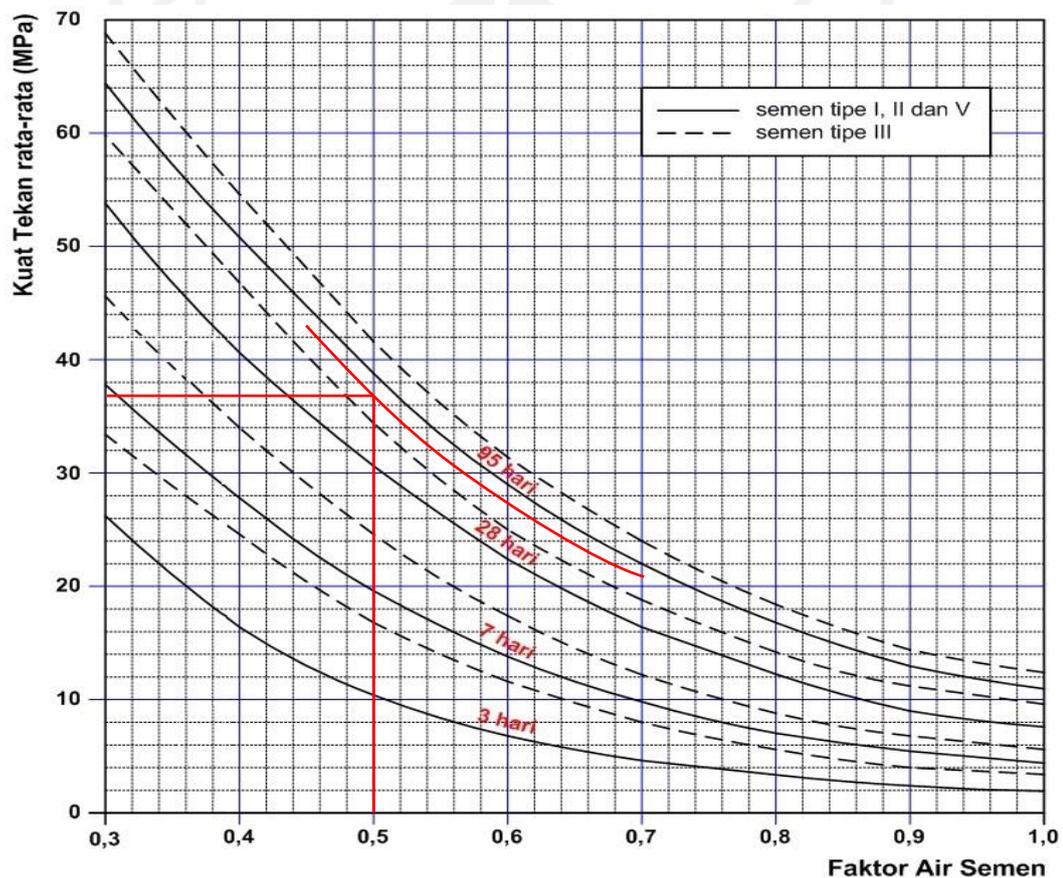
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	32	45	54	
Semen Portland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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel diatas diperoleh kekuatan tekan sebesar 37 MPa.

- b. Kemudian, lihat pada Gambar 1 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (fas) (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).

- c. Garis tegak lurus dibuat secara vertikal dengan nilai f_{as} 0,5 sesuai dengan tabel 2. Kemudian tarik garis secara horizontal dengan nilai kuat tekan beton silinder 37 MPa ke kanan sampai berpotongan dengan nilai f_{as} 0,5.
- d. Setelah berpotongan, lalu dibuat garis parabola baru secara proporsional sesuai dengan acuan parabola antara perpotongan garis.
- e. Ditarik secara horizontal dari f'_{cr} sebesar 37 MPa ke kanan sampai menyentuh garis kurva yang baru dibuat. Karena nilai kekuatan tekan dan f'_{cr} sama nilainya yaitu 37 MPa, maka pada perencanaan didapatkan nilai f_{as} bebas sebesar 0,5. Selengkapnya dilihat pada Gambar 1.



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

**Gambar 1 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-Rata dan Faktor Air Semen
(Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm x tinggi 300 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Nilai faktor air semen (fas) maksimum ditentukan menggunakan Tabel 3.

Tabel 3 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dan lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
c. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
d. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
c. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
d. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
c. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	327	0,55
d. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
c. Air tawar		
d. Air laut		Lihat Tabel 6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel diatas nilai faktor air semen (fas) maksimum diperoleh sebesar 0,6 dan jumlah semen minimum yang digunakan 325 kg/m³ yaitu lokasi beton di dalam ruangan dengan keadaan keliling non-korosif. Sehingga fas yang dipilih memiliki nilai yang terkecil yaitu 0,5.

9. Nilai *Slump*

Tinggi nilai *slump* perencanaan ditetapkan adalah sebesar 60-180 mm.

10. Ukuran Butir Maksimum Agregat

Ukuran butir maksimum agregat yang dipakai adalah sebesar 40 mm.

11. Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan dari Tabel 4 dengan acuan memakai data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan *slump* rencana.

Tabel 4 Perkiraan kadar air bebas per-meter kubik beton

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \left(\frac{2}{3} \times 175\right) + \left(\frac{1}{3} \times 205\right) \\
 &= 185 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai kadar air bebas diatas diperolehkan sebesar 185 kg/m³.

12. Kadar Semen

Jumlah kebutuhan semen dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{semen}} &= \frac{W_{\text{air}}}{f_{\text{as}}} \\
 &= \frac{185}{0,5} \\
 &= 370 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas dihasilkan jumlah kadar semen sebesar 370 kg.

13. Kadar semen maksimum

Dalam perencanaan penelitian ini, kadar semen maksimum tidak ditetapkan.

14. Kadar Semen Minimum

Kadar semen minimum telah ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada Tabel 3 yaitu kadar semen minimum 325 kg/m³.

15. Kadar semen yang digunakan

Kadar semen yang dipakai merupakan kadar semen yang paling besar, yaitu kadar semen yang didapatkan dari perhitungan fas dan kadar air bebas. Sehingga digunakan sebesar 370 kg/m^3 .

16. Faktor air semen disesuaikan

Faktor air semen yang disesuaikan dihitung bila terdapat perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi kadar semen maksimum atau minimum. *Mix design* ini tidak perlu adanya faktor air semen disesuaikan, yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan.

17. Susunan besar butir agregat halus

Susunan besar butir agregat halus merupakan daerah gradasi agregat halus, dari hasil pengujian gradasi didapatkan berada pada daerah Gradasi 2.

18. Berat jenis agregat

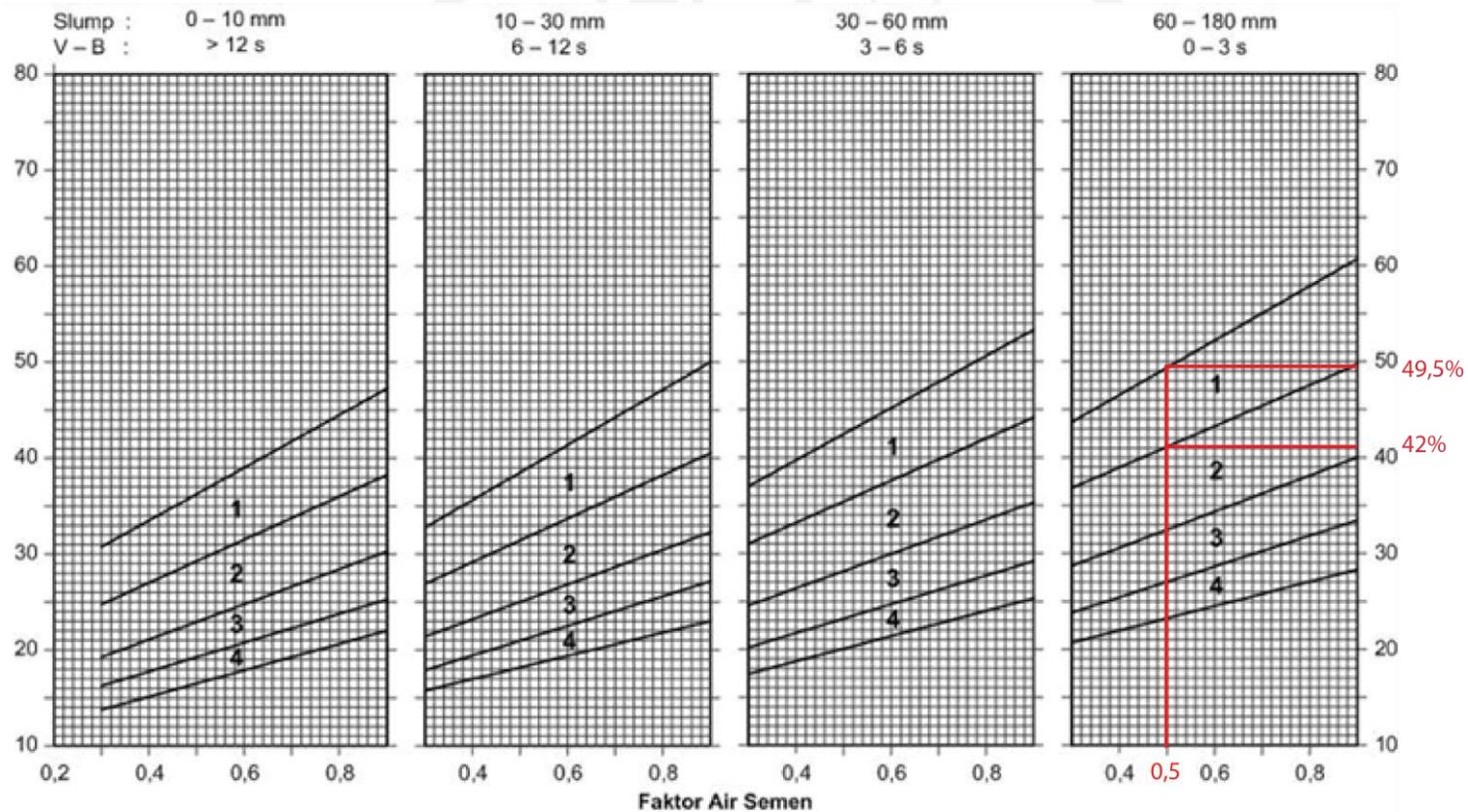
Berat jenis agregat kasar dan halus diperoleh dari hasil pengujian berat jenis. Diketahui berat jenisnya sebagai berikut.

- a. Berat jenis agregat halus = 2.673
- b. Berat jenis agregat kasar = 2.505

19. Persen Agregat Halus

Ditentukan melalui Gambar 2 persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm. Digunakan nilai fas 0,5, nilai *slump* 60–180 mm, dan daerah gradasi agregat halus pada gradasi 1, maka persen agregat halus dapat ditentukan. Dari grafik dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persen Agregat Halus} &= (\text{Batas bawah} + \text{Batas Atas}) / 2 \\
 &= (49,5\% + 42\%) / 2 \\
 &= 45,75\%
 \end{aligned}$$



Grafik 15: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

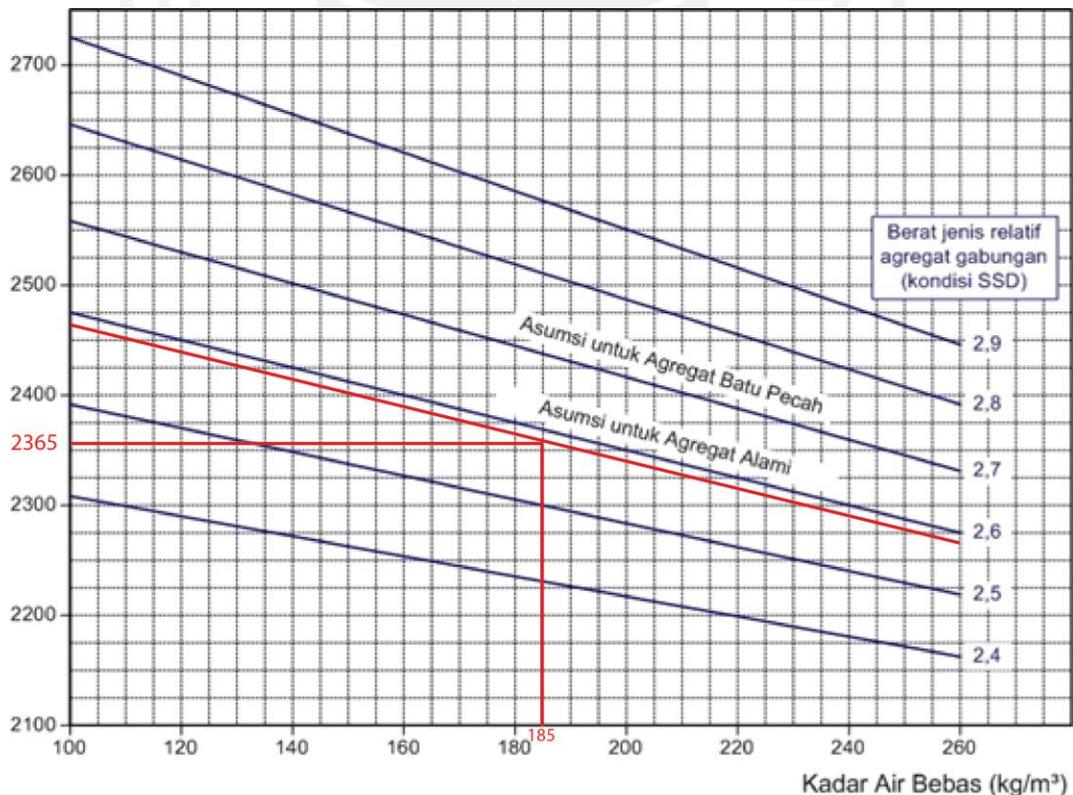
20. Berat jenis agregat (gabungan) SSD

Berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{BJ. Ag. Gab.} &= (\% \text{ Ag. halus} \times \text{BJ Ag. halus}) + (\% \text{ Ag. kasar} \times \text{BJ Ag. kasar}) \\ &= (45,75\% \times 2,673) + ((100\% - 45,75\%) \times 2,505) \\ &= 2,581 \end{aligned}$$

21. Berat isi beton

Berat isi beton rencana dapat ditentukan melalui Grafik 16. Pertama dibuat garis kurva berat jenis agregat gabungan 2,581 secara proporsional kemudian ditarik garis vertikal dari kadar air bebas 185 kg/m³ sampai menyentuh kurva BJ agregat gabungan yang baru dibuat. Lalu ditarik garis secara horizontal ke kiri dari perpotongan garis kadar air bebas dan BJ agregat gabungan. Sehingga diperoleh berat isi beton sebesar 2365 kg/m³.



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

22. Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dapat dihitung memakai persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Ag. Gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2365 - 370 - 185 \\ &= 1810 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

23. Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus dapat dihitung memakai persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat halus} &= \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar Ag. Gabungan} \\ &= 45,75\% \times 1810 \\ &= 828,075 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

24. Kadar Agregat Kasar

Kadar agregat kasar dapat dihitung memakai persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1810 - 828,075 \\ &= 981,925 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

25. Proporsi campuran beton sebagai berikut.

Proporsi setiap 1 m³:

- a. Semen Portland = 370 kg/m³
- b. Air = 185 kg/m³
- c. Agregat Halus = 828,075 kg/m³
- d. Agregat Kasar = 981,925 kg/m³

Kebutuhan volume setiap variasi campuran uji

Tabel 5 Volume Beton setiap campuran uji

Benda Uji	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Diameter (m)	Jumlah (Buah)	Volume (m ³)
Beton Silinder	-	-	0,3	0,15	3	0,0159
Beton Balok	0,4	0,1	0,1	-	3	0,012
Beton Kubus	0,15	0,15	0,15	-	3	0,010125
Total						0,038025

Proporsi setiap 0,038025 m³:

- a. Semen Portland = 14,069 kg

- b. Air = 7,034 kg
- c. Agregat Halus = 31,487 kg
- d. Agregat Kasar = 37,337 kg

26. Proporsi campuran beton dengan angka penyusutan 15% sebagai berikut.

Proporsi setiap 1 m³:

- a. Semen Portland = 425,5 kg/m³
- b. Air = 212,75 kg/m³
- c. Agregat Halus = 952,286 kg/m³
- d. Agregat Kasar = 1129,214 kg/m³

Proporsi setiap 0,038025 m³:

- a. Semen Portland = 16,179 kg
- b. Air = 8,089 kg
- c. Agregat Halus = 36,211 kg
- d. Agregat Kasar = 42,938 kg



Lampiran 2.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

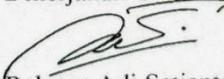
Formulir Perencanaan Campuran Beton Metode SNI (SNI 03-2834-2000)					
No.	Uraian	Tabel/Grafik/Perhitungan	Nilai		
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	25 MPa		
2	Deviasi Standar	Diketahui	7 MPa		
3	Nilai tambah (margin)		12 MPa		
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1 + 3	37 MPa		
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Portland Tipe I		
6	Jenis agregat: - Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah		
	- Halus	Ditetapkan	Alami		
7	Faktor air semen bebas		Tabel 2, Grafik 1, dan 2		
8	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,6		
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm		
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm		
11	Kadar air bebas	Tabel 3	185 kg/m ³		
12	Kadar semen	11 : 8	370 kg		
13	Kadar semen maksimum	Tidak ditetapkan	-		
14	Kadar semen minimum	Ditetapkan	325 kg		
15	Kadar Semen yang digunakan		370 kg		
16	Faktor air semen yang disesuaikan		0,5		
17	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	Gradasi 1		
18	Berat jenis agregat halus		2.673		
	Berat jenis agregat kasar		2.505		
19	Persentase agregat halus	Grafik 13 s/d 15	45,75%		
20	Berat jenis relatif agregat (gab.) SSD		2,581		
21	Berat isi beton	Grafik 16	2365 kg/m ³		
22	Kadar agregat gabungan	20 – 12 - 11	1810 kg/m ³		
23	Kadar agregat halus	18 x 21	828,075 kg/m ³		
24	Kadar agregat kasar	21 - 22	981,925 kg/m ³		
	Proporsi campuran				
		Semen	Air	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
		(kg)	(kg/lt)	Halus	Kasar
25	- Tiap m ³	370	185	828,075	981,925
	- Tiap campuran uji 0,038 m ³	14,069	7,034	31,487	37,337
26	Koreksi campuran dengan angka penyusutan 15%				
	Tiap 1 m ³	425,5	212,75	952,286	1129,214
	Tiap 0,038025 m ³	16,179	8,089	36,211	42,938

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER BETON

Pengirim : Rahmat Adi Setianto

Keperluan : Tugas Akhir

Alamat :

Dibuat Tanggal : 13 September 2021

Diuji Tanggal : 10 November 2021

Jumlah Benda Uji : 9

No.	Tanggal Pembuatan Benda Uji	Umur Benda Uji (hari)	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak Umur 28 Hari (MPa)	Kode Benda Uji
			Diameter (mm)	Tinggi (mm)						
1	13 Oktober 2021	28 hari	150,90	300,80	17884,15	12,64	2349,27	455,00	25,44	BK-S1
2	13 Oktober 2021	28 hari	150,10	300,70	17695,03	12,65	2377,42	460,00	26,00	BK-S2
3	13 Oktober 2021	28 hari	150,50	300,10	17789,46	12,63	2365,97	430,00	24,17	BK-S3
								Rerata	25,20	
1	13 Oktober 2021	28 hari	150,70	300,90	17836,78	12,56	2340,75	505,00	28,31	A1-S1
2	13 Oktober 2021	28 hari	150,10	310,20	17695,03	12,52	2280,38	490,00	27,69	A1-S2
3	13 Oktober 2021	28 hari	150,20	310,30	17718,61	12,70	2308,99	495,00	27,94	A1-S3
								Rerata	27,98	
1	13 Oktober 2021	28 hari	156,00	296,00	19113,45	12,48	2205,18	490,00	25,64	A2-S1
2	13 Oktober 2021	28 hari	150,20	294,20	17718,61	12,52	2402,54	480,00	27,09	A2-S2
3	13 Oktober 2021	28 hari	155,00	303,00	18869,19	12,41	2170,06	495,00	26,23	A2-S3
								Rerata	26,32	

Catatan:

Dikerjakan Oleh:


 Rahmat Adi Setianto

Yogyakarta,

Diperiksa Oleh:



Lampiran 3.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER BETON

Pengirim : Rahmat Adi Setianto

Keperluan : Tugas Akhir

Alamat :

Dibuat Tanggal : 14 September 2021

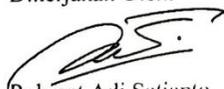
Diuji Tanggal : 11 November 2021

Jumlah Benda Uji : 9

No.	Tanggal Pembuatan Benda Uji	Umur Benda Uji (hari)	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak Umur 28 Hari (MPa)	Kode Benda Uji
			Diameter (mm)	Tinggi (mm)						
1	14 Oktober 2021	28 hari	150,40	299,60	17765,83	12,68	2382,46	485,00	27,30	A3-S1
2	14 Oktober 2021	28 hari	150,20	300,20	17718,61	12,73	2393,44	470,00	26,53	A3-S2
3	14 Oktober 2021	28 hari	149,40	302,50	17530,37	12,59	2373,59	420,00	23,96	A3-S3
								Rerata	25,93	
1	14 Oktober 2021	28 hari	151,20	300,30	17955,33	12,45	2308,43	430,00	23,95	A4-S1
2	14 Oktober 2021	28 hari	150,30	302,30	17742,22	12,78	2383,53	375,00	21,14	A4-S2
3	14 Oktober 2021	28 hari	150,60	298,10	17813,11	12,52	2357,02	470,00	26,39	A4-S3
								Rerata	23,82	
1	14 Oktober 2021	28 hari	149,40	303,90	17530,37	12,89	2420,28	395,00	22,53	A5-S1
2	14 Oktober 2021	28 hari	150,80	302,10	17860,46	12,46	2309,83	385,00	21,56	A5-S2
3	14 Oktober 2021	28 hari	151,50	320,00	18026,65	12,56	2178,02	390,00	21,63	A5-S3
								Rerata	21,91	

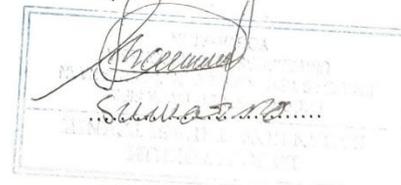
Catatan:

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto
.....

Yogyakarta,

Diperiksa Oleh:


.....

Lampiran 4.1 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 150,9 mm
• kode benda uji : BK-S1	Tinggi : 300,8 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	5	260	288	510	
20	12	270	304	520	
30	19	280	315	530	
40	24	290	330	540	
50	31	300	342	550	
60	42	310	358	560	
70	48	320	371	570	
80	56	330	390	580	
90	67	340	410	590	
100	80	350	431	600	
110	92	360	452	610	
120	102	370	480	620	
130	112	380	505	630	
140	120	390	530	640	
150	135	400	565	650	
160	148	410	605	660	
170	160	420	635	670	
180	178	430	670	680	
190	194	440	720	690	
200	207	450	785	700	
210	220	460	850	710	
220	235	470	980	720	
230	248	480	1050	730	
240	262	490		740	
250	275	500		750	

III. Kesimpulan

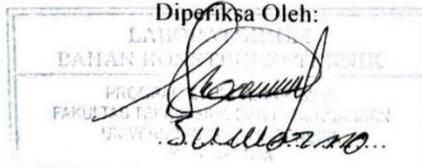
Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,9 mm
• kode benda uji : BK-S1	Tinggi	300,8 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	5	260	288	510	
20	12	270	304	520	
30	19	280	315	530	
40	24	290	330	540	
50	31	300	342	550	
60	42	310	358	560	
70	48	320	371	570	
80	56	330	390	580	
90	67	340	410	590	
100	80	350	431	600	
110	92	360	452	610	
120	102	370	480	620	
130	112	380	505	630	
140	120	390	530	640	
150	135	400	565	650	
160	148	410	605	660	
170	160	420	635	670	
180	178	430	670	680	
190	194	440	720	690	
200	207	450	785	700	
210	220	460	850	710	
220	235	470	980	720	
230	248	480	1050	730	
240	262	490		740	
250	275	500		750	

III. Kesimpulan

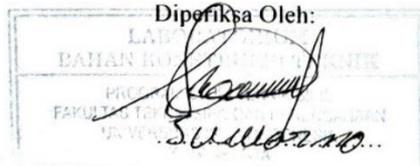
Kedaaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

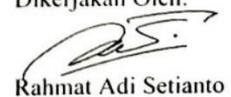
Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.3 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25 \text{ MPa}$

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,5 mm
• kode benda uji : BK-S3	Tinggi	300,1 mm

I. Hasil Pengujian

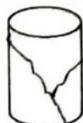
Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	7	260	291	510	
20	14	270	307	520	
30	21	280	318	530	
40	26	290	333	540	
50	33	300	345	550	
60	44	310	361	560	
70	50	320	374	570	
80	58	330	393	580	
90	69	340	413	590	
100	82	350	434	600	
110	94	360	455	610	
120	104	370	483	620	
130	114	380	508	630	
140	122	390	533	640	
150	137	400	568	650	
160	150	410	608	660	
170	162	420	638	670	
180	180	430	673	680	
190	196	440	723	690	
200	209	450	788	700	
210	222	460		710	
220	237	470		720	
230	250	480		730	
240	264	490		740	
250	277	500		750	

II. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: ~~sama~~ lebih banyak / lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori / padat

Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

II. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 150,7 mm
• kode benda uji : A1-S1	Tinggi : 300,9 mm

I. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	11	260	297	510	1268
20	16	270	314	520	1350
30	24	280	326	530	1420
40	33	290	347	540	
50	44	300	364	550	
60	53	310	399	560	
70	64	320	423	570	
80	72	330	434	580	
90	82	340	453	590	
100	95	350	466	600	
110	103	360	493	610	
120	114	370	517	620	
130	127	380	562	630	
140	135	390	581	640	
150	146	400	611	650	
160	163	410	633	660	
170	174	420	661	670	
180	185	430	687	680	
190	198	440	722	690	
200	212	450	764	700	
210	223	460	809	710	
220	244	470	848	720	
230	259	480	937	730	
240	271	490	1050	740	
250	285	500	1170	750	

II. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.5 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

III. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'_c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,1 mm
• kode benda uji : A1-S2	Tinggi	310,2 mm

I. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	13	260	319	510	1260
20	20	270	331	520	
30	32	280	352	530	
40	43	290	369	540	
50	53	300	404	550	
60	65	310	428	560	
70	77	320	439	570	
80	85	330	458	580	
90	97	340	471	590	
100	110	350	498	600	
110	123	360	522	610	
120	138	370	567	620	
130	150	380	586	630	
140	164	390	616	640	
150	179	400	638	650	
160	187	410	666	660	
170	198	420	692	670	
180	212	430	727	680	
190	225	440	769	690	
200	237	450	814	700	
210	249	460	853	710	
220	260	470	942	720	
230	275	480	1055	730	
240	288	490	1125	740	
250	305	500	1190	750	

II. Kesimpulan

Kedaaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

IV. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,2 mm
• kode benda uji : A1-S3	Tinggi	310,3 mm

V. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	8	260	293	510	1270
20	13	270	310	520	1350
30	21	280	322	530	
40	30	290	343	540	
50	41	300	360	550	
60	50	310	395	560	
70	61	320	419	570	
80	69	330	430	580	
90	79	340	449	590	
100	92	350	462	600	
110	102	360	489	610	
120	111	370	513	620	
130	124	380	558	630	
140	132	390	577	640	
150	143	400	607	650	
160	160	410	628	660	
170	171	420	656	670	
180	182	430	682	680	
190	195	440	717	690	
200	209	450	759	700	
210	219	460	804	710	
220	240	470	843	720	
230	255	480	932	730	
240	267	490	1045	740	
250	281	500	1165	750	

VI. Kesimpulan

Kedaaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	156 mm
• kode benda uji : A2-S1	Tinggi	296 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	9	260	311	510	
20	16	270	323	520	
30	28	280	344	530	
40	39	290	361	540	
50	49	300	396	550	
60	61	310	420	560	
70	73	320	431	570	
80	81	330	450	580	
90	93	340	463	590	
100	106	350	490	600	
110	119	360	514	610	
120	134	370	559	620	
130	146	380	578	630	
140	160	390	608	640	
150	175	400	630	650	
160	183	410	658	660	
170	194	420	684	670	
180	208	430	719	680	
190	221	440	761	690	
200	233	450	806	700	
210	242	460	845	710	
220	257	470	934	720	
230	269	480	1047	730	
240	283	490	1167	740	
250	297	500	1280	750	

III. Kesimpulan

Kedaaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 150,2 mm
• kode benda uji : A2-S2	Tinggi : 294,2 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	8	260	283	510	980
20	17	270	297	520	
30	30	280	315	530	
40	41	290	328	540	
50	53	300	342	550	
60	65	310	350	560	
70	78	320	365	570	
80	85	330	387	580	
90	98	340	408	590	
100	109	350	430	600	
110	118	360	455	610	
120	126	370	470	620	
130	133	380	487	630	
140	145	390	505	640	
150	159	400	530	650	
160	165	410	560	660	
170	178	420	590	670	
180	185	430	615	680	
190	198	440	640	690	
200	205	450	680	700	
210	215	460	710	710	
220	229	470	750	720	
230	240	480	790	730	
240	257	490	850	740	
250	270	500	895	750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.9 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 155 mm
• kode benda uji : A2-S3	Tinggi : 303 mm

II. Hasil Pengujian

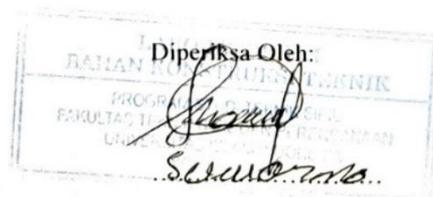
Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	7	260	303	510	1050
20	14	270	320	520	
30	24	280	335	530	
40	35	290	355	540	
50	48	300	375	550	
60	62	310	394	560	
70	71	320	410	570	
80	82	330	430	580	
90	95	340	455	590	
100	105	350	475	600	
110	112	360	490	610	
120	125	370	509	620	
130	138	380	525	630	
140	145	390	555	640	
150	155	400	580	650	
160	170	410	605	660	
170	181	420	530	670	
180	194	430	658	680	
190	202	440	680	690	
200	217	450	710	700	
210	228	460	770	710	
220	236	470	820	720	
230	248	480	850	730	
240	269	490	890	740	
250	285	500	960	750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.10 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,4 mm
• kode benda uji : A3-S1	Tinggi	299,6 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial	Beban KN	Pembacaan Dial	Beban KN	Pembacaan Dial
	Silinder		Silinder		Silinder
10	9	260	285	510	1240
20	14	270	305	520	
30	20	280	315	530	
40	28	290	335	540	
50	37	300	353	550	
60	48	310	367	560	
70	57	320	380	570	
80	65	330	402	580	
90	75	340	420	590	
100	82	350	433	600	
110	92	360	455	610	
120	103	370	470	620	
130	115	380	490	630	
140	125	390	515	640	
150	135	400	540	650	
160	147	410	580	660	
170	160	420	610	670	
180	177	430	645	680	
190	186	440	680	690	
200	203	450	714	700	
210	215	460	785	710	
220	225	470	830	720	
230	240	480	920	730	
240	257	490	1090	740	
250	270	500	1160	750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta.

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.11 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25 \text{ MPa}$

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 150.2 mm
• kode benda uji : A3-S2	Tinggi : 300.2 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	12	260	291	510	
20	17	270	311	520	
30	23	280	321	530	
40	31	290	341	540	
50	40	300	359	550	
60	51	310	373	560	
70	60	320	386	570	
80	68	330	408	580	
90	78	340	426	590	
100	85	350	439	600	
110	95	360	461	610	
120	106	370	476	620	
130	118	380	496	630	
140	128	390	526	640	
150	138	400	551	650	
160	150	410	591	660	
170	163	420	621	670	
180	180	430	656	680	
190	189	440	691	690	
200	206	450	725	700	
210	221	460	796	710	
220	231	470	841	720	
230	246	480	931	730	
240	263	490	1101	740	
250	276	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

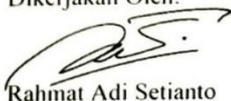
Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.12 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 149,4 mm
• kode benda uji : A3-S3	Tinggi : 302,5 mm

II. Hasil Pengujian

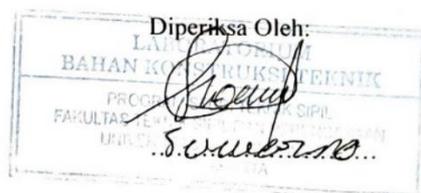
Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	8	260	298	510	
20	15	270	330	520	
30	26	280	350	530	
40	31	290	370	540	
50	38	300	390	550	
60	49	310	410	560	
70	55	320	431	570	
80	63	330	452	580	
90	74	340	480	590	
100	87	350	505	600	
110	99	360	535	610	
120	109	370	570	620	
130	119	380	620	630	
140	127	390	685	640	
150	142	400	735	650	
160	155	410	780	660	
170	167	420	810	670	
180	185	430	860	680	
190	201	440	925	690	
200	214	450		700	
210	227	460		710	
220	242	470		720	
230	255	480		730	
240	269	490		740	
250	282	500		750	

III. Kesimpulan

Kedaaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.13 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25 \text{ MPa}$

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 151,2 mm
• kode benda uji : A4-S1	Tinggi : 300,3 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	12	260	310	510	
20	19	270	342	520	
30	30	280	362	530	
40	35	290	382	540	
50	42	300	402	550	
60	53	310	422	560	
70	59	320	443	570	
80	67	330	464	580	
90	78	340	492	590	
100	91	350	517	600	
110	103	360	547	610	
120	113	370	582	620	
130	123	380	632	630	
140	131	390	697	640	
150	146	400	747	650	
160	159	410	792	660	
170	171	420	822	670	
180	189	430	872	680	
190	205	440	937	690	
200	218	450	1020	700	
210	231	460		710	
220	246	470		720	
230	259	480		730	
240	273	490		740	
250	286	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

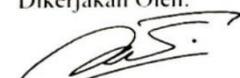
Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.14 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25 \text{ MPa}$

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,3 mm
• kode benda uji : A4-S2	Tinggi	302,3 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	5	260	345	510	
20	12	270	365	520	
30	23	280	385	530	
40	31	290	404	540	
50	40	300	425	550	
60	53	310	445	560	
70	64	320	468	570	
80	75	330	490	580	
90	85	340	520	590	
100	100	350	610	600	
110	115	360	720	610	
120	125	370	850	620	
130	136	380	970	630	
140	152	390	1050	640	
150	165	400		650	
160	175	410		660	
170	184	420		670	
180	198	430		680	
190	214	440		690	
200	230	450		700	
210	245	460		710	
220	264	470		720	
230	280	480		730	
240	310	490		740	
250	325	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.15 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter 150,6 mm
• kode benda uji : A4-S3	Tinggi 298,1 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial	Beban KN	Pembacaan Dial	Beban KN	Pembacaan Dial
	Silinder		Silinder		Silinder
10	5	260	295	510	
20	11	270	311	520	
30	18	280	322	530	
40	28	290	337	540	
50	35	300	349	550	
60	46	310	365	560	
70	52	320	378	570	
80	60	330	397	580	
90	71	340	417	590	
100	84	350	438	600	
110	96	360	459	610	
120	106	370	487	620	
130	116	380	512	630	
140	124	390	537	640	
150	139	400	572	650	
160	152	410	612	660	
170	164	420	642	670	
180	182	430	677	680	
190	198	440	727	690	
200	209	450	792	700	
210	224	460	857	710	
220	239	470	987	720	
230	252	480	1040	730	
240	266	490		740	
250	279	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 149,4 mm
• kode benda uji : A5-S1	Tinggi : 303,9 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	7	260	285	510	
20	15	270	310	520	
30	25	280	330	530	
40	35	290	355	540	
50	45	300	381	550	
60	58	310	408	560	
70	68	320	425	570	
80	75	330	440	580	
90	87	340	470	590	
100	98	350	530	600	
110	110	360	570	610	
120	118	370	610	620	
130	127	380	655	630	
140	138	390	720	640	
150	149	400	840	650	
160	155	410	950	660	
170	164	420		670	
180	175	430		680	
190	186	440		690	
200	198	450		700	
210	208	460		710	
220	219	470		720	
230	230	480		730	
240	250	490		740	
250	265	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto
Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.17 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder	
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter	150,8 mm
• kode benda uji : A5-S2	Tinggi	302,1 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	13	260	425	510	
20	21	270	448	520	
30	26	280	470	530	
40	35	290	493	540	
50	41	300	510	550	
60	49	310	528	560	
70	57	320	560	570	
80	65	330	595	580	
90	75	340	620	590	
100	87	350	655	600	
110	98	360	675	610	
120	105	370	735	620	
130	115	380	770	630	
140	130	390	830	640	
150	143	400	880	650	
160	158	410	950	660	
170	172	420		670	
180	185	430		680	
190	199	440		690	
200	215	450		700	
210	235	460		710	
220	355	470		720	
230	372	480		730	
240	391	490		740	
250	410	500		750	

III. Kesimpulan

Keadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

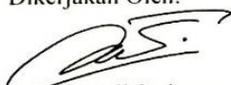
Sket Benda uji



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 4.18 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

UJI DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

• dibuat tanggal : 13 September 2021	• dimensi benda uji silinder
• diuji tanggal : 10 November 2021	Diameter : 151,5 mm
• kode benda uji : A5-S3	Tinggi : 320 mm

II. Hasil Pengujian

Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder	Beban KN	Pembacaan Dial Silinder
10	5	260	290	510	
20	13	270	315	520	
30	23	280	335	530	
40	33	290	360	540	
50	43	300	386	550	
60	56	310	413	560	
70	66	320	327	570	
80	73	330	445	580	
90	85	340	475	590	
100	96	350	535	600	
110	108	360	575	610	
120	116	370	615	620	
130	125	380	660	630	
140	136	390	725	640	
150	147	400	845	650	
160	153	410	960	660	
170	162	420	1050	670	
180	173	430		680	
190	184	440		690	
200	196	450		700	
210	206	460		710	
220	224	470		720	
230	235	480		730	
240	255	490		740	
250	270	500		750	

III. Kesimpulan

Kadaan bidang pecah:

- Jumlah kerikil yang lepas dengan yang pecah: sama/lebih banyak/lebih sedikit
- Kerikil yang pecah: berpori/padat

Sket Benda uji



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.1 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14.4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON
(Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik)
(SNI 4431:2011)**

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

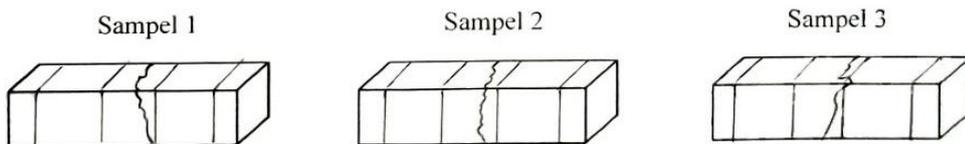
Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : BK

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	105,30	99,00	99,90
2	Tinggi benda uji	mm	97,90	100,80	100,80
3	Panjang benda uji	mm	400,70	399,40	401,30
4	Berat benda uji	kg	9,550	9,359	9,306
5	Berat volume	kg/m ³	2311,92	2348,15	2302,86
6	Panjang bentang	mm	392,70	391,40	393,30
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	160,35	159,70	160,65
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	160,35	159,70	160,65
9	Jarak P1 - P2	mm	320,70	319,40	321,30
10	Beban maksimum	kgf	1285,00	1240,00	1290,00
11	Beban maksimum	N	12601,55	12160,25	12650,58
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	142,00	126,00	108,00
13	Lebar tampang patah	mm	103,00	101,00	103,00
14	Tinggi tampang patah	mm	102,00	103,00	104,00
15	Kuat lentur	MPa	3,77	3,62	3,65
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,68		

III. Sket benda uji

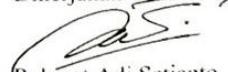


Yogyakarta,

Diperiksa Oleh:



Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON (Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik) (SNI 4431:2011)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A1

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	96,10	102,20	100,60
2	Tinggi benda uji	mm	99,40	103,30	100,20
3	Panjang benda uji	mm	400,30	401,40	400,10
4	Berat benda uji	kg	9,166	9,522	9,287
5	Berat volume	kg/m ³	2397,09	2246,98	2302,72
6	Panjang bentang	mm	392,30	393,40	392,10
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	160,15	160,70	160,05
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	160,15	160,70	160,05
9	Jarak P1 - P2	mm	320,30	321,40	320,10
10	Beban maksimum	kgf	1325,00	1305,00	1292,50
11	Beban maksimum	N	12993,81	12797,68	12675,10
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	132,00	116,00	141,00
13	Lebar tampang patah	mm	103,00	104,00	103,00
14	Tinggi tampang patah	mm	101,00	104,00	102,00
15	Kuat lentur	MPa	3,96	3,66	3,79
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,80		

III. Sket benda uji

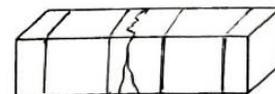
Sampel 1



Sampel 2



Sampel 3



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON (Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik) (SNI 4431:2011)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f_c = 25$ MPa

Benda Uji:

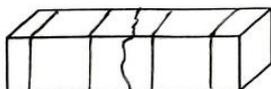
- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A2

II. Hasil Pengujian

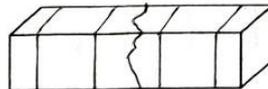
No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	100,20	101,40	100,60
2	Tinggi benda uji	mm	102,10	103,10	100,20
3	Panjang benda uji	mm	401,20	403,10	401,00
4	Berat benda uji	kg	9,55	9,76	9,29
5	Berat volume	kg/m ³	2326,75	2316,72	2297,55
6	Panjang bentang	mm	393,20	395,10	393,00
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	160,60	161,55	160,50
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	160,60	161,55	160,50
9	Jarak P1 - P2	mm	321,20	323,10	321,00
10	Beban maksimum	kgf	1275,00	1310,00	1255,00
11	Beban maksimum	N	12503,48	12846,71	12307,35
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	13,00	125,00	143,00
13	Lebar tampang patah	mm	102,00	102,00	102,00
14	Tinggi tampang patah	mm	104,00	104,00	102,00
15	Kuat lentur	MPa	3,64	3,76	3,72
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,71		

III. Sket benda uji

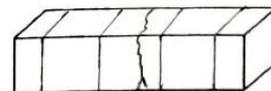
Sampel 1



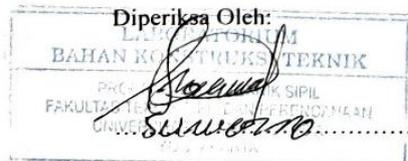
Sampel 2



Sampel 3



Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto
Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON
(Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik)
(SNI 4431:2011)**

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

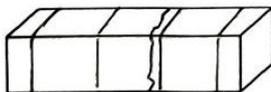
- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A3

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	101,70	99,20	101,20
2	Tinggi benda uji	mm	100,60	103,40	100,10
3	Panjang benda uji	mm	397,50	398,30	379,50
4	Berat benda uji	kg	9,31	9,48	8,84
5	Berat volume	kg/m ³	2290,24	2320,91	2299,20
6	Panjang bentang	mm	389,50	390,30	371,50
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	158,75	159,15	149,75
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	158,75	159,15	149,75
9	Jarak P1 - P2	mm	317,50	318,30	299,50
10	Beban maksimum	kgf	1230,00	1295,00	1335,00
11	Beban maksimum	N	12062,18	12699,61	13091,88
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	122,00	126,00	142,00
13	Lebar tampang patah	mm	105,00	101,00	104,00
14	Tinggi tampang patah	mm	101,00	103,00	103,00
15	Kuat lentur	MPa	3,58	3,77	3,55
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,63		

IV. Sket benda uji

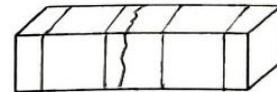
Sampel 1



Sampel 2



Sampel 3



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto
Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON
(Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik)
(SNI 4431:2011)**

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

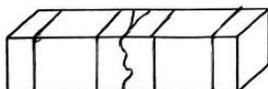
- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A4

II. Hasil Pengujian

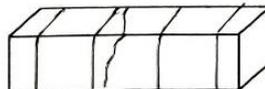
No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	101,60	98,40	100,40
2	Tinggi benda uji	mm	103,10	100,90	102,40
3	Panjang benda uji	mm	396,50	380,10	382,80
4	Berat benda uji	kg	9,54	8,91	8,80
5	Berat volume	kg/m ³	2296,96	2360,46	2236,79
6	Panjang bentang	mm	388,50	372,10	374,80
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	158,25	150,05	151,40
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	158,25	150,05	151,40
9	Jarak P1 - P2	mm	316,50	300,10	302,80
10	Beban maksimum	kgf	1295,00	1270,00	1210,00
11	Beban maksimum	N	12699,61	12454,45	11866,05
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	148,00	121,00	135,00
13	Lebar tampang patah	mm	104,00	100,00	103,00
14	Tinggi tampang patah	mm	105,50	103,00	106,00
15	Kuat lentur	MPa	3,47	3,52	3,10
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,37		

III. Sket benda uji

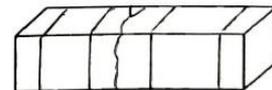
Sampel 1



Sampel 2



Sampel 3



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 5.6 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON
(Gelagar Sederhana Sistem Pembebanan Dua Titik)
(SNI 4431:2011)**

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f_c = 25$ MPa

Benda Uji:

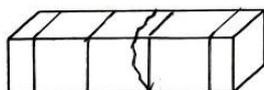
- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A5

II. Hasil Pengujian

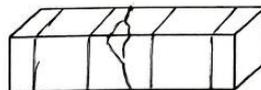
No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	100,20	100,40	100,50
2	Tinggi benda uji	mm	103,10	103,20	100,80
3	Panjang benda uji	mm	399,00	401,20	398,00
4	Berat benda uji	kg	9,22	9,61	9,11
5	Berat volume	kg/m ³	2236,10	2311,31	2260,47
6	Panjang bentang	mm	391,00	393,20	390,00
7	Jarak P1 ke tumpuan 1	mm	159,50	160,60	159,00
8	Jarak P2 ke tumpuan 2	mm	159,50	160,60	159,00
9	Jarak P1 - P2	mm	319,00	321,20	318,00
10	Beban maksimum	kgf	1175,00	1140,00	1190,00
11	Beban maksimum	N	11522,81	11179,58	11669,91
12	Jarak bidang patah ke tumpuan terdekat	mm	148,00	142,00	125,00
13	Lebar tampang patah	mm	103,00	105,00	106,00
14	Tinggi tampang patah	mm	102,00	106,00	107,00
15	Kuat lentur	MPa	3,43	3,04	3,06
16	Kuat lentur rata-rata	MPa	3,18		

III. Sket benda uji

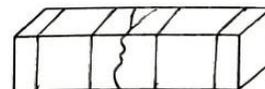
Sampel 1



Sampel 2



Sampel 3



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.7 Hasil Pengujian Penyerapan Air



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : BK

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,160	15,130	14,810
2	Tinggi benda uji	mm	15,120	15,120	15,190
3	Panjang benda uji	mm	15,180	15,130	15,110
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,950	7,949	7,824
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	8,164	8,223	7,974
6	Penyerapan air dalam beton	%	2,692	3,447	1,917
7	Penyerapan air rata-rata	%	2,685		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.8 Hasil Pengujian Penyerapan Air



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

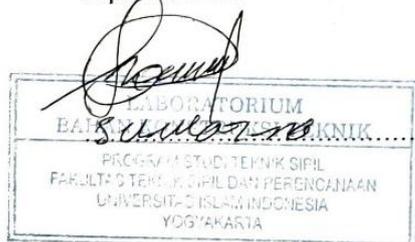
Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A1

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,170	14,790	14,920
2	Tinggi benda uji	mm	15,150	15,180	15,090
3	Panjang benda uji	mm	15,030	15,060	15,030
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,942	7,931	7,741
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	8,174	8,087	7,885
6	Penyerapan air dalam beton	%	2,921	1,967	1,860
7	Penyerapan air rata-rata	%	2,249		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.9 Hasil Pengujian Penyerapan Air



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A2

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,140	15,130	14,980
2	Tinggi benda uji	mm	15,130	15,140	15,110
3	Panjang benda uji	mm	15,110	15,050	15,220
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,784	8,008	7,995
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	8,019	8,218	8,161
6	Penyerapan air dalam beton	%	3,019	2,622	2,076
7	Penyerapan air rata-rata	%	2,573		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.10 Hasil Pengujian Penyerapan Air



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A3

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,130	15,270	15,160
2	Tinggi benda uji	mm	15,120	15,050	15,190
3	Panjang benda uji	mm	15,090	14,830	15,130
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,804	7,513	7,724
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	8,061	7,803	7,977
6	Penyerapan air dalam beton	%	3,293	3,860	3,276
7	Penyerapan air rata-rata	%	3,476		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.11 Hasil Pengujian Penyerapan Air



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A4

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,180	15,270	15,020
2	Tinggi benda uji	mm	14,840	15,110	15,220
3	Panjang benda uji	mm	15,180	15,150	15,130
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,447	7,781	7,552
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	7,857	8,139	7,756
6	Penyerapan air dalam beton	%	5,506	4,601	2,701
7	Penyerapan air rata-rata	%	4,269		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 6.12 Hasil Pengujian Penyerapan Air



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN PENYERAPAN AIR DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

III. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A5

IV. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,010	15,270	15,180
2	Tinggi benda uji	mm	15,050	15,140	15,110
3	Panjang benda uji	mm	15,160	14,880	14,840
4	Berat Benda uji kering tungku	Kg	7,778	7,336	7,867
5	Berat Benda uji setelah direndam	Kg	7,969	7,854	8,216
6	Penyerapan air dalam beton	%	2,456	7,061	4,436
7	Penyerapan air rata-rata	%	4,651		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.13 Hasil Pengujian Porositas Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : BK

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,160	15,130	14,810
2	Tinggi benda uji	mm	15,120	15,120	15,190
3	Panjang benda uji	mm	15,180	15,130	15,110
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,950	7,949	7,824
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	8,164	8,223	1,917
6	Berat benda uji dalam air	Kg	4,188	4,036	3,760
7	Porositas dalam beton	%	5,382	6,544	3,760
8	Porositas rata-rata	%	5,229		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.14 Hasil Pengujian Porositas Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A1

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,170	14,790	14,920
2	Tinggi benda uji	mm	15,150	15,180	15,090
3	Panjang benda uji	mm	15,030	15,060	15,030
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,942	7,931	7,741
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	8,174	8,087	7,885
6	Berat benda uji dalam air	Kg	4,164	4,236	4,685
7	Porositas dalam beton	%	5,786	4,051	4,202
8	Porositas rata-rata	%	4,679		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.15 Hasil Pengujian Porositas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 13 September 2021
- diuji tanggal : 10 November 2021
- kode benda uji : A2

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,140	15,130	14,980
2	Tinggi benda uji	mm	15,130	15,140	15,110
3	Panjang benda uji	mm	15,110	15,050	15,220
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,784	8,008	7,995
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	8,019	8,218	8,161
6	Berat benda uji dalam air	Kg	4,387	4,173	4,685
7	Porositas dalam beton	%	6,470	5,192	4,776
8	Porositas rata-rata	%	5,479		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.16 Hasil Pengujian Porositas Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A3

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,130	15,270	15,160
2	Tinggi benda uji	mm	15,120	15,050	15,190
3	Panjang benda uji	mm	15,090	14,830	15,130
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,804	7,513	7,724
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	8,061	7,803	7,977
6	Berat benda uji dalam air	Kg	4,141	4,249	4,337
7	Porositas dalam beton	%	6,556	8,160	6,951
8	Porositas rata-rata	%	7,222		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:

Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.17 Hasil Pengujian Porositas Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A4

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,180	15,270	15,020
2	Tinggi benda uji	mm	14,840	15,110	15,220
3	Panjang benda uji	mm	15,180	15,150	15,130
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,447	7,781	7,552
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	7,857	8,139	7,756
6	Berat benda uji dalam air	Kg	3,821	4,275	4,064
7	Porositas dalam beton	%	10,159	9,265	5,525
8	Porositas rata-rata	%	8,316		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.18 Hasil Pengujian Porositas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN POROSITAS DALAM BETON KERAS (SNI 03-6433-2000)

I. Data Benda Uji

Mutu Beton Rencana $f'c = 25$ MPa

Benda Uji:

- dibuat tanggal : 14 September 2021
- diuji tanggal : 11 November 2021
- kode benda uji : A5

II. Hasil Pengujian

No.	Uraian	Satuan	Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Lebar benda uji	mm	15,010	15,270	15,180
2	Tinggi benda uji	mm	15,050	15,140	15,110
3	Panjang benda uji	mm	15,160	14,880	14,840
4	Berat benda uji kering tungku	Kg	7,778	7,336	7,867
5	Berat benda uji jenuh kering muka	Kg	7,969	7,854	8,216
6	Berat benda uji dalam air	Kg	4,578	4,092	4,185
7	Porositas dalam beton	%	5,633	13,769	8,658
8	Porositas rata-rata	%	9,353		

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto

Lampiran 7.19 Hasil Pengujian Porositas Beton



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1969-1990)**

Pengirim	Rahmat Adi Setianto
Tanggal Terima	1 Oktober 2021
Asal Agregat	Clereng Kulon Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kasar kering mutlak, gram (Bk)	4935	4937	4936
Berat agregat kasar kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat agregat kasar dalam air, gram (Ba)	3005	3003	3004
Berat jenis curah, $Bk / (Bj - Ba)$	2,473	2,472	2,4725
Berat jenis jenuh kering muka, $Bj / (Bj - Ba)$	2,506	2,503	2,5045
Berat jenis semu, $Bk / (Bk - Ba)$	2,557	2,552	2,5545
Penyerapan air, $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$, %	1,317	1,276	1,2965

Keterangan :

5000 : berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan, gram

Kesimpulan	Nilai berat jenis jenuh kering muka memenuhi persyaratan berada diantara 2,5–2,7
------------	--

Diperiksa Oleh:



Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh:


Rahmat Adi Setianto