

TUGAS AKHIR

**POTENSI ABU SEKAM PADI (ASP) DAN KAPUR SEBAGAI *MATERIAL*
POZZOLAN PENGGANTI SEMEN KESELURUHAN TERHADAP KUAT
LENTUR BETON
(Studi Penelitian)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

FADLY FATURAHMAN

1807210086



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

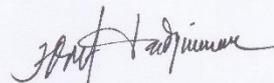
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fadly Faturahman
NPM : 1807210086
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Potensi Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur Sebagai
Material Pozzolan Pengganti Semen Keseluruhan
Terhadap Kuat Lentur Beton
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 29 September 2022

Dosen Pembimbing



Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

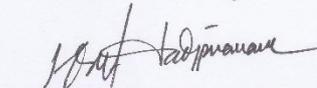
Nama : Fadly Faturahman
NPM : 1807210086
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Potensi Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur Sebagai
Material Pozzolan Pengganti Semen Keseluruhan
Terhadap Kuat Lentur Beton
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 September 2022

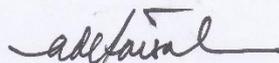
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc

Dosen Pembanding I



Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc

Dosen Pembanding II



Rizki Efrida S.T., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fadly Faturahman
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 06 Oktober 2000
NPM : 1807210086
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul “Potensi Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur Sebagai *Material Pozzolan* Pengganti Semen Keseluruhan Terhadap Kuat Lentur Beton”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan ketulisan/keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 September 2022

Saya yang menyatakan


Fadly Faturahman

ABSTRAK

POTENSI ABU SEKAM PADI (ASP) DAN KAPUR SEBAGAI *MATERIAL POZZOLAN* PENGGANTI SEMEN KESELURUHAN TERHADAP KUAT LENTUR BETON (Studi Penelitian)

Fadly Faturahman

1807210086

Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc

Seiring berkembangnya era yang semakin maju, manusia dituntut untuk lebih kreatif dan inovatif dalam mengembangkan teknologi yang ada. Bahan kapur dan abu sekam padi ini dilakukan untuk memperoleh suatu bahan *alternatif* yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton dengan biaya yang lebih murah dan mutu yang baik. Abu sekam padi mempunyai sifat mengandung senyawa kimia yang bersifat *pozzolan*, mengandung silika (SiO_2). Penelitian ini bertujuan mengetahui kuat tekan dan kuat lentur pada beton campuran kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen pada umur beton 28 hari. Persentase penggunaan kapur dan abu sekam padi dalam penelitian ini adalah Ca 50%, 70%, 80% dan ASP 50%, 30%, 20% sebagai bahan pengganti semen. Penelitian ini menggunakan benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm dan benda uji balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm, dengan sampel 8 buah beton untuk pengujian kuat tekan, dengan sampel 12 buah beton untuk pengujian kuat lentur. Pengujian yang dilakukan pada campuran beton adalah kuat tekan dan kuat lentur. Dari hasil penelitian diperoleh kuat tekan rata-rata BN (0%) = 26,39 MPa, BC-2 (50%+50%) = 2,26 MPa, BC-4 (70%+30%) = 1,79 MPa, BC-6 (80%+20%) = 1,70 MPa dan pengujian kuat lentur rata-rata yaitu BN (0%) = 4,04 MPa, B-1 (50%+50%) = 1,18 MPa, C-1 (70%+30%) = 0,95 MPa, D-1(80%+20%) = 0,63 MPa. Berdasarkan hasil yang di dapat menjelaskan bahwa beton dengan bahan Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen tidak dapat menaikkan kuat tekan dan kuat lentur beton. Hal ini dikarenakan Ca dan ASP tidak bisa digunakan menjadi bahan pengganti semen keseluruhan.

Kata kunci: Beton Campuran Kapur dan Abu Sekam Padi Pengganti Semen, Kuat Tekan Beton, Kuat Lentur Beton.

ABSTRACT

POTENTIAL OF RICE HUSK ASH (ASP) AND LIME AS POZZOLAN MATERIALS FOR COMPLETE CEMENT REPLACEMENT ON THE FLEXIBLE STRENGTH OF CONCRETE (Research Studies)

Fadly Faturahman
1807210086

Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc

Along with the development of an increasingly advanced era, humans are required to be more creative and innovative in developing existing technology. This lime and rice husk ash material is carried out to obtain an alternative material that can be used as a substitute for cement in concrete mixtures with lower costs and good quality. Rice husk ash has the properties of containing chemical compounds that are pozzolanic, containing silica (S_iO_2). This study aims to determine the compressive strength and flexural strength of the concrete mixture of lime and rice husk ash as a substitute for cement at the age of 28 days of concrete. The percentage of use of lime and rice husk ash in this study was Ca 50%, 70%, 80% and ASP 50%, 30%, 20% as a cement substitute. This study uses a cylindrical specimen with a size of 15 cm x 30 cm and a beam test object with a size of 60 cm x 15 cm x 15 cm, with a sample of 8 pieces of concrete for compressive strength testing, with a sample of 12 pieces of concrete for flexural strength testing. The tests carried out on the concrete mixture were the compressive strength and flexural strength. From the research results, the average compressive strength of BN (0%) = 26.39 MPa, BC-2 (50%+50%) = 2.26 MPa, BC-4 (70%+30%) = 1.79 MPa, BC-6 (80%+20%) = 1.70 MPa and the average flexural strength test is BN (0%) = 4.04 MPa, B-1 (50%+50%) = 1.18 MPa, C-1 (70%+30%) = 0.95 MPa, D-1(80%+20%) = 0.63 MPa. Based on the results, it can be explained that concrete with Ca and ASP materials as a substitute for cement cannot increase the compressive strength and flexural strength of concrete. This is because Ca and ASP cannot be used as a substitute for whole cement.

Keywords: Concrete Mixed Lime and Rice Husk Ash for Cement Replacement, Concrete Compressive Strength, Concrete Flexural Strength.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Potensi Abu Sekam Padi (ASP) dan Kapur Sebagai *Material Pozzolan* Pengganti Semen Keseluruhan Terhadap Kuat Lentur Beton” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Dekan Satu Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Saptono dan Marliasih, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman-teman seperjuangan penulis dalam menyelesaikan skripsi, M. Fadhil Azhari, Vicky Tuah Ananda, Bobby Ayu Diwa, Siti Annisa Samosir, Annisa Eka Santi dan Oktazanah Putri
10. Rekan-rekan seperjuangan kelas A2 Siang Teknik Sipil Stambuk 2018 terutama yaitu, Vicky Tuah Ananda, M. Fadhil Azhari, Qafrawi Iqram, M. Iqbal Prasetya, Fadly Fadillah Nst, Syahril Amin Panjaitan, Taupik Hidayat, Arif Prakoso, Raihana Khalisa, Rusdi Makmur Selian, Syahril Ramadhan dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 29 September 2022

Penulis



Fadly Faturahman
NPM.1807210086

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGHANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Pembahasan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum	6
2.2. Material Pembentuk Campuran Beton	6
2.2.1. Semen	7
2.2.2. Agregat Kasar	8
2.2.3. Agregat Halus	10
2.2.4. Air	13
2.3. Abu Sekam Padi	14
2.4. Kapur	16
2.5. <i>Slump Test</i>	18

2.6. Pengujian Kuat Tekan Beton	19
2.7. Pengujian Kuat Lentur Beton	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Metode Penelitian	21
3.2. Tahapan Penelitian	22
3.3. Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.4. Bahan dan Peralatan	25
3.4.1. Bahan	25
3.4.2. Peralatan	26
3.5. Persiapan Penelitian	28
3.6. Pemeriksaan Agregat	28
3.6.1. Pemeriksaan Agregat Halus	28
3.6.2. Pemeriksaan Agregat Kasar	33
3.7. Abu Sekam Padi	37
3.8. Kapur	37
3.9. Perencanaan Pencampuran Beton (<i>Mix Design</i>)	38
3.10. Pembuatan Benda Uji	47
3.11. Pengujian <i>Slump</i>	49
3.12. Perawatan Benda Uji	50
3.13. Pengujian Kuat Tekan	51
3.14. Pengujian Kuat Lentur (<i>Flexural Test</i>)	52
3.15. Jadwal Penelitian	53
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	56
4.1. Tinjau Umum	56
4.2. Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	56
4.3. Pemeriksaan Agregat Halus	56
4.3.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	57
4.3.2. Analisa Gradasi Agregat Halus	58
4.3.3. Kadar Lumpur Agregat Halus	60

4.3.4. Berat Isi Agregat Halus	60
4.3.5. Kadar Air Agregat Halus	61
4.4. Pemeriksaan Agregat Kasar	61
4.4.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	62
4.4.2. Analisa Gradasi Agregat Halus	63
4.4.3. Kadar Lumpur Agregat Halus	64
4.4.4. Berat Isi Agregat Halus	65
4.4.5. Kadar Air Agregat Halus	65
4.5. Perencanaan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton	66
4.5.1. Mix Design Beton Normal Mutu Sedang	66
4.6. Kebutuhan Bahan	74
4.7. Pengambilan Nilai <i>Slump Test</i>	87
4.8. Hasil dan Analisa Penyerapan Air Pada Beton	89
4.8.1. Penyerapan Air Pada Beton Bentuk Silinder	89
4.8.2. Penyerapan Air Pada Beton Bentuk Balok	91
4.9. Pengujian Kuat Tekan Beton	93
4.9.1. Pengujian Kuat Tekan Beton Normal	94
4.9.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 50% + ASP 50%	94
4.9.3. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 70% + ASP 30%	95
4.9.4. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 80% + ASP 20%	95
4.10. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	97
4.10.1. Pengujian Kuat Lentur Beton Normal	97
4.10.2. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca50%+ASP50	98
4.10.3. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca70%+ASP30	100
4.10.4. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca80%+ASP20	101
4.11. Hasil Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Lentur	103
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	105
5.1. Kesimpulan	105
5.2. Saran	106

DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	110

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persyaratan batas-batas susunan butir agregat kasar	8
Tabel 2.2	Batas gradasi agregat halus	11
Tabel 2.3	Komposisi kimia abu sekam padi	15
Tabel 2.4	Komposisi kimia pada bahan kapur	17
Tabel 3.1	Peralatan pembuatan benda uji	26
Tabel 3.2	Faktor pengkali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia	39
Tabel 3.3	Nilai tambah margin	39
Tabel 3.4	Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air Semen dan agregat kasar yang biasa di pakai di indonesia	40
Tabel 3.5	Perkiraan kadar air bebas (Kg/m ³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton	42
Tabel 3.6	Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	43
Tabel 3.7	Jumlah variasi sampel pengujian beton	51
Tabel 3.8	Jadwal penelitian di laboratorium	53
Tabel 4.1	Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus	57
Tabel 4.2	Hasil pengujian analisa gradasi agregat halus dengan bata zona 2	58
Tabel 4.3	Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus	60
Tabel 4.4	Hasil pengujian berat isi dengan cara lepas, cara tusuk dan cara penggoyangan	60
Tabel 4.5	Hasil pengujian kadar air agregat halus	61
Tabel 4.6	Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	62
Tabel 4.7	Hasil pengujian analisa gradasi agregat kasar dengan spesifikasi ukuran maksimal 40 mm	63
Tabel 4.8	Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar	64
Tabel 4.9	Hasil pengujian berat isi dengan cara lepas, cara tusuk dan cara penggoyangan	65
Tabel 4.10	Hasil pengujian kadar air agregat kasar	66

Tabel 4.11	Data-data pengetesan dasar	66
Tabel 4.12	Perencanaan Campuran Beton (SNI 03-2834-2000)	67
Tabel 4.13	Banyaknya agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji silinder	76
Tabel 4.14	Banyaknya agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji silinder	76
Tabel 4.15	Banyaknya kapur yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder	77
Tabel 4.16	Banyak ASP yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder	77
Tabel 4.17	Variasi penambahan kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen keseluruhan	78
Tabel 4.18	Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 8 benda uji silinder	80
Tabel 4.19	Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 8 benda uji silinder	81
Tabel 4.20	Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 1 benda uji balok	83
Tabel 4.21	Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 1 benda uji balok	83
Tabel 4.22	Banyaknya kapur yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok	84
Tabel 4.23	Banyaknya abu sekam padi yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok	85
Tabel 4.24	Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji balok	86
Tabel 4.25	Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji balok	87
Tabel 4.26	Hasil pengujian nilai slump untuk benda uji silinder dan balok	88
Tabel 4.27	Hasil pengujian penyerapan pada beton silinder normal dan beton dengan campuran Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen keseluruhan.	90

Tabel 4.28	Hasil pengujian penyerapan pada beton berbentuk balok normal dan beton dengan campuran Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen keseluruhan	92
Tabel 4.29	Data hasil pengujian kuat tekan beton normal	94
Tabel 4.30	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 50% dan ASP 50% sebagai bahan pengganti semen	94
Tabel 4.31	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 70% dan ASP 30% sebagai bahan pengganti semen	95
Tabel 4.32	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 80% dan ASP 20% sebagai bahan pengganti semen	96
Tabel 4.33	Hasil pengujian kuat lentur beton normal umur pengujian 28 hari	97
Tabel 4.34	Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 50% dan ASP 50%	99
Tabel 4.35	Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 70% dan ASP 30%	100
Tabel 4.36	Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 80% dan ASP 20%	101
Tabel 4.37	Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton sebagai bahan perbandingan	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 10 mm	9
Gambar 2.2	Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 20 mm	9
Gambar 2.3	Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 40 mm	10
Gambar 2.4	Daerah gradasi pasir kasar	11
Gambar 2.5	Daerah gradasi pasir sedang	12
Gambar 2.6	Daerah gradasi pasir agak halus	12
Gambar 2.7	Daerah gradasi pasir halus	12
Gambar 2.8	Abu sekam padi	15
Gambar 2.9	Uji lentur dengan pembebanan dua titik	20
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian yang dilaksanakan	24
Gambar 3.2	Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm)	41
Gambar 3.3	Batas gradasi pasir (Sedang) No.2	44
Gambar 3.4	Batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm	44
Gambar 3.5	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan Untuk ukuran butiran maksimum 20 mm	45
Gambar 3.6	Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton	46
Gambar 3.7	Pembuatan benda uji	49
Gambar 3.8	Pengujian slump	50
Gambar 3.9	Perawatan benda uji beton berbentuk silinder dan balok	51
Gambar 3.10	Pengujian kuat tekan beton	52
Gambar 3.11	Pengujian kuat lentur beton	53
Gambar 4.1	Grafik gradasi agregat halus (Zona 2)	59
Gambar 4.2	Grafik gradasi agregat kasar	64
Gambar 4.3	Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder 15 x 30 cm	69
Gambar 4.4	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm pada fas 0,45 (SNI 2834-2000)	71

Gambar 4.5	Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton pada fas 0,45 (SNI 2834-2000)	72
Gambar 4.6	Grafik nilai slump pada beton normal dan beton campuran silinder	88
Gambar 4.7	Grafik nilai slump pada beton normal dan beton campuran bentuk balok	89
Gambar 4.8	Grafik perbandingan penyerapan air beton silinder	91
Gambar 4.9	Grafik penyerapan air beton pada balok	93
Gambar 4.10	Grafik persentase kuat tekan beton normal dan beton tambahan kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen keseluruhan	96
Gambar 4.11	Grafik persentase kuat lentur beton dengan beton Ca+ASP sebagai bahan pengganti semen keseluruhan umur 28 hari	102
Gambar 4.12	Grafik hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada umur 28 hari	104

DAFTAR NOTASI

f_c	= Kuat tekan beton	(MPa)
P	= Beban maksimum	(N)
A	= Luas penampang yang menerima beban	(mm ²)
f_{lt}	= Kekuatan lentur beton	(MPa)
P	= Keruntuhan pengujian balok akibat beban maksimal	(N)
L	= Panjang bentang diantara kedua balok tumpuan	(mm)
b	= Rataan lebar balok terhadap penampang runtuh	(mm)
d	= Rataan tinggi balok terhadap penampang runtuh	(mm)
A-A	= Bagian sumbu melintang panjang	
B	= Bagian titik-titik perletakan	
C	= Bagian titik-titik pembebanan	
L	= Jarak (bentang) antara dua garis perletakan	(cm)
b	= Lebar tampak lintang benda uji	(cm)
h	= Tinggi tampak lintang benda uji	(cm)
P	= Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji	(cm)
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus	(%)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar	(%)
x_i	= Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji	(MPa)
\bar{x}	= Kuat tekan beton rata-rata	(MPa)
M	= Nilai tambah margin	(MPa)
B	= Jumlah air	(kg/m ³)
C	= Agregat halus	(kg/m ³)
D	= Agregat kasar	(kg/m ³)
C_a	= Absorpsi air pada agregat halus	(%)
D_a	= Absorpsi agregat kasar	(%)
C_k	= Kandungan air dalam agregat halus	(%)
D_k	= Kandungan air dalam agregat kasar	(%)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Agregat kasar	111
Lampiran 2	Agregat halus	111
Lampiran 3	Air	111
Lampiran 4	Semen	112
Lampiran 5	Abu sekam padi	112
Lampiran 6	Kapur	112
Lampiran 7	Saringan agregat halus	113
Lampiran 8	Saringan agregat kasar	113
Lampiran 9	Skrap	113
Lampiran 10	Kuas	114
Lampiran 11	Gelas ukur	114
Lampiran 12	Sarung tangan	114
Lampiran 13	Kerucut abrams	115
Lampiran 14	Penggaris	115
Lampiran 15	Plat besi	115
Lampiran 16	Tongkat penumbuk	116
Lampiran 17	Pan	116
Lampiran 18	Sendok semen	116
Lampiran 19	Sekop tangan	117
Lampiran 20	Timbangan digital	117
Lampiran 21	Mesin ayakan (<i>Sieve Shaker</i>)	117
Lampiran 22	Prosen pembuatan adukan beton	118
Lampiran 23	Proses pengujian <i>slump test</i>	118
Lampiran 24	Bekisting silinder	118
Lampiran 25	Bekisting balok	119
Lampiran 26	Perendaman benda uji silinder	119
Lampiran 27	Perendaman benda uji balok	119
Lampiran 28	Proses pengujian kuat tekan beton	120

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya era yang semakin maju, manusia dituntut untuk lebih kreatif dan inovatif dalam mengembangkan teknologi yang ada. Terutama pada teknologi beton yang memiliki fungsi sangat luas dalam bidang konstruksi. Beton merupakan material yang terdiri dari campuran semen portland, air, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan bahan tambahan jika dibutuhkan. Memberikan bahan tambah yang bersifat organik dan non organik dapat meningkatkan kualitas mutu beton. Bahan tambah bias sebagai pengganti sebagian semen atau mengurangi agregat (Febrianita, dkk, 2020).

Beton merupakan bahan bangunan yang mendukung upaya pembangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan apabila kita mampu memanfaatkan secara besar-besaran bahan yang merupakan limbah dari industri lain . Bahan-bahan seperti *fly ash*, *silica fumes* dan abu sekam (*rice husk ash*) merupakan bahan limbah industri yang dapat meningkatkan kinerja beton, meningkatkan kekuatan beton serta menurunkan kadar semen dalam beton sehingga sejalan dengan konsep pembangunan yang berkelanjutan (Solikin dan Susilo, 2016).

Beton yang dapat dibuat ringan baik dengan metode produksi atau dengan mengganti konstituen beton kelas berat dengan bahan yang ringan. Beton terutama dapat diklasifikasikan menjadi tiga: kategori: beton aerasi, beton agregat ringan dan beton tanpa butiran. Penggunaan produk sampingan pertanian dan industri sebagai pengganti agregat dan semen telah bermanfaat mengingat sifat beton dan dampak lingkungan. Meskipun kemajuan teknis dalam sektor pertanian dan industri cukup besar, pembuangan limbah masih menjadi perhatian di negara-negara berkembang, limbah pertanian seperti ampas tebu dan sekam padi memiliki nilai kalor tinggi yang masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan semen atau sebagai pengganti agregat di beton. Pembuatan beton memungkinkan daur ulang produk sampingan industri sebagai semen ke tingkat yang lebih besar. Dengan cara yang sama, beton juga diproduksi dengan mengganti berat normal agregat dengan

agregat ringan (Chinnu, dkk, 2021).

Sekam padi adalah residu pertanian yang menyumbang 20% dari 649,7 juta ton beras diproduksi setiap tahun di seluruh dunia. Itu menghasilkan sekam yang terbakar sebagian dari pabrik penggilingan saat digunakan sebagai bahan bakar juga berkontribusi terhadap polusi dan upaya sedang dilakukan untuk mengatasi masalah lingkungan ini dengan memanfaatkan bahan ini sebagai bahan penyemen tambahan. Komposisi kimia sekam padi ditemukan bervariasi dari satu sampel ke sampel lainnya karena perbedaan jenis padi, tahun tanam, iklim dan geografis kondisi. Membakar sekam di bawah suhu terkendali di bawah 800 °C dapat menghasilkan abu dengan silika terutama dalam bentuk amorf (Habeeb, dkk, 2010).

Abu Sekam Padi merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri pada pembakaran batu bata dengan sekam padi. Material ini memiliki kandungan silika yang cukup besar. Abu sekam padi yang mengandung silika cukup tinggi dapat diperoleh dengan cara memanfaatkan limbah pembakaran batu bata. Batu bata yang dibakar sampai masak dengan menggunakan sekam padi akan menghasilkan limbah abu sekam padi yang mengandung silika tinggi (>70%) sehingga limbah tersebut potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang mengandung SiO_2 yang dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 , yang merupakan sisa hasil proses hidrasi semen, membentuk 3CaO , 2SiO_2 , $3\text{H}_2\text{O}$ yang dapat meningkatkan kekuatan, kepadatan, serta kekedapan beton. Pozzolan bahan yang berbentuk halus yang mengandung senyawa silika alumina, memiliki sifat tidak mengikat namun dengan penambahan air senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida dan membentuk senyawa kalsium silika hidrat dan kalsium hidrat yang bersifat hidrolik serta mempunyai angka kelarutan yang rendah. Salah satu zat yang bersifat pozzolan adalah abu sekam padi. Pada daerah penghasil batu bata terdapat limbah berupa abu sekam. Abu sekam padi mampu menjadi unsur yang mampu meningkatkan kekuatan beton karena mengandung pozzolan yang juga terdapat pada semen (Lianasari, 2010).

Kapur menjadi alternatif pilihan karena unsur kimia dalam kapur hampir sama dengan yang terdapat dalam semen. Permasalahan utama adalah berapa banyak kapur yang perlu ditambahkan kedalam semen yang masih *significant* menambahkan kekuatan tekan. Biaya semen dalam sebuah campuran beton

merupakan faktor yang menentukan karena mahalny proses produksi yang pada gilirannya menentukan harga jual. Berdasarkan hal ini dan pertimbangan biaya maka dicoba untuk mencari alternatif campuran semen yang murah dan secara struktural dapat memenuhi kinerja kekuatan tekan. Unsur yang dipertimbangkan sebagai substitusi semen adalah material yang mempunyai sifat penyemenan atau hidrolis (Mulyono, T. 2007).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penulis dapat merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hasil nilai slump test pada beton normal dengan beton penambahan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen?
2. Bagaimanakah hasil nilai kuat tekan pada beton normal dengan beton penambahan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen?
3. Bagaimanakah hasil nilai pengujian kuat lentur beton dengan penggunaan variasi 50% kapur dan 50% abu sekam padi, 70% kapur dan 30% abu sekam padi, 80% kapur dan 20% abu sekam padi?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil nilai slump test pada beton normal dengan beton penambahan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen.
2. Untuk mengetahui hasil nilai kuat tekan pada beton normal dengan beton penambahan kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen.
3. Untuk mengetahui hasil nilai pengujian kuat lentur beton dengan campuran variasi 50% kapur dan 50% abu sekam padi, 70% kapur dan 30% abu sekam padi, 80% kapur dan 20% abu sekam padi.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahan antara lain sebagai berikut:

1. Karakteristik yang di teliti adalah kuat tekan dan lentur beton.
2. Bahan tambah yang digunakan adalah kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen pada beton.
3. Jumlah persentase yang digunakan 50% kapur dan 50% abu sekam padi, 70% kapur dan 30% kapur, 80% kapur dan 20% abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen pada beton.
4. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari Kota Binjai, Sumatera Utara.
5. Abu sekam padi yang digunakan berasal dari kilang padi di sekitaran Medan.
6. Penelitian ini menggunakan cetakan dengan penampang lintang berbentuk balok ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm untuk pengujian kuat lentur dan silinder berukuran tinggi 30 cm, dan diameter 15 cm untuk pengujian kuat tekan.
7. Umur pengujian yang digunakan penelitian ini adalah 28 hari.
8. Benda uji yang dihasilkan adalah 20 buah.
9. Penelitian dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat penelitian ini bisa menjadi acuan untuk penelitian dan pengembangan variasi beton dengan menggunakan kapur dan limbah abu sekam padi sebagai campuran beton.
2. Memanfaatkan bahan limbah abu sekam padi, untuk meminimalisir pencemaran udara.
3. Dapat meningkatkan pemahaman dalam menganalisa data untuk mengetahui kuat lentur beton dari hasil yang dikaji secara umum.

4. Apabila penelitian ini berhasil, diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk tahap selanjutnya, baik itu penggunaan pelaksanaan di lapangan maupun dilakukan penelitian lebih lanjut kedepannya.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi materi yang akan disampaikan dalam beberapa bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Kuncoro, dkk, 2021).

Beton sebagai material konstruksi sudah dikenal dan digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Walaupun istilah semen Portland baru dikenal pada abad 19, namun bangunan dengan menggunakan beton sudah dikenal sejak jaman Romawi, seperti Colosseum di Roma atau Pont du Gard di Perancis. Pada abad ke 17, Perkembangan beton terus mengalami peningkatan seiring berkembangnya bahan-bahan pembentuknya, terutama semen. Pada masa sekarang ini beton merupakan material yang dibuat atas dasar perencanaan yang teliti, sehingga dapat dioptimalkan kekuatannya, yaitu dengan menggunakan bahan-bahan yang lebih dahulu melalui proses terpilih dan diketahui sifat-sifatnya (Rahamudin, dkk, 2019).

Beton adalah material yang sudah sering digunakan dalam konstruksi, karena mempunyai kelebihan terhadap tegangan tekan, mudah dibentuk, dirawat, dan dapat digunakan pada berbagai jenis bangunan sipil. Selain itu beton juga dapat dibuat dengan bahan-bahan lokal, oleh karena itu beton sangat sering digunakan. Teknologi beton terus dikembangkan dengan berbagai macam cara, misalnya dengan penambahan material untuk menghasilkan beton mutu tinggi (Annisa, dkk, 2019).

2.2. Material Pembentuk Campur Beton

Material yang digunakan pada campuran beton yang dipakai sebagai bahan penyusun utama yaitu semen, agregat kasar, agregat halus dan air dan bila mana diperlukan dapat menambahkan bahan tambah dengan persentase tertentu. Pada

campuran ini, akan digunakan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen. Dalam pembuatan campuran beton, material yang digunakan harus mempunyai kualitas yang baik dan memenuhi syarat yang telah ditentukan sehingga menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan yang tinggi. Material-material yang akan digunakan antara lain:

2.2.1.Semen

Semen adalah serbuk halus yang digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dan agregat halus. Ketika bubuk halus ini dicampur dengan air dari waktu ke waktu, menjadi keras dan dapat digunakan sebagai pengikat hidrolis. Jika semen dicampur dengan air maka akan membentuk campuran yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air akan membentuk campuran yang disebut mortar, jika ditambah dengan agregat kasar (kerikil) akan membentuk campuran yang biasa disebut beton (Saifuddin, dkk, 2013).

Menurut SNI 15-2049 (2004), semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *Portland* terutama yang terdiri dari atas dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Menurut SNI 15-2049 (2004), jenis-jenis semen dapat dibagi sebagai berikut:

- a. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834 (2000), agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan 4,75 mm, yang biasanya disebut kerikil. Material ini merupakan hasil disintegrasi alami batuan atau hasil dari industri pemecah batu. Butir-butir agregat harus bersifat kekal, artinya tidak pecah ataupun hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.

Agregat kasar biasa juga disebut kerikil merupakan hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industry pemecah batu, dengan butirannya antara 4,75 mm – 40 mm (Kuncoro, dkk, 2021).

Berdasarkan (Gusni dan Herman, 2019), syarat-syarat agregat kasar yang baik digunakan untuk bahan campuran beton sebagai berikut:

- a. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
- b. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- c. Kandungan lumpur harus <1%, jika melebihi maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

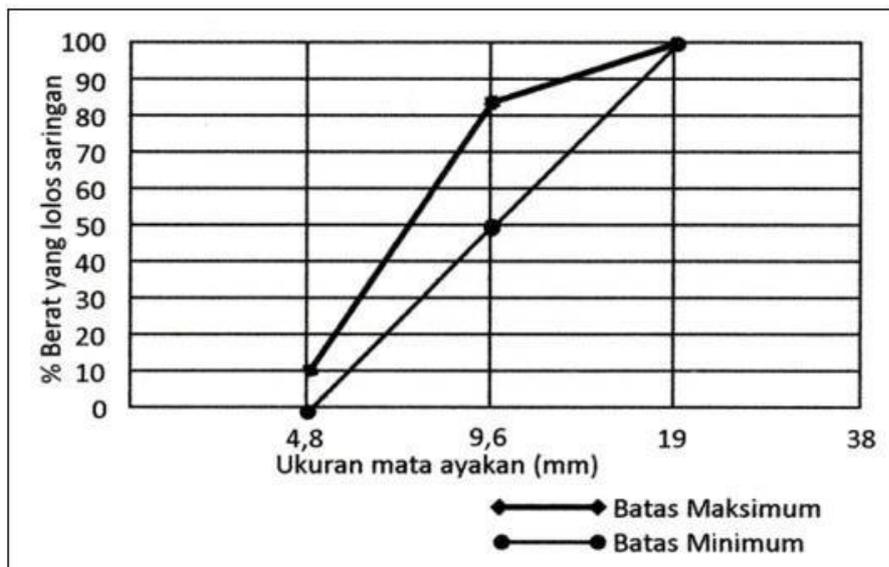
Agregat kasar yang digunakan pada campuran harus memenuhi persyaratan persyaratan pada Tabel 2.1. Tabel tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.1 sampai dengan Gambar 2.3 untuk mempermudah pemahaman.

Tabel 2.1: Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (SNI 03-2834-2000).

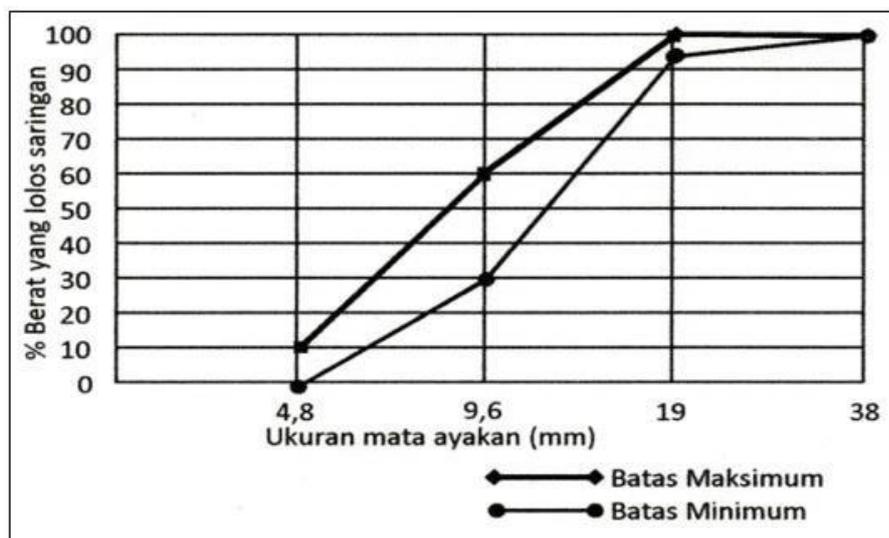
Ukuran mata ayakan (mm)	Presentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38 – 4,76	19,0 – 4,76	9,6 – 4,76
38,1	97 – 100	100	
19,0	37 – 70	95 – 100	100

Tabel 2.1: Lanjutan.

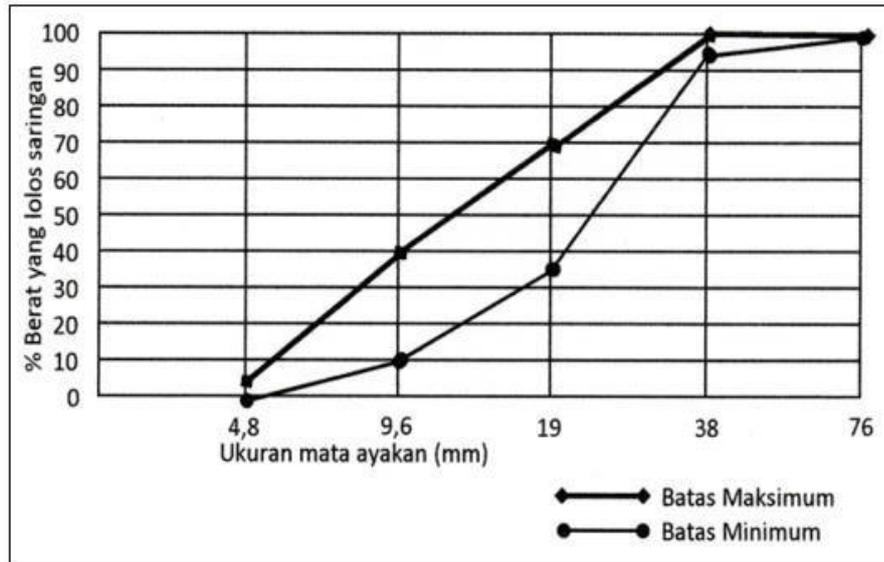
Ukuran mata ayakan (mm)	Presentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10



Gambar 2.1: Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 10 mm.



Gambar 2.2: Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 20 mm.



Gambar 2.3: Batas gradasi kerikil atau koral maksimum 40 mm.

2.2.3. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat berupa pasir alam atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 5 mm (Annisa, dkk, 2019).

Menurut SNI 03-2834 (2000), agregat halus merupakan agregat yang semua butirannya menembus ayakan berlubang 4,75 mm yang biasanya disebut juga pasir. Jenis agregat ini dapat dibedakan lagi menjadi:

- Pasir halus \emptyset 0-1 mm
- Pasir kasar \emptyset 1-5 mm

Menurut SNI 03-2834 (2000), syarat-syarat agregat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton sebagai berikut:

- a. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%.
- b. Agregat halus tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH , yaitu warna cairan di atas endapan tidak boleh gelap dari warna standar atau pembanding.
- c. Agregat halus memiliki modulus butir halus antara 1,50-3,80. Agregat halus tidak boleh reaktif terhadap alkali.

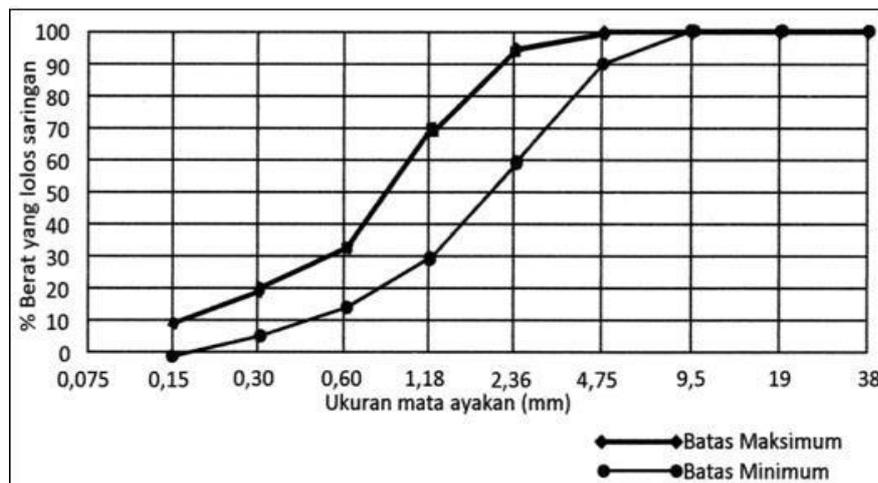
- d. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 15%

Tabel 2.2. Tabel tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.4 sampai dengan Gambar 2.7 untuk mempermudah pemahaman.

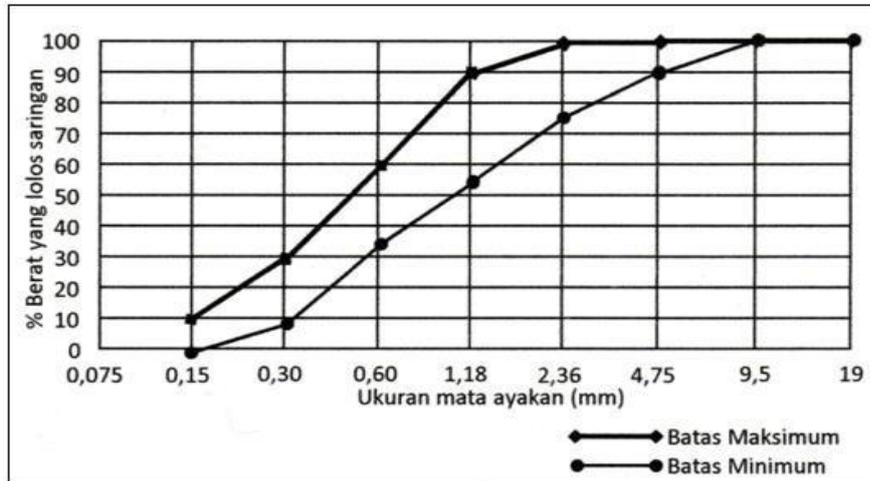
Tabel 2.2: Batas gradasi agregat halus (SNI 03-2834-2000).

Ukuran mata ayakan (mm)	No saringan	Persen berat butir yang lewat ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4,8	No. 4	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	No. 8	60 - 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	No. 16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	No. 30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	No. 50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,25	No. 100	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

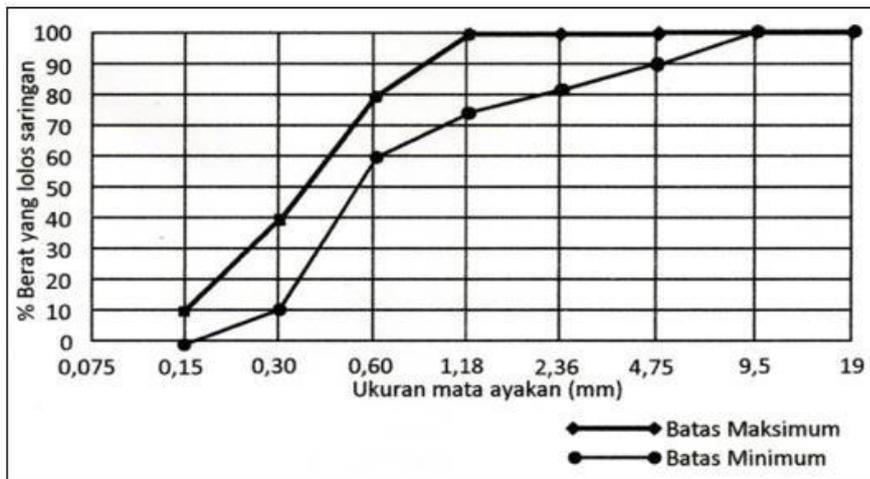
- Keterangan :
- Daerah gradasi I = Pasir kasar
 - Daerah gradasi II = Pasir sedang
 - Daerah gradasi III = Pasir agak halus
 - Daerah gradasi IV = Pasir halus



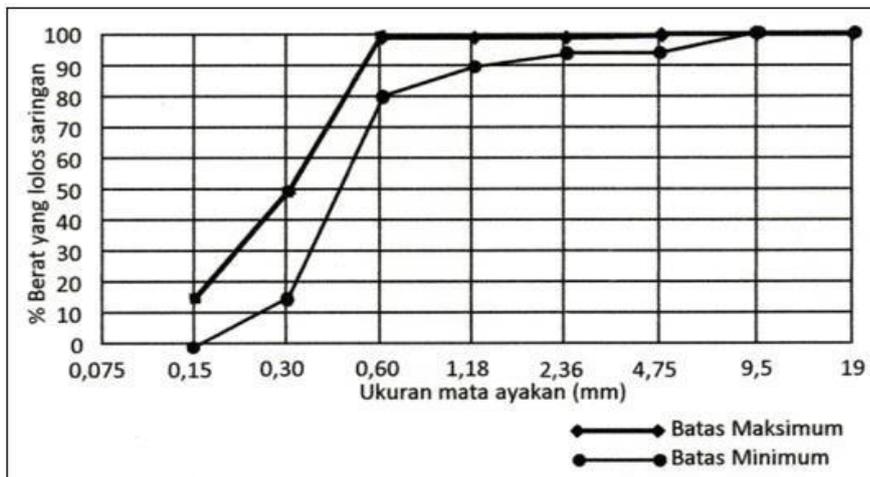
Gambar 2.4: Daerah gradasi pasir kasar.



Gambar 2.5: Daerah gradasi pasir sedang.



Gambar 2.6: Daerah gradasi pasir agak halus.



Gambar 2.7: Daerah gradasi pasir halus.

2.2.4. Air

Air adalah bahan dasar untuk pengikat dalam pembuatan konstruksi struktur beton adalah air. Air akan bereaksi dengan semen dan menjadi pasta pengikat agregat. Air akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri, selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton mengalami *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (Vitri dan Herman, 2019).

Faktor air sangat berpengaruh dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga mempengaruhi kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan kekuatan beton itu sendiri. Selain itu, kelebihan air akan menyebabkan beton menjadi tercampur, yaitu air dan semen akan naik ke permukaan campuran beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya ikatan antar lapisan beton dan menyebabkan beton menjadi lemah. Air pada campuran beton akan berpengaruh pada:

- a. Sifat *workability* campuran beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton.
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland, sehingga dihasilkan kuat dalam selang beberapa waktu
- d. Perawatan keras campuran beton untuk memastikan pengerasan yang baik (Saifuddin, et al., 2013).

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan tinggi pada beton, tetapi kinerjanya akan berkurang. Walaupun proporsi air yang cukup besar dapat memberikan kemudahan pada saat pelaksanaan, kekuatan hancur beton akan menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam faktor air semen (*water cement ratio*) atau yang sering kita singkat dengan FAS, yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air dibagi dengan berat semen dalam campuran beton.

Beton untuk konstruksi bangunan biasanya memiliki perbandingan nilai rasio semen 0,45 hingga 0,65. Dengan perbandingan rasio tersebut dapat dihasilkan beton kedap air, namun kualitas beton tetap dipengaruhi oleh cara pemadatan dan daya kerjanya. Pada saat daya kerja beton rendah, maka diperlukan zat *additive*, supaya

agar daya kerja beton menjadi lebih baik, tanpa mempengaruhi kekuatan atau faktor air semen (Nurzal dan Mahmud, 2013).

Menurut Nurzal dan Mahmud (2013), syarat-syarat air yang dapat digunakan untuk dalam campuran beton sebagai berikut:

- a. Air tidak boleh mengandung lumpur (benda terapung lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida (C_L) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) lebih dari 1 gram/liter

2.3. Abu Sekam Padi (ASP)

Sekam padi pada umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar utama atau tambahan pada industri pembuatan bata atau tabu, bahan dekorasi, media tumbuh bagi tanaman hias, atau bahkan dibuang di kandang hewan. Sudah diketahui bahwa sekam padi mengandung banyak *silica amorf* apabila dibakar mencapai suhu 500 – 700°C dalam waktu sekitar 1 sampai 2 jam. Oleh karena itu, dewasa ini mulai dikembangkan pemanfaatan abu sekam padi (sisa pembakaran sekam padi) dalam berbagai bidang, salah satunya adalah bidang konstruksi. Reaktivitas antara silika dalam abu sekam padi dengan kalsium hidroksida dalam pasta semen dapat berpengaruh pada peningkatan mutu beton (Solikin dan Susilo, 2016).

Sekam padi saat ini sudah mulai dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (*Rice Husk Ash*). Penggunaan RHA secara umum adalah sebagai pupuk untuk tanaman dan juga sebagai bahan campuran beton, karena abu sekam padi ini mengandung silika yang tinggi. Abu sekam padi mengandung silika sekitar 87-97%, dari kandungan abu sekam padi

dapat digunakan sebagai pozzolan karena mengandung $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% sesuai mutu pozzolan yang disyaratkan (Mehta, 2018).

Abu sekam padi (ASP) adalah limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi. Bila abu sekam padi dibakar pada suhu terkontrol, abu sekam yang dihasilkan dari sisa pembakaran mempunyai sifat *pozzolan* yang tinggi karena mengandung silika. Pada pembakaran sekam padi, semua komponen organik diubah menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) dan tinggal abu yang merupakan komponen anorganik (Kuncoro, dkk, 2019).

Tabel 2.3 Komposisi kimia abu sekam padi (Hadipramana et al., 2016).

Abu sekam padi	
Komponen	% Berat
CO_2	0.10%
SiO_2	89.90%
K_2O	4.50%
P_2O_5	2,45%
CaO	1,01%
MgO	0,79%
Fe_2O_3	0,47%
Al_2O_3	0,46%
MnO	0,14%
S	0<LLD



Gambar 2.8: Abu Sekam Padi.

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan tambahan abu sekam padi, yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Annisa, Helmi, dan Irianti, 2019) dengan judul “Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Reaktif (*Reactive Powder Concrete*)”. Penelitian ini dilakukan pada variasi presentase abu sekam sebagai pengganti sejumlah semen (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat kelenturan optimum senilai 16,48 MPa diperoleh dari komposisi 10% abu sekam dan perawatan uap air panas.

Penelitian yang dilakukan oleh (Tata, Sultan, dan Sumartini, 2016) dengan judul “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Bahan Baku Beton Terhadap Sifat Mekanis Beton”. Pada pengujian kuat lentur beton dengan menggunakan variasi abu sekam padi sebanyak 0%, 2,5%, 7,5% dan 10% terhadap berat pasir diperoleh kuat kelenturan optimum sebesar 6,38 MPa pada variasi penambahan 2,5% abu sekam padi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Kuncoro, Darwis, dan Rahmat, 2021) dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik Beton Serat Bambu”. Hasil penelitian yang dilakukan untuk hasil rata-rata kuat kelenturan balok beton serat dan abu sekam padi 0%, 8%, 9% dan 10% secara berurutan sebesar 2,893 MPa, 2,351 MPa, 2,569 MPa, dan 2,129 Mpa.

2.4. Kapur

Kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri maupun konstruksi. Secara umum kapur bersifat hidrolis, tidak menunjukkan pelapukan dan dapat terbawa arus. Secara fisik kapur merupakan sebuah benda putih dan halus. Bahan dasar kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung kalsium karbonat C_aCO_3 , dengan pemanasan ($\pm 980^\circ C$) karbon dioksidanya keluar dan tinggal kapurnya saja (C_aO) (Andri, dkk, 2012).

Kapur dapat dijadikan sebagai material pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kapur dihasilkan berdasarkan proses kimia dan mekanis di alam. Kapur telah digunakan berabad-abad lamanya sebagai bahan adukan dan plesteran

untuk bangunan, dapat dilihat dari pembangunan pyramida-pyramida di Mesir, di bangun lebih dari 4500 tahun sebelum masehi. Kapur digunakan sebagai bahan pengikat selama masa jaman Romawi dan Yunani. Orang-orang Romawi menggunakan beton untuk membangun Colloseum dan Pantheon, dengan cara mencampur kapur dengan abu gunung yang di dapat dekat Pozzuoli, Italia, yang mereka namakan Pozollan. Lebih dari 80% kapur digunakan di Amerika sebagai unsur konstruksi, saat ini lebih dari 90% kapur digunakan di industri kimia. Secara kimiawi kapur dibedakan dari unsur-unsur kimianya yaitu: kapur mentah, kalsium oksida (C_aO), kapur, kalsium hidrosida [$C_a(OH)_2$],], kapur dolomit ($C_aO.M_gO$), dua tipe dari hidrasi dolomit type N [$C_a(OH)_2.M_gO$] dan type S $C_a(OH)_2 . M_g(OH)_2$], pembakaran dolomite (Tri Mulyono, 2007).

Tabel 2.4: Komposisi kimia pada bahan kapur (Sihotang, dkk, 2002).

Parameter	Kadar (%)
Na_2O	0,095
Fe_2O_3	0,41
M_gO	2,72
K_2O	0,32
C_aO	50,84
Al_2O_3	0,682
SiO_2	0,00

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan tambahan kapur, yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Martina, Chatelina, dan Tunnur, 2019) dengan judul “Karakteristik Mortar Menggunakan *Biopozzolan* Sebagai Pengganti Semen Sebagian”. Penelitian ini dilakukan pada jumlah substitusi semen dengan biopozzolan sebesar 17,5% dari berat semen. Pada penelitian ini Biopozzolan divariasikan sebagai berikut: variasi 1 (0% Biopozzolan), variasi 2 (50% Kapur : 50% ASP), variasi 3 (60% Kapur : 40% ASP), variasi 4 (70% Kapur : 30% ASP), variasi 5 (80% Kapur : 20% ASP). Hasil penelitian didapatkan komposisi

Biopozzolan variasi 2 menghasilkan kuat tekan dengan nilai 20,899 Mpa dan kuat lentur dengan nilai 6,3735 MPa serta nilai perubahan panjang dengan muai susut paling rendah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Setiyarto dan Pahlevi, 2017) dengan judul “Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton”. Penelitian ini dilakukan dengan membuat variasi kandungan abu dan kapur dalam semen sebanyak 0%, 5%, 10%, 20% dan 25%. Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan bahwa kandungan 10% abu dan kapur dalam campuran beton masih memiliki nilai kuat tekan beton lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton tanpa abu dan kapur.

Penelitian yang dilakukan oleh (Martini, 2017) dengan judul “Substitusi Semen Dengan Campuran Abu Sekam Dan Kapur Pada Campuran Beton”. Penelitian ini dilakukan dengan membuat variasi kandungan abu dan kapur dalam semen sebanyak 5 campuran spesimen abu sekam, kapur dan semen 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Hasil uji kuat tekan beton untuk variasi 0% diperoleh kuat tekan 149 kg/cm², kadar abu sekam 2,5% diperoleh nilai kuat tekan 108 kg/cm², didapatkan nilai kadar abu sekam 5% kuat tekan 158 kg/cm², kadar abu sekam 7,5% diperoleh nilai kuat tekan 141 kg/cm², kadar abu sekam 10% diperoleh nilai kuat tekan 178 kg/cm².

2.5. Slump Test

Pengambilan nilai *slump* dilakukan untuk setiap campuran yang baik pada beton standar dan beton yang menggunakan *additive* dan pengisi (*filler*). Pengujian *slump* dilakukan pada beton segar yang dituangkan kedalam wadah kerucut terpancung. Pengisian dilakukan dalam tiga lapisan adalah 1/3 dari tinggi kerucut. Setiap lapisan harus dipadatkan dengan cara penusukan sebanyak 25 kali dengan menggunakan tongkat besi anti karat. Setelah penuh sampai permukaan atasnya diratakan dengan menggunakan sendok semen. Kemudian kerucut diangkat ke atas secara vertikal dan *slump* dapat diukur dengan cara mengukur perbedaan tinggi

antara wadah dengan tinggi beton setelah wadah diangkat seperti yang di jelaskan pada (SNI 1972-2008).

2.6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton didefinisikan sebagai tegangan yang terjadi dalam benda uji pada pemberian beban hingga benda uji tersebut hancur. Kuat tekan beton besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur (Servie O, 2020).

Kuat tekan beton yaitu kemampuan beton untuk menerima beban tiap satuan luas. Kuat tekan beton untuk menentukan kualitas suatu struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan di laboratorium dengan menggunakan benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm (Mulyono, 2004).

Berdasarkan SNI-1974 (2011), perhitungan nilai kuat tekan beton dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

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

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

2.7. Pengujian Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI-4431 (2011), kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas. Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, dan oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Tegangan yang timbul selama mengalami deformasi tidak boleh melebihi tegangan lentur ijin untuk

bahan dari beton itu. Momen eksternal harus ditahan oleh bahan dari beton, dan harga maksimum yang dapat dicapai sebelum balok mengalami keruntuhan atau patah sama dengan momen penahan internal dari balok.

perhitungan kuat lentur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.2)$$

Keterangan:

f_{lt} = Kekuatan lentur (MPa)

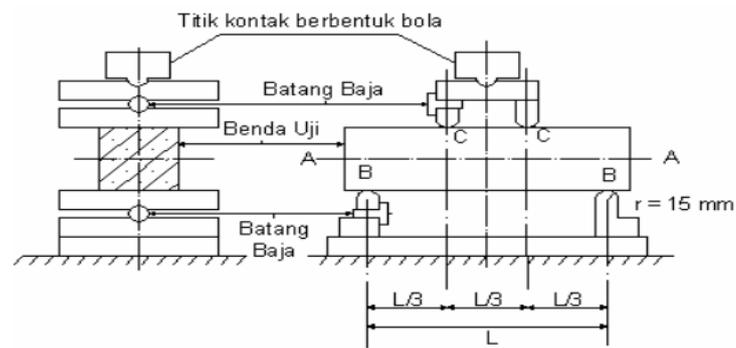
P = Keruntuhan pengujian balok akibat beban maksimal (N)

L = Panjang bentang diantara kedua balok tumpuan (mm)

b = Rataan lebar balok terhadap penampang runtuh (mm)

d = Rataan tinggi balok terhadap penampang runtuh (mm)

Gambar di bawah ini adalah contoh gambar pengujian kuat lentur beton dengan pembebanan dua titik pembebanan dengan bentuk uji prisma. Terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Uji lentur dengan pembebanan dua titik.

Keterangan:

A-A = Bagian sumbu melintang panjang

B = Bagian titik-titik perletakan

C = Bagian titik-titik pembebanan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Jenis metode penelitian yang diterapkan ialah metode eksperimen di laboratorium menggunakan data-data tambahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang di dapat melalui:

1. Data Primer

Didapatkannya data tersebut dari hasil pengecekan dan uji yang dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, seperti:

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan kadar air agregat.
- d. Pemeriksaan kadar lumpur agregat.
- e. Pemeriksaan berat isi agregat.
- f. Perbandingan dalam campuran beton (*Mix design*).
- g. Kekentalan adukan beton segar (*Slump*).
- h. Pengujian kuat tekan beton.
- i. Pengujian kuat lentur beton (*flexural*).

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku dan jurnal yang berhubungan dengan teknik beton dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis yang dipergunakan yaitu :

1. Peraturan (SNI 03-2834-2000), “tentang tata cara pembuatan rencana beton normal”.
2. Peraturan (SNI 4431-2011), “tentang Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan”.
3. ASTM (*American Society For Testing and Materials*) C33 (1985)

4. PBI (Peraturan Beton Indonesia), peraturan tata cara pembuatan beton yang ditetapkan secara tertulis.
5. Jurnal-jurnal ilmiah serta buku-buku, sebagai pendukung dalam acuan penelitian ini.
6. Laporan Praktikum Beton, sebagai referensi untuk menunjang dalam penelitian ini.

3.2. Tahapan Penelitian

Adapun tahap-tahap penelitian dalam penelitian campuran beton ini antara lain:

1. Persiapan Material
Dimana mempersiapkan material seperti agregat kasar, agregat halus, semen, bahan tambah abu sekam padi dan kapur.
2. Pemeriksaan Material
Pemeriksaan material ini dilakukan dengan pemeriksaan dasar seperti kadar lumpur, kadar air, berat jenis, berat isi dan analisa saringan.
3. Pemeriksaan Material Agregat Halus
Pemeriksaan pada agregat halus terdiri dari analisa saringan, berat jenis dan penyaringan, kadar air, kadar lumpur, dan berat isi.
4. Pemeriksaan Material Agregat Kasar
Pemeriksaan yang dilakukan dimulai dari analisa saringan, berat jenis dan penyaringan, kadar air, kadar lumpur, keausan agregat dan berat isi.
5. Abu Sekam Padi (ASP)
Abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini sebagai bahan pengganti semen di dapat dari kilang padi di sekitaran Medan dengan spesifikasi abu sekam padi yg lolos pada saringan No 200.
6. Kapur
Kapur untuk bahan pengganti semen pada penelitian tersebut, menggunakan kapur yang di beli dari toko material bangunan secara online.

7. *Mix Design*

Setelah pemeriksaan material dilakukan dan mendapatkan hasil sesuai persyaratan untuk pencampuran beton, perhitungan proporsi campuran pun dilakukan. Perhitungan proporsi tersebut meliputi, beton normal serta beton dengan bahan campuran abu sekam padi dan kapur sesuai variasi campuran yang sudah ditentukan.

8. Pembuatan Benda Uji

Langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji dengan memasukkan material yang sudah disiapkan dan ditimbang ke dalam mesin molen atau mixer sesuai proporsi campuran yang dihitung.

9. Pengujian Slump Test

Sebelum melakukan tahap pencetakan dilakukan pengujian slump test pada beton segar untuk mengetahui nilai kekentalan dan plastisitas beton. Beton segar akan dimasukkan kedalam kerucut abrams dan akan dirojek dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali kemudian akan di lepas dan dihitung perbandingan penurunan beton segar dari tinggi kerucut abrams.

10. Pencetakan Benda Uji

Dalam proses pencetakan benda uji yang telah di campur di dalam mixer akan di masukkan ke dalam cetakan silinder untuk pengujian kuat tekan dengan diameter 150 mm dan panjang 300 mm dan cetakan prisma persegi untuk pengujian kuat lentur dengan ukuran panjang 750 mm, lebar 150 mm dan tinggi 150 mm. Benda uji akan di cetak selama 24 jam.

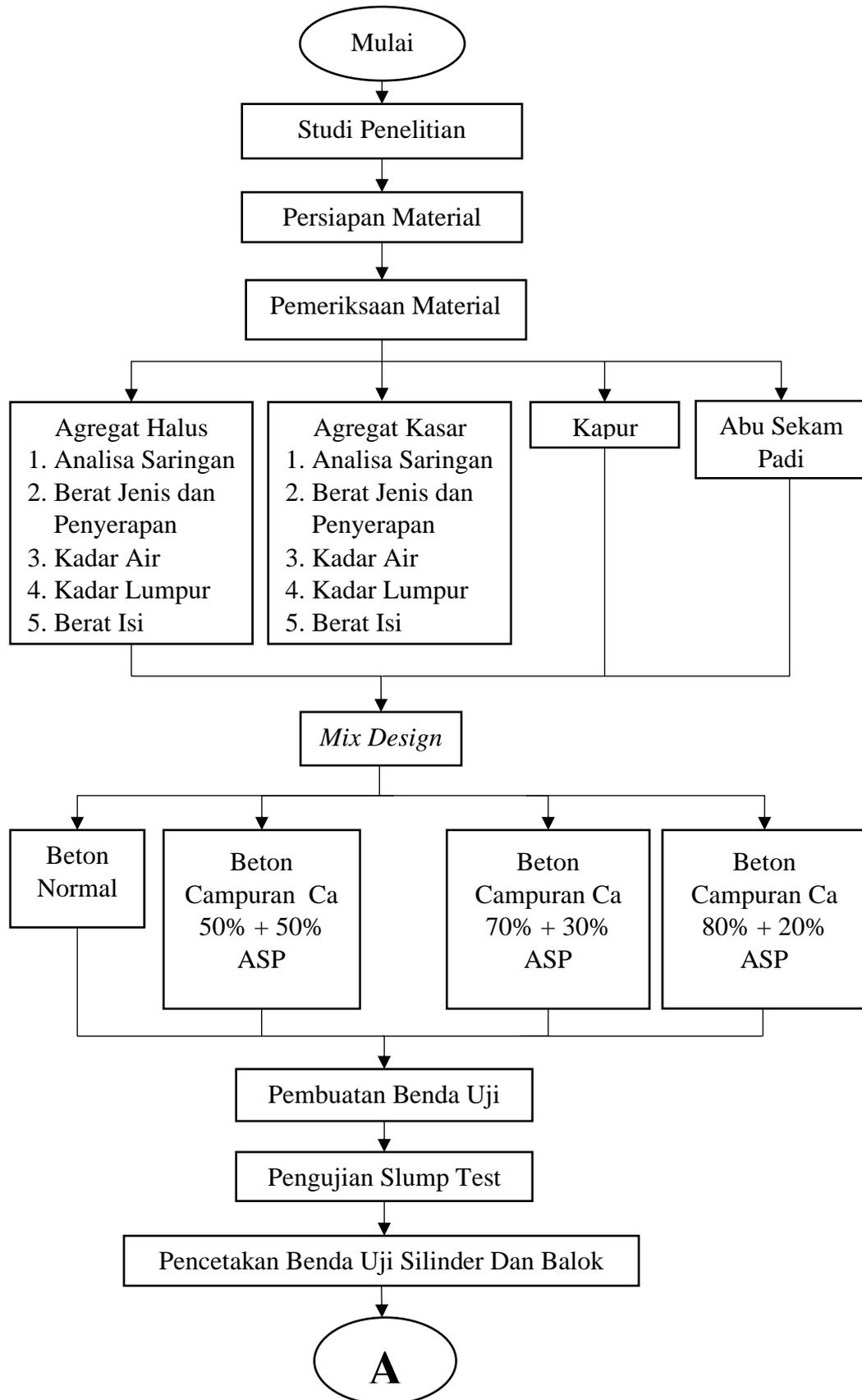
11. Perawatan Benda Uji

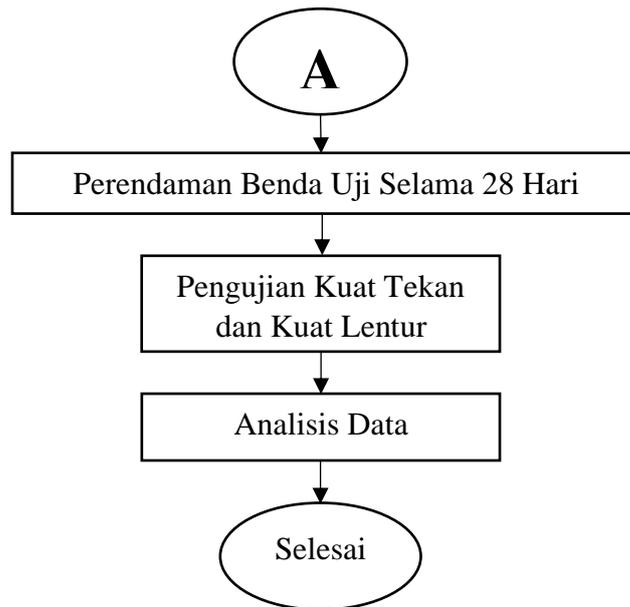
Benda uji yang masih dalam keadaan baru di cetak didiamkan selama 24 jam di dalam cetakan kemudian dibuka, dan didiamkan selama 24 jam kembali. Setelah itu perendaman dilakukan selama 28 hari di dalam bak perendaman yang terhindar dari sinar matahari.

12. Pengujian Kuat Tekan Dan Kuat Lentur

Benda uji yang direndam, diangkat dari bak perendaman dan dikeringkan kembali selama 24 jam. Lalu pengujian kuat tekan dan kuat lentur dapat dilakukan.

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan.

3.3. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Waktu penelitian dilakukan kurang lebih 3 bulan.

3.4. Bahan dan Peralatan

3.4.1. Bahan

Penggunaan Komponen bahan pembentuk beton yang digunakan yaitu:

a. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari Kota Binjai, Sumatera Utara.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari Kota Binjai, Sumatera Utara.

c. Air

Air yang digunakan berasal dari PDAM Tirtanadi Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

d. Abu Sekam Padi (ASP)

Abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sekitaran Medan yang diambil dari limbah pertanian yang sudah melewati proses pembakaran.

e. Kapur

Kapur yang digunakan untuk penelitian ini sebagai bahan pengganti semen yang di beli dari toko material bangunan secara online.

3.4.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sudah tersedia di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1: Peralatan pembuatan benda uji.

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Saringan Agregat Halus No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, dan No.100	Untuk memisahkan agregat halus sesuai ukuran
2.	Saringan Agregat Kasar 1 ¹ / ₂ " , 3/4" , 3/8" , dan No. 4.	Untuk memisahkan agregat kasar sesuai ukuran
3.	Timbangan digital	Untuk menimbang agregat halus, agregat kasan dan benda uji.
4.	Plastik	Sebagai tempat agregat yang telah disaring
5.	Kuas	Untuk mengoleskan Vaseline ke cetakan silinder

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

No	Nama Alat	Kegunaan
6.	Alat Pengaduk Beton (<i>Mixer</i>)	Untuk membuat campuran beton
7.	Kerucut Abrams	Tempat cetakan uji <i>slump test</i>
8.	Pan	Wadah saat menyaring agregat
9.	Ember	Untuk tempat membersihkan agregat dengan air
10.	Skrap	Untuk meratakan campuran beton
11.	Sarung Tangan	Untuk melindungi tangan saat pengujian di Laboratorium
12.	Masker	Untuk melindungi pernapasan dari debu saat di Laboratorium
13.	Bak perendam	Untuk merendam benda uji
14.	Penggaris	Untuk mengukur nilai <i>slump test</i>
15.	Sekop Tangan	Untuk mengaduk dan memasukan agregat ke dalam cetakan
16.	Oven	Untuk mengeringkan agregat
17.	Plat Ukuran 1x2 m	Untuk alas dalam pengujian <i>slump test</i>
18.	Tongkat Penumbuk	Untuk memadatkan benda uji
19.	Gelas Ukur	Untuk mengukur takaran air
20.	Vaseline	Untuk mengoleskan cetakan agar tidak menempel saat beton dibuka dari cetakannya
21.	Cetakan Silinder	Untuk mencetak benda uji
22.	Mesin Kompres (<i>compression test</i>)	Untuk menguji kuat tekan beton
23.	Alat Pengukur Besarnya Perubahan Panjang (<i>Dial Gauge</i>)	Untuk menguji kuat lentur beton

3.5. Persiapan Penelitian

Setelah seluruh material yang diperoleh telah sampai lokasi, maka material dipisahkan menurut jenis untuk mempermudah dalam tahapan-tahapan penelitian dan juga agar material tidak tercampur dengan bahan-bahan yang lain sehingga mempengaruhi kualitas material. Material dibersihkan dari lumpur, dan mengadakan penjemuran pada material yang basah. Setelah segala persiapan material selesai kemudian lanjut pada pemeriksaan agregat.

3.6. Pemeriksaan Agregat

Di dalam pemeriksaan agregat baik agregat halus maupun agregat kasar dilakukan di Laboratorium mengikuti panduan ASTM tentang pemeriksaan agregat.

3.6.1. Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan pemeriksaan antara lain:

1. Pemeriksaan kadar air

Pemeriksaan kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat halus dibandingkan dengan berat agregat halus dalam keadaan kering. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kandungan air yang terdapat pada agregat halus.

Prosedur pengujian pemeriksaan kadar air:

- a. Timbang berat talem kosong dan catat (W_1).
- b. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talem lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W_2).
- c. Lalu dihitung berat benda ujinya ($W_3 = W_2 - W_1$).
- d. Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talem didalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
- e. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talem (W_4).
- f. Lalu dihitung berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).

Perhitungan :

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \quad (3.1)$$

2. Pemeriksaan kadar lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur bertujuan untuk menentukan besarnya persentase kadar lumpur dalam agregat halus yang digunakan sebagai campuran beton. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Kandungan yang berlebihan mengakibatkan ikatan agregat halus dengan semen rapuh sehingga kuat rekan rencana tidak tercapai.

Prosedur pengujian pemeriksaan kadar lumpur agregat halus:

- a. Benda uji dimasukkan dengan berat 1000 gram Kemudian ditimbang (W_1).
- b. Lalu benda uji dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- c. Wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada benda uji hilang dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih.
- d. Kemudian semua bahan dikembalikan kedalam wadah, lalu seluruh bahantersebut dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya (W_2).
- e. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
- f. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W_3).
- g. Kemudian dihitung berat bahan kering ($W_4 = W_3 - W_2$).

Perhitungan:

$$\text{Kadar Lumpur} : \frac{W_1 - W_4}{W_1} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

W_1 = Berat Agregat

W_4 = Berat Agregat di atas saringan no. 200 dan no. 16

3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan bertujuan untuk menentukan berat jenis agregat halus serta kemampuannya dalam menyerap air.

Prosedur pengujian pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus:

- a. Pertama-tama benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 105 °C sampai berat tetap.
- c. Keluarkan benda uji dari oven, lalu benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1 - 3 jam.
- d. Kemudian benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (B_k). Selanjutnya rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- e. Setelah direndam, benda uji dikeluarkan dari air, Lalu dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering/SSD). Untuk butir yang besar pengeringan harus satu persatu.
- f. Kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (B_{SSD}).
- g. Benda uji diletakan didalam keranjang, lalu benda uji diguncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (B_a). Suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C.

Perhitungan:

- Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{B_k}{B_{SSD} - B_a}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*SSD*) = $\frac{B_{SSD}}{B_{SSD} - B_a}$
- Berat Jenis Semu (*Apparent Surface Dry*) = $\frac{B_k}{B_a - B_k}$
- Penyerapan Air (*Absorption*) = $\frac{B_{SSD} - B_k}{B_k} \times 100\%$ (3.3)

Keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

B_{SSD} = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)

4. Pemeriksaan berat isi

Pemeriksaan berat isi bertujuan untuk menentukan berat dan volume agregat halus.

Prosedur pengujian pemeriksaan berat isi agregat halus:

1) Berat Isi Lepas:

- a. Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya (W_1).
- b. Kemudian benda uji dimasukkan dengan hati – hati supaya tidak terjadi pemisahan butiran, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas silinder dengan menggunakan sekop sampai penuh.
- c. Lalu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan mistar perata.
- d. Kemudian silinder serta isinya ditimbang lalu dicatat (W_2).
- e. Selanjutnya dihitung berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).

2) Berat Isi Padat :

- a. Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya (W_1).
- b. Kemudian silinder diisi dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal, masing-masing setebal 1/3 dari tinggi silinder.
- c. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada saat dilakukan pemadatan, tongkat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap lapisan.
- d. Lalu permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata. Kemudian menimbang berat silinder serta benda uji dan dicatat (W_4). Kemudian dihitung berat benda uji ($W_5 = W_4 - W_1$).

Perhitungan:

- Berat Isi Agregat Lepas = $\frac{W_3}{V}$
- Berat Isi Agregat Padat = $\frac{W_5}{V}$

$$- \text{ Voids} = \frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- W_3 = Berat Benda Uji dalam kondisi lepas (Kg)
 W_5 = Berat benda uji dalam kondisi dipadatkan (Kg)
 V = Volume Tabung Silinder
 S = *Bulk Specific Gravity* (Berat Jenis Agregat)
 M = Berat Isi Agregat (Kg/lt)
 W = Density (Kerapatan) air

5. Pemeriksaan analisa saringan

Pemeriksaan analisa saringan bertujuan untuk menyaring agregat halus dengan 1 set saringan agregat halus.

Penggunaan nomor saringan ditentukan berdasarkan SNI 03-2834 (2000), sesudah dilakukan analisa saringan pada pemeriksaan agregat halus, selanjutnya pembuatan grafik zona gradasi agregat yang diperoleh melalui nilai kumulatif agregat.

Prosedur pengujian pemeriksaan analisa saringan agregat halus:

- a. Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
- b. Timbang benda uji sesuai dengan berat yang disyaratkan. Lalu susun saringan, dengan menempatkan saringan paling besar dibagian atas. Lalu pan diletakan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengayak selama 15 menit agar hasil ayakan terpisah merata.
- c. Kemudian berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang.

Perhitungan:

Hitung Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing- masing ayakan

terhadap berat total benda uji.

$$FM = \frac{\% \text{ persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \quad (3.5)$$

3.6.2. Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan pemeriksaan antara lain:

1. Pemeriksaan kadar air

Pemeriksaan kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat kasar dibandingkan dengan berat agregat kasar dalam keadaan kering. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kandungan air yang terdapat pada agregat kasar.

Prosedur pengujian pemeriksaan kadar air agregat kasar:

- a. Timbang berat talam kosong dan catat (W_1). Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W_2).
- b. Lalu dihitung berat benda ujinya ($W_3 = W_2 - W_1$). Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam didalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap.
- c. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W_4).
- d. Lalu dihitung berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).

Perhitungan:

$$\text{Kadar Air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \quad (3.6)$$

2. Pemeriksaan kadar lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur bertujuan untuk menentukan besarnya persentase kadar lumpur dalam agregat yang digunakan sebagai campuran beton. Kandungan yang berlebihan mengakibatkan ikatan agregat dengan semen rapuh sehingga kuat tekan rencana tidak tercapai.

Prosedur pengujian pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar:

- a. Benda uji dimasukkan dengan berat 1000 gram Kemudian ditimbang (W_1).

- b. Lalu benda uji dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- c. Wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada benda uji hilang dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih.
- d. Kemudian semua bahan dikembalikan ke dalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan ke dalam talam yang telah diketahui beratnya (W_2).
- e. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
- f. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W_3).
- g. Kemudian dihitung berat bahan kering ($W_4 = W_3 - W_2$).

Perhitungan:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W_1 - W_4}{W_1} \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan:

W_1 = Berat Agregat

W_4 = Berat Agregat di atas saringan no. 200 dan no. 16

3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan bertujuan untuk mengetahui rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama serta kemampuan dalam menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering pada agregat kasar.

Prosedur pengujian pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar:

- a. Pertama-tama benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b. Keringkan dalam oven pada suhu 105°C sampai berat tetap.
- c. Keluarkan benda uji dari oven, lalu benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1 - 3 jam.
- d. Kemudian benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (B_k). Selanjutnya rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- e. Setelah direndam, benda uji dikeluarkan dari air, Lalu dilap dengan kain

penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering/SSD). Untuk butir yang besar pengeringan harus satu persatu.

- f. Kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (B_{jssd}).
- g. Benda uji diletakan didalam keranjang, lalu benda uji diguncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air (B_a). Suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C.

Perhitungan:

- Berat Jenis (Bulk Specific Gravity) = $\frac{B_k}{(B_{ssd}-B_a)}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD) = $\frac{B_{ssd}}{B_{ssd}-B_a}$
- Berat Jenis Semu (Apparent Surface Dry) = $\frac{B_k}{B_k-B_a}$
- Penyerapan Air (Absorption) = $\frac{B_{ssd}-B_k}{B_k}$ (3.8)

Keterangan:

- B_k = Berat benda uji kering oven (gr)
- B_{ssd} = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)
- B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)

4. Pemeriksaan berat isi

Pemeriksaan berat isi bertujuan untuk menentukan berat dan volume agregat kasar.

Prosedur pengujian pemeriksaan berat isi agregat kasar:

- 1) Berat Isi Lepas :
 - a. Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya (W_1).
 - b. Kemudian benda uji dimasukkan dengan hati-hati supaya tidak terjadi pemisahan butiran, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas silinder dengan menggunakan sekop sampai penuh.
 - c. Lalu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan mistar perata. Kemudian silinder serta isinya ditimbang lalu dicatat (W_2).

Selanjutnya dihitung berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).

2) Berat Isi Padat :

- a. Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya (W_1).
- b. Kemudian silinder diisi dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal, masing-masing setebal $1/3$ dari tinggi silinder.
- c. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada saat dilakukan pemadatan, tongkat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap lapisan.
- d. Lalu permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata. Kemudian menimbang berat silinder serta benda uji dan dicatat (W_4). Kemudian dihitung berat benda uji ($W_5 = W_4 - W_1$).

Perhitungan:

- Berat Isi Agregat Lepas = $\frac{W_3}{V}$
- Berat Isi Agregat Padat = $\frac{W_5}{V}$
- Voids = $\frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)}$ (3.9)

Keterangan:

- W_3 = Berat Benda Uji dalam kondisi lepas (Kg)
- W_5 = Berat benda uji dalam kondisi dipadatkan (Kg)
- V = Volume Tabung Silinder
- S = *Bulk Specific Gravity* (Berat Jenis Agregat)
- M = Berat Isi Agregat (Kg/lt)
- W = Density (Kerapatan) air

5. Pemeriksaan analisa saringan

Pemeriksaan analisa saringan ini menggunakan saringan $3/4''$. Penelitian ini agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (*split*).

Prosedur percobaan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar:

- a. Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
- b. Kemudian benda uji ditimbang sesuai dengan berat yang di tentukan.
- c. Selanjutnya susun saringan dengan menempatkan saringan paling besar dibagian atas. Lalu pan diletakkan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian saringannya ditutup dengan penutup saringan.
- d. Selanjutnya susunan saringan diletakan dalam mesin penggetar saringan (*sieve shaker*). Lalu mesin penggetar saringan dijalankan selama ± 15 menit
- e. Kemudian menimbang berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan.

Perhitungan:

Hitung Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing- masing ayakan terhadap berat total benda uji.

$$FM = \frac{\% \text{ persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \quad (3.10)$$

3.7. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah abu dari hasil pembakaran sekam atau kulit padi dari limbah pabrik penggilingan padi. Warna abu sekam padi dari putih ke abu-abuan sampai hitam, warna ini tergantung dari sumber sekam padi dan suhu pembakaran. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai bahan pengganti semen yang di dapat dari kilang padi yang sudah dibakar di sekitaran Medan.

3.8. Kapur

Kapur adalah material yang berasal dari batuan sedimen berwarna putih dan halus yang terutama tersusun dari mineral kalsium. Kapur yang mempunyai 3 senyawa utama adalah kalsium karbonat, kalsium oksida, dan kalsium hidroksida.

Kapur yang digunakan pada campuran beton ini tidak boleh basah dan bersih dari kotoran-kotoran yang menempel di kapur. Kapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai bahan pengganti semen yang dibeli dari toko material.

3.9. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini digunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI-03-2834 (2000). Salah satu tujuan penelitian digunakan perencanaan campuran beton dengan standar SNI-03-2834 (2000) adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Tingkat derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat saat pengujian slump. Perencanaan campuran adukan beton menurut SNI 03-2834 (2000) adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' pada umur tertentu.
2. Menghitung deviasi standar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.11)$$

Dengan:

S = deviasi standar

x_i = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

\bar{x} = kuat tekan beton rata-rata menurut rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.12)$$

Dengan:

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji.) dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut:

- 1) Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- 2) Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.

- 3) Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 4 hari.
- 4) Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi deviasi standar, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia.

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	$f'c + 12 \text{ Mpa}$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

3. Menghitung nilai tambah margin.

Tabel 3.3: Nilai tambah margin.

Tingkat Mutu Pekerjaan	S (MPa)
Memuaskan	2,8
Hampir memuaskan	3,5
Sangat baik	4,2
Baik	5,7
Sedang	6,5
Kurang	7,0

M adalah nilai tambah 5,7 adalah tingkat mutu pekerjaan baik.

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}).

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (3.13)$$

5. Menetapkan jenis semen.
 6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan.
 7. Menentukan faktor air semen

Menghubungkan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 3.3. Bila dipergunakan gambar 3.2 ikuti langkah-langkah berikut:

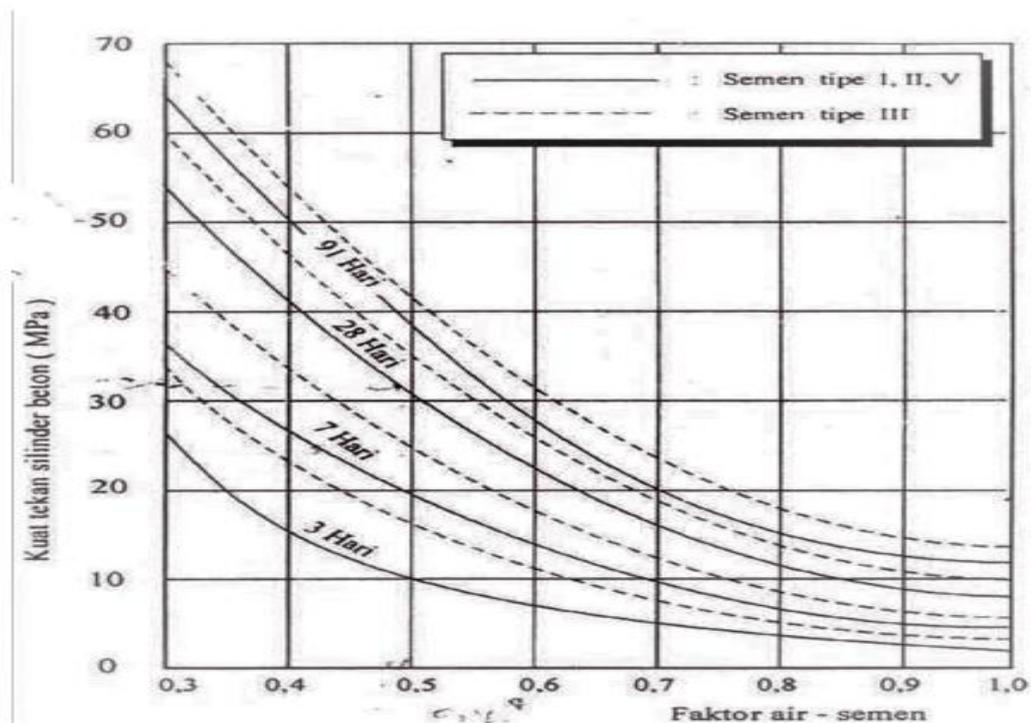
- 1) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 3.3, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.
- 2) Menarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada sub butir 1 di atas.
- 3) Menarik garis lengkung melalui titik pada sub butir 2 secara proporsional.
- 4) Menarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada sub butir 3 di atas.
- 5) Menarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan factor air semen yang diperlukan.

Tabel 3.4: Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen <i>portland</i> Tipe 1	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	

Tabel 3.4: Lanjutan.

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen tahan sulfat Tipe I,II,V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 3.2 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm).

8. Menentukan faktor air semen maksimum atau dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak. Jika nilai faktor air semen yang diperoleh dari butir 7 di atas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka yang dipakai yang terendah.
9. Menentukan slump
Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, didapatkan dan diratakan.
10. Menentukan ukuran agregat maksimum jika tidak ditetapkan. Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:
 - 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan.
 - 2) Sepertiga dari tebal pelat.
 - 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang.
11. Menentukan nilai kadar air bebas
Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:
 - 1) Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada Tabel 3.4.
 - 2) Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut:

$$\frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.14)$$
 Dengan:
 W_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus.
 W_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahanpengerjaan adukan beton.

Ukuran Besar Butir agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak di pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak di pecah	137	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225

Tabel 3.5: *Lanjutan.*

Ukuran Besar Butir agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
40	Batu tak di pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara untuk suhu di atas 25°C, setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m² adukan beton.

12. Menghitung jumlah semen minimum adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen.
13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.
14. Menentukan jumlah semen semimum mungkin, Jika tidak lihat Tabel 3.6 jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan.

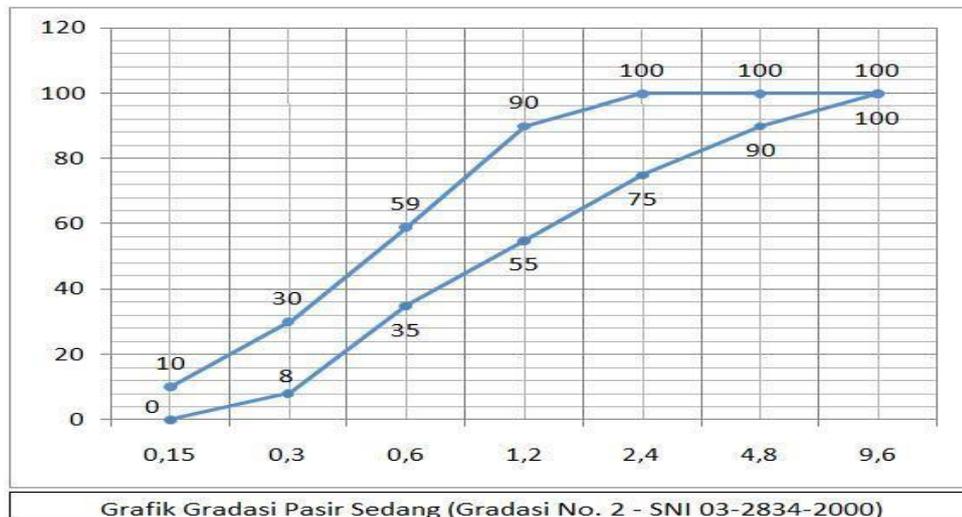
Tabel 3.6: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus.

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 korosi disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan;		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325	0,60
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

Tabel 3.6: Lanjutan.

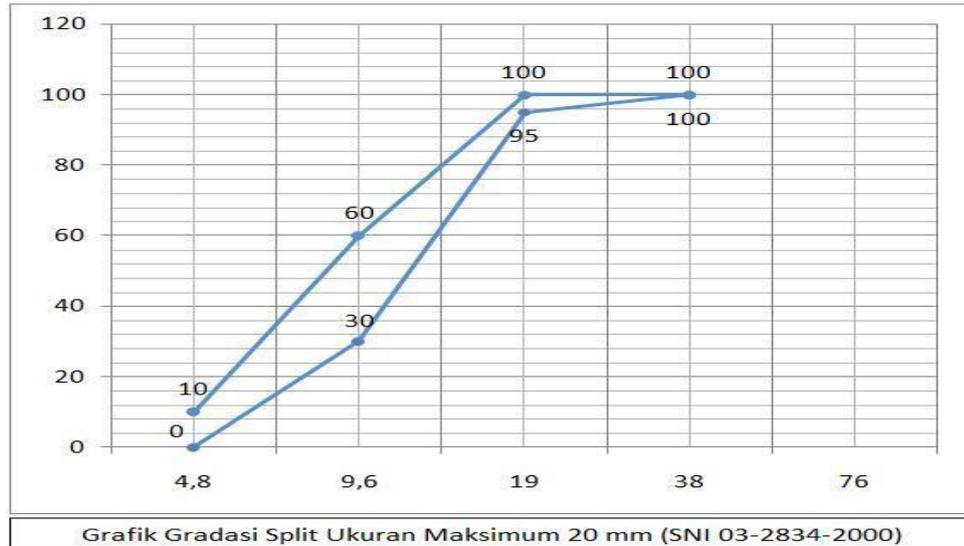
Lokasi	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor Air-Semen Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah: c. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah Beton yang kontinyu berhubungan: c. Air tawar d. Air laut	325	

15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka factor air semen harus diperhitungkan kembali.
16. Menentukan susunan butir agregat halus (pasir kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam Gambar 3.3 (ukuran mata ayakan (mm)).



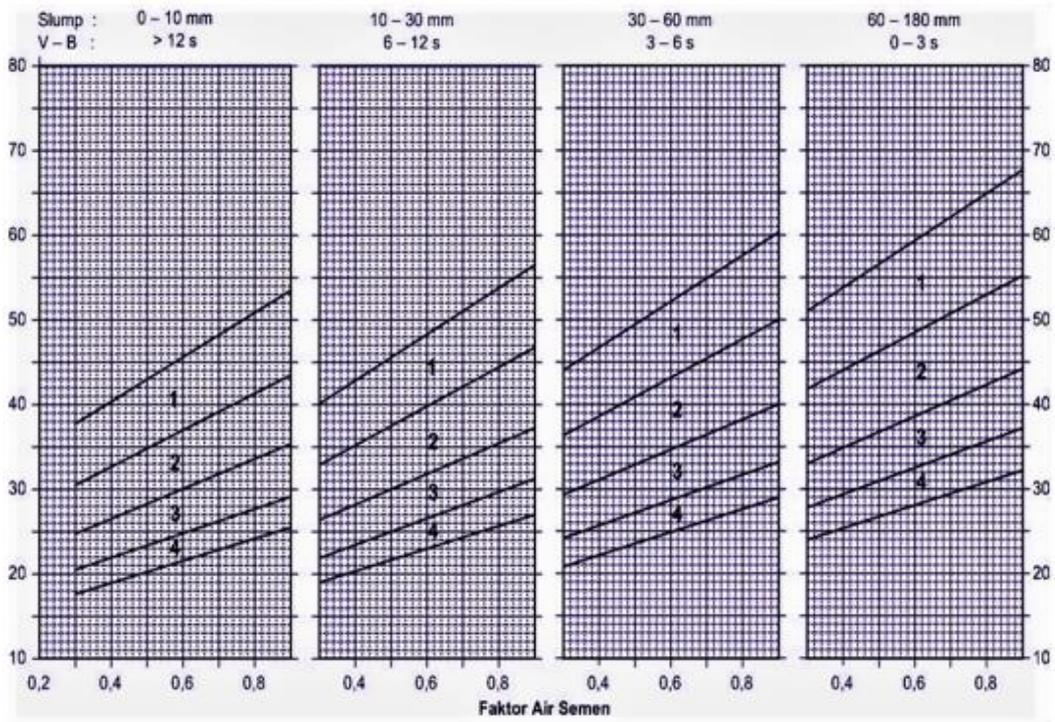
Gambar 3.3: Batas gradasi pasir (Sedang) No. 2.

17. Menentukan susunan agregat kasar menurut Gambar 3.4



Gambar 3.4: Batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm.

18. Menentukan persentase pasir dengan perhitungan ukuran butir agregat maksimum menurut butir 10, slump menurut butir 9, faktor air semen menurut butir 15 dan daerah susunan butir 16, maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada grafik.



Gambar 3.5: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butiran maksimum 20 mm.

19. Menghitung berat jenis relative agregat.

Berat jenis relative agregat ditentukan sebagai berikut:

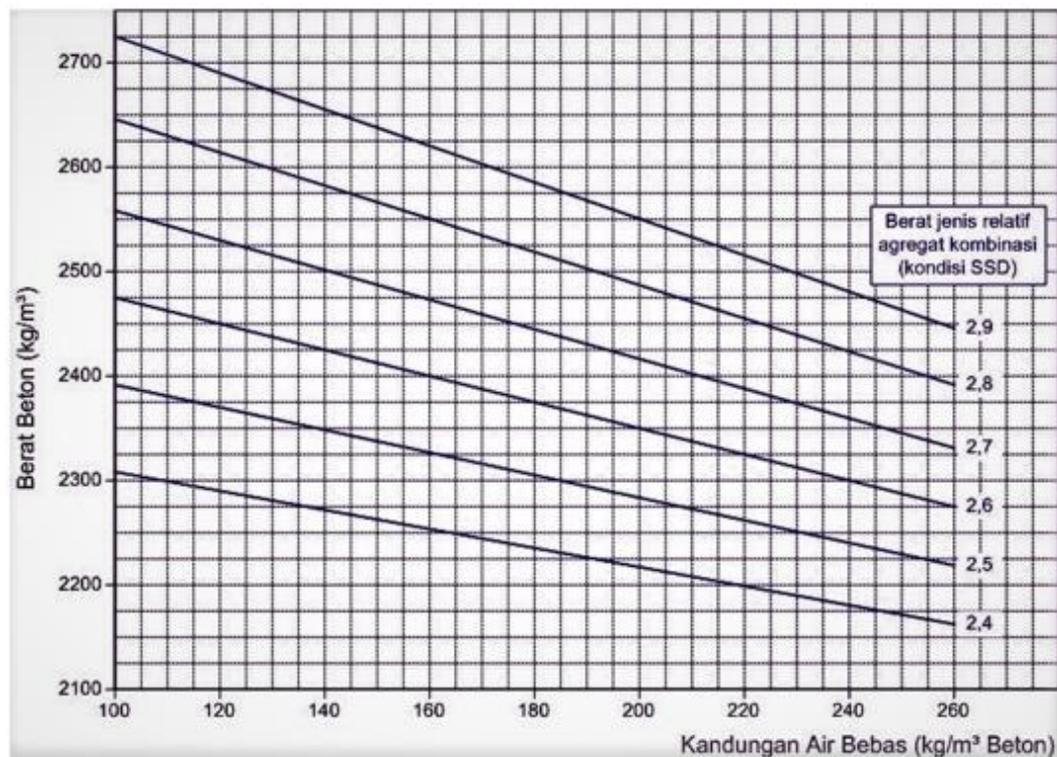
1) Diperoleh dari data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai dibawah ini:

- agregat tak dipecah : 2,5
- agregat dipecah : 2,6 atau 2,7

2) Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut:

berat jenis agregat gabungan = persentase agregat halus x berat jenis agregat halus + persentase agregat kasar x berat jenis agregat kasar.

20. Menentukan berat isi beton menurut Gambar 3.6 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari Tabel 3.5 dan berat jenis relative dari agregat gabungan menurut butir 18.



Gambar 3.6: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton.

21. Menghitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas.

22. Menghitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir butir 18 dengan agregat gabungan butir 21.
23. Menghitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 21 dikurangi kadar agregat halus butir 22 dari langkah-langkah tersebut di atas butir 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1 m³ beton.
24. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.
25. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan.

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan harus dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$1) \text{ Air} = B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (3.15)$$

$$2) \text{ Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \quad (3.16)$$

$$3) \text{ Agregat Kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (3.17)$$

Dengan:

B = jumlah air (kg/m³).

C = agregat halus (kg/m³).

D = agregat kasar (kg/m³).

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%).

D_a = absorpsi agregat kasar (%).

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%).

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%).

3.10. Pembuatan Benda Uji

Benda uji ini dibuat dengan menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan yang berjumlah 8 buah benda uji. Untuk pengujian kuat lentur menggunakan cetakan berbentuk

balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm yang berjumlah 12 buah benda uji, total pembuatan benda uji yaitu sebanyak 20 benda uji.

Dalam pembuatan benda uji, adapun tahapan-tahapan yang harus dilakukan yaitu:

1. Mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan beton.
2. Menimbang bahan-bahan sesuai dengan yang sudah ditentukan.
3. Membersihkan cetakan (*bekisting*) dengan menggunakan kain lap dan skrap, setelah itu mengoleskan dengan menggunakan vaseline.
4. Menghidupkan mesin pengaduk (*mixer*).
5. Masukkan bahan-bahan dimulai dari agregat kasar, agregat halus, setelah itu masukkan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen dan air tunggu sampai tercampur merata.
6. Menuangkan beton segar ke tempat pan dari mesin pengaduk (*mixer*).
7. Memeriksa *slump test* pada beton segar.
8. Memasukkan beton segar ke dalam cetakan (*bekisting*) pengisian 1/3 sambil menggosok tongkat pemadat dengan 25 kali tumbukan hingga penuh.
9. Meratakan permukaan pada cetakan dengan menggunakan sendok semen.
10. Mendinginkan beton hingga 24 jam sampai beton mengeras dengan sempurna.
11. Setelah beton mengering, buka cetakan beton dan rawat beton dengan memasukkan beton ke dalam bak perendaman air selama 28 hari.
12. Setelah perendaman beton sudah 28 hari, angkat beton dari bak perendaman dan keringkan.
13. Melakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur.



Gambar 3.7: Pembuatan benda uji.

3.11. Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI-1972 (2008). Pengukuran tinggi *slump* dilakukan untuk menentukan kondisi kekentalan dan plastisitas pada campuran beton segar (*fresh concrete*). Kekentalan dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan.

Dalam pengujian *slump test*, adapun langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu:

1. Mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan.
2. Membersihkan kerucut *abrams* dan plat dengan menggunakan kain basah.
3. Meletakkan kerucut *abrams* di atas plat yang telah dibuat.
4. Memasukkan beton segar $\frac{1}{3}$ ke dalam kerucut *abrams* dengan melakukan pengerojokan 25 kali.
5. Angkat kerucut *abrams* ke atas hingga beton segar turun dari ketinggian dari kerucut *abrams*
6. Setelah itu ukur dengan menggunakan penggaris secara *vertikal* bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton dan lihat hasil nilai *slump* nya.



Gambar 3.8: Pengujian *slump*.

3.12. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji yang dilakukan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna, sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin. Perawatan benda uji ini dilakukan dengan cara dimasukkan ke dalam bak perendaman, setelah itu benda uji diangkat dari bak perendaman 1 hari sebelum benda uji yang kita uji. Agar benda uji tersebut tidak dalam keadaan basah. Pengujian dilakukan pada saat benda uji umur 28 hari, berarti benda uji diangkat dari bak perendaman pada saat umur 27 hari.

Dalam perawatan benda uji, adapun langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu:

1. Keluarkan benda uji dari cetakan (*bekisting*).
2. Pastikan benda uji sudah kering dengan begitu sempurna.
3. Isi bak perendam dengan air bersih dari Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Memasukkan benda uji secara perlahan-lahan ke dalam bak perendaman.
5. Diamkan benda uji di dalam perendaman pada umur 27 hari.
6. Tunggu benda uji mengering, setelah itu timbang benda uji tersebut.



Gambar 3.9: Perawatan benda uji beton berbentuk silinder dan balok.

Jumlah sampel pengujian untuk setiap variasi terhadap kuat tekan dan lentur semua totalnya yaitu 20 benda uji, dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut:

Tabel 3.7: Jumlah variasi sampel pengujian beton.

No	Variasi Campuran Beton	Pengujian	
		Kuat Tekan	Kuat Lentur
		28 Hari	28 Hari
1.	Beton Normal	2 Sampel	3 Sampel
2.	Beton campuran 50% Ca + 50% ASP	2 Sampel	3 Sampel
3.	Beton campuran 70% Ca + 30% ASP	2 Sampel	3 Sampel
4.	Beton campuran 80% Ca + 20% ASP	2 Sampel	3 Sampel
Jumlah Benda Uji		8 Sampel	12 Sampel
Total Benda Uji		20 Sampel	

3.1.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan SNI 1974 (2011) “Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Uji Silinder”. Kuat tekan (*Compressive Strength*), digunakan untuk

mengetahui kekuatan beton. Sebelum ditekan benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk dapat mengetahui berat jenis beton. Pada mesin uji tekan, benda yang akan diuji diletakkan dan diberikan beban hingga runtuh/hancur, yaitu pada saat beban maksimum yang bekerja.



Gambar 3.10: Pengujian kuat tekan beton.

3.14. Pengujian Kuat Lentur (*Flexural Test*)

Pengujian kuat lentur ini menggunakan SNI 4431 (2011). Pengujian kuat lentur dua titik pembebanan ini dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat lentur dengan metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan lentur pada beton tersebut. Setelah itu benda uji diletakkan ke arah memanjang di atas tumpuan alat penguji, kemudian beban diatur untuk menghidarinya terjadi kebenturan. Kemudian benda uji yang sudah di uji dihitung lebar dan tinggi patahan dari tumpuan. Setelah itu menghitung nilai kuat lentur yang didapatkan pada posisi patahannya tersebut.



Gambar 3.11: Pengujian kuat lentur beton.

3.15. Jadwal Penelitian

Tabel 3.8: Jadwal kegiatan dalam penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan 4				Bulan 5				Bulan 6			
		Minggu				Minggu				Minggu			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan Bahan:												
a.	Agregat kasar (batu pecah)												
b.	Agregat halus (Pasir)												
c.	Semen												
d.	Abu sekam padi												
e.	Kapur												
f.	Air												
2.	Persiapan Alat:												
a.	Izin menggunakan laboratorium												
b.	Bak perendaman												
3.	Pelaksanaan:												

-	Beton variasi 70% Ca + 30% ASP																		
	2 sample kuat tekan																		
	3 sample kuat lentur																		
	Slump Test																		
	Perawatan sampel selama 28 hari																		
-	Beton variasi 80% Ca + 20% ASP																		
	2 sample kuat tekan																		
	3 sample kuat lentur																		
	Slump Test																		
	Perawatan sampel selama 28 hari																		
4.	Pemeriksaan kuat tekan dan kuat lentur beton																		
-	Beton Normal																		
-	Beton variasi 50% ASP + 50% Kapur																		
-	Beton variasi 75% ASP + 25% Kapur																		
	Beton variasi 100% ASP																		
5.	Penyusunan laporan																		

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Sebuah data dari penelitian perlu dilakukan sebuah analisis dan pembahasan untuk memperoleh tujuan yang direncanakan. Pada bab ini akan dijabarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan peneliti di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang diawali dengan pemeriksaan bahan penyusun beton, perencanaan campuran beton, pencampuran bahan penyusun beton, dan pengujian beton yang telah dibuat.

4.2. Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pada pemeriksaan bahan penyusun beton peneliti memperoleh data material meliputi berat jenis, kadar air, kadar lumpur, berat isi, penyerapan serta analisa saringan. Bahan-bahan yang akan digunakan pada pencampuran beton memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sehingga perlu dilakukan pemeriksaan bahan penyusun beton.

4.3. Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa pasir alam yang diperoleh dari Binjai, secara umum mutu pasir Binjai telah memenuhi syarat untuk dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Pada agregat halus dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, analisa gradasi, kadar lumpur, berat isi dan kadar air.

4.3.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air mengacu pada SNI 1970 (2008) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

<i>FINE AGGREGATE</i> (Agregat Halus) <i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan No.4)	<i>Sample</i> 1 (gr)	<i>Sample</i> 2 (gr)	Rata-Rata (gr)
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD)kering permukaan jenuh) (B)	500	500	500
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) kering oven (110° C) Sampai Konstan) (E)	486	488	487
<i>Wt. Of Flask + Water</i> (Berat Piknometer penuh air) (D)	689	692	690.5
<i>Wt. Of Flask + Water + Sample</i> (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air) (C)	993	995	994
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering) $E / (B + D - C)$	2.47	2.47	2.47
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) $B / (B + D - C)$	2.55	2.53	2.54
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu) $E / (E + D - C)$	2.67	2.63	2.65
<i>Absorption</i> $[(B - E) / E] \times 100\%$ (%)	2.88	2.53	2.66

Dari hasil uji berat jenis didapat Berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*) rata-rata sebesar 2,54 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diizinkan yaitu antara 2,2 – 2,7. Penyerapan air (*absorption*) yang di dapat dari hasil pengujian yaitu 2,66%. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering maka sebesar 2,66% dari berat kering agregat sendiri.

4.3.2. Analisa Gradasi Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan mengacu pada SNI 03-1968 (1990) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang analisa saringan agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Hasil pengujian analisa gradasi agregat halus dengan batas Zona 2.

Sieve Size (mm)	Retained Fraction				Cumulative (%)		Limits Zone 2
	Sample I (gr)	Sample II (gr)	Total Weight (gr)	%	Retained	Passing	
4.75 (No.4)	78	83	161	6,44	6,44	93,56	90-100
2.36 (No. 8)	91	102	193	7,72	14,16	85,84	75-100
1.18(No.16)	142	157	299	11,96	26,12	73,88	55-90
0.60 (No.30)	450	394	844	33,76	59,88	40,12	35-59
0.30 (No.50)	329	368	697	27,88	87,76	12,24	8-30
0.15 (No.100)	103	82	185	7,40	95,16	4,84	0-10
Pan	57	64	121	4,84	100	0	0-5
Total	1250	1250	2500	100			

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.4} = \frac{161}{2500} \times 100\% = 6,44 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{193}{2500} \times 100\% = 7,72 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{299}{2500} \times 100\% = 11,96 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{844}{2500} \times 100\% = 33,76 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{697}{2500} \times 100\% = 27,88 \%$$

$$\text{No.100} = \frac{185}{2500} \times 100\% = 7,40 \%$$

$$\text{PAN} = \frac{121}{2500} \times 100\% = 4,84 \%$$

- Persentase Berat Kumulatif Tertahan

$$\text{No.4} = 0 + 6,44 = 6,44 \%$$

$$\text{No.8} = 6,44 + 7,72 = 14,16 \%$$

$$\text{No.16} = 14,16 + 11,96 = 26,12 \%$$

$$\text{No.30} = 26,12 + 33,76 = 59,88 \%$$

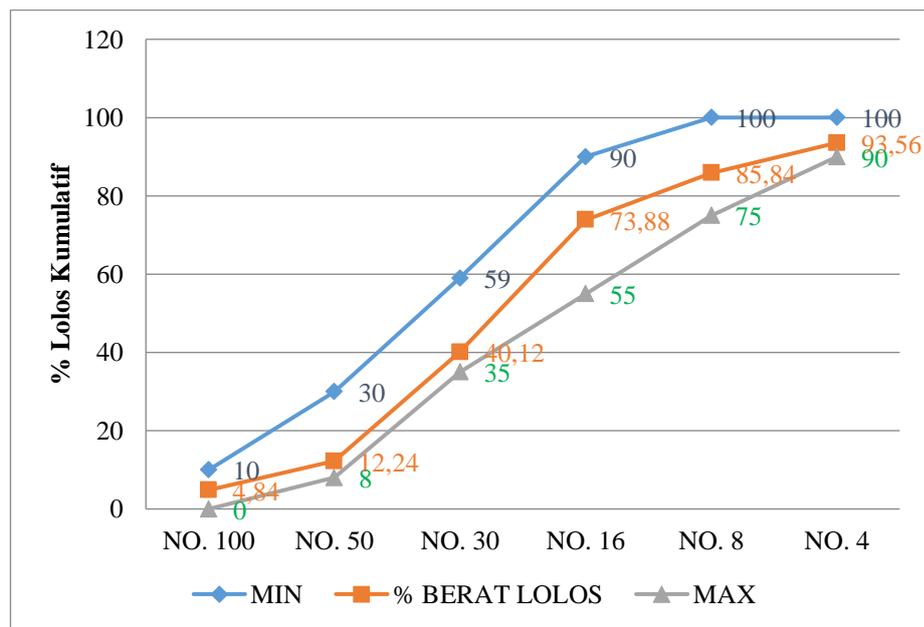
$$\text{No.50} = 59,88 + 27,88 = 87,76 \%$$

$$\text{NO.100} = 87,76 + 7,40 = 95,16 \%$$

$$\text{PAN} = 95,17 + 4,84 = 100 \%$$

Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 289,52 %

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus Kehausan)} &= \frac{\text{Jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} \\ &= \frac{289,52}{100} \\ &= 2,89 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 : Grafik Gradasi Agregat Halus (Zona 2).

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada percobaan ini di dapat FM sebesar 2,89%. Nilai tersebut masih diizinkan untuk termasuk sebagai agregat halus, dimana nilai yang diizinkan adalah 1,5% - 3,8% berada di zona 2.

4.3.3. Kadar Lumpur Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 03-4141 (1996) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar lumpur agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.

Pengujian	Satuan	sample 1	sample 2	Rata- rata
Berat SSD	gr	1000	1000	1000
Berat SSD setelah dicuci	gr	965	968	967
Berat kotoran	gr	35	32	34
Persentase kotoran	%	3,6	3,3	3,5

Dari hasil uji Kadar Lumpur didapat persentase kadar lumpur rata-rata 3,5%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimal 5% (SK SNI S – 04 – 1989 – F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

4.3.4. Berat Isi Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian berat isi mengacu pada SNI 03-4804 (1998) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat isi agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil pengujian berat isi dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan.

Pengujian	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata
Berat contoh	gr	17566	18306	18383	18085
Berat wadah	gr	5336	5336	5336	5336
Berat contoh & wadah	gr	22902	23642	23719	23421
Volume wadah	cm ³	11125,4	11125,4	11125,4	11125,4
Berat isi	gr/cm ³	1,58	1,65	1,65	1,63

Di dapat Berat Isi rata-rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,63 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diizinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm³ (SII No.52 – 1980).

4.3.5. Kadar Air Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar air mengacu pada SNI 1971 (2011) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar air agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Hasil pengujian kadar air agregat halus.

Pengujian	Satuan	Sample 1	Sample 2
Berat contoh SSD dan berat wadah	gr	1493	1509
Berat contoh SSD	gr	1000	1000
Berat contoh kering oven & berat wadah	gr	1481	1498
Berat wadah	gr	493	509
Berat air	gr	12	11
Berat contoh kering	gr	988	989
Kadar air	%	1,21	1,11
Rata-rata		1.16 %	

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata kadar air sebesar 1,16%. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, dengan percobaan pertama di dapat hasil kadar air sebesar 1,21%. Sedangkan percobaan kedua di dapat hasil kadar air sebesar 1,11%.

4.4. Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini digunakan agregat kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari Binjai, secara umum batu pecah ini menunjukkan bahwa mempunyai bentuk ukuran yang bervariasi dengan ukuran maksimal 40 mm. Pada agregat kasar dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan,

analisa gradasi, kadar lumpur, berat isi dan kadar air.

4.4.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air mengacu pada SNI 1969 (2008) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

<i>COARSE AGGREGATE</i> (Agregat Kasar) <i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan N0.4)	<i>Sample</i> 1 (gr)	<i>Sample</i> 2 (gr)	Rata-rata (gr)
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	2492	2456	247
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) kering oven (110° C) Sampai Konstan) (C)	2480	2459	2469.5
<i>Wt. Of SSD Sample in Water</i> (Berat contoh (SSD) didalam air) (B)	1550	1529	1539.5
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering) $C / (A - B)$	2.63	2.65	2,64
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) $A / (A - B)$	2.65	2.65	2,65
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu) $C / (C - B)$	2.67	2.64	2.66
<i>Absorption</i> (Penyerapan) $[(A - C) / C] \times 100 \%$ (%)	0.48	-0,12	0.18

Dari hasil uji berat jenis di dapat Berat jenis SSD (Saturated Surface Dry) rata-rata sebesar 2,65 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diizinkan yaitu antara 2,2 – 2,7. Penyerapan air (*absorption*) yang di dapat dari hasil pengujian yaitu 0,18%. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering maka sebesar 0,18% dari berat kering agregat sendiri.

4.4.2. Analisa Gradasi Agregat Kasar

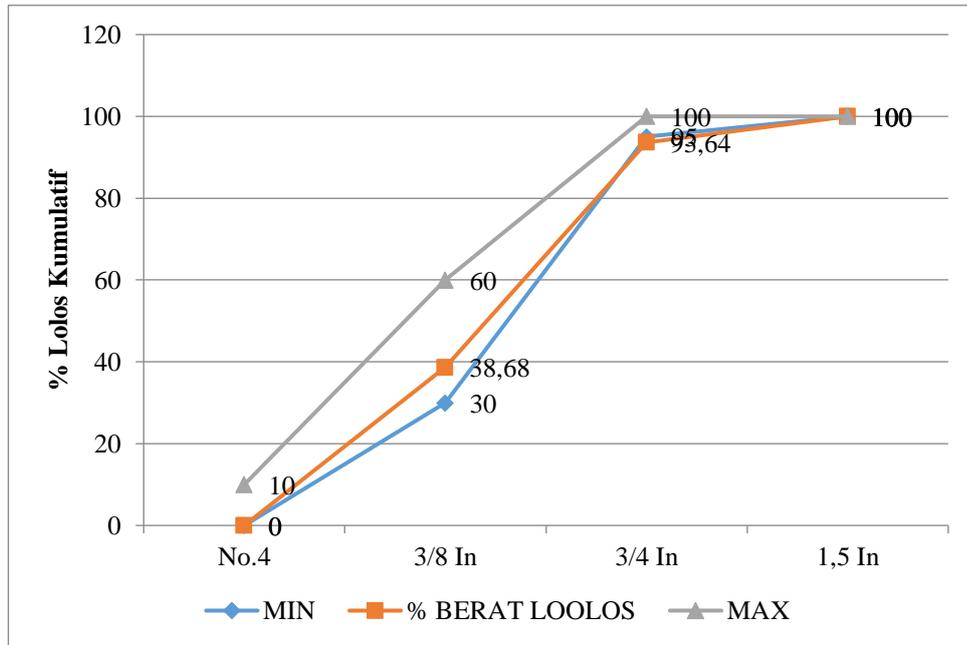
Pelaksanaan pengujian analisa saringan mengacu pada SNI 03-1969 (1990) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang analisa saringan agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hasil pengujian analisa gradasi agregat kasar dengan spesifikasi ukuran maksimal 40 mm.

Sieve Size (mm)	Retained Fraction				Cumulative (%)		Limits Zone 2
	Sample I (gr)	Sample II (gr)	Total Weight (gr)	%	Retained	Passing	
38,1 (1.5 in)	0	0	0	0,00	0,00	100,00	100-100
19.0 (3/4 in)	90	69	159	6,36	6,36	93,64	95-100
9.52 (3/8 in)	705	669	1374	54,96	61,32	38,68	30-60
4.75 (No. 4)	455	512	967	38,68	100	0	0-10
Total	1250	1250	2500	100			

Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 667,68 %

$$\begin{aligned}
 \text{FM (Modulus Kehausan)} &= \frac{\text{Jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} \\
 &= \frac{667,68}{100} \\
 &= 6.67 \%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2: Grafik Gradasi Agregat Kasar

Dari hasil pengujian di dapat hasil FM sebesar 6,67%. Nilai ini melebihi batas yang diizinkan ASTM C33 – 93, yaitu 6 - 7% sehingga gradasi agregat tersebut cenderung kasar.

4.4.3. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 03-4141 (1996) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar lumpur agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Pengujian	Satuan	sample 1	sample 2	Rata-rata
Berat SSD	gr	1500	1500	1500
Berat SSD setelah dicuci	gr	1497	1494	1496
Berat kotoran	gr	3	6	5
Persentase kotoran	%	0,2	0,4	0,3

Dari hasil uji Kadar Lumpur di dapat persentase kadar lumpur rata-rata 0,3%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diizinkan yaitu maksimal 1% (SK SNI S – 04 – 1989 – F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan

4.4.4. Berat Isi Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian berat isi mengacu pada SNI 03-4804 (1998) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat isi agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Hasil pengujian berat isi dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara pengoyang.

Pengujian	Satuan	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata
Berat contoh	gr	18836	19837	20523	19732
Berat wadah	gr	5336	5336	5336	5336
Berat contoh & wadah	gr	24172	25173	25859	25068
Volume wadah	cm ³	11125,4	11125,4	11125,4	11125,4
Berat isi	gr/cm ³	1,69	1,78	1,84	1,77

Di dapat Berat Isi rata-rata dari hasil pengujian di atas ialah 1,77 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm³(SII No.52 – 1980).

4.4.5. Kadar Air Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar air mengacu pada SNI 1971 (2011) serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar air agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Hasil pengujian kadar air agregat kasar.

Pengujian	Satuan	Sample 1	Sample 2
Berat contoh SSD dan berat wadah	gr	2009	1993
Berat contoh SSD	gr	1500	1500
Berat contoh kering oven & berat wadah	gr	2004	1989
Berat wadah	gr	509	493
Berat air	gr	5	4
Berat contoh kering	gr	1495	1496
Kadar air	%	0,33	0,27
Rata-rata		0,30	

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata kadar air sebesar 0,30%. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, dengan percobaan pertama di dapat hasil kadar air sebesar 0,33%. Sedangkan percobaan kedua di dapat hasil kadar air sebesar 0,27%.

4.5. Perencanaan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton

4.5.1. Mix Design Beton Normal Mutu Sedang

Pada hal ini penulis menggunakan data-data dari penelitian sudah melakukan pengetesan dasar pada Tabel 4.11 di bawah ini. Data-data di bawah ini digunakan untuk dalam perencanaan beton atau *mix design* dengan kekuatan yang direncanakan sebesar 25 MPa.

Tabel 4.11: Data-data pengetesan dasar.

No	Data Pengetesan Dasar	Nilai
1.	Berat jenis agregat kasar	2,716 gr/cm ³
2.	Berat jenis agregat halus	2,571 gr/cm ³
3.	Kadar lumpur agregat kasar	0,3 %
4.	Kadar lumpur agregat halus	3,5 %
5.	Berat isi agregat kasar	1,77 gr/cm ³
6.	Berat isi agregat halus	1,63 gr/cm ³

Tabel 4.11: *Lanjutan.*

No	Data Pengetesan Dasar	Nilai
7.	FM agregat kasar	7,086
8.	FM agregat halus	2,775
9.	Kadar air agregat kasar	0,30 %
10.	Kadar air agregat halus	1,16%
11.	Penyerapan agregat kasar	0,18 %
12.	Penyerapan agregat halus	2,66 %
13.	Nilai slump rencana	30 – 60 mm
14.	Ukuran agregat maksimum	40 mm

Maka, dari data-data Tabel 4.12 diatas yaitu membuat perencanaan campuran beton (*Mix Design*) yang berdasarkan SNI 03-2834-2000 seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Perencanaan Campuran Beton (SNI 03-2834-2000).

PERENCANAAN CAMPURAN BETON SNI 03-2834-2000			
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan	Nilai
1	Kuat tarik yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	25 Mpa
2	Deviasi Standar		12 Mpa
3	Nilai tambah (margin)	-	5,7 Mpa
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1 + 2 + 3	42,7 MPa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Tipe I
6	Jenis agregat: - kasar - halus	Ditetapkan Ditetapkan	Batu pecah Binjai Pasir alami Binjai
7	Faktor air-semen bebas	Tabel	0,45
8	Faktor air-semen maksimum	Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	30-60 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 3	170 kg/m ³

Tabel 4.12: Lanjutan.

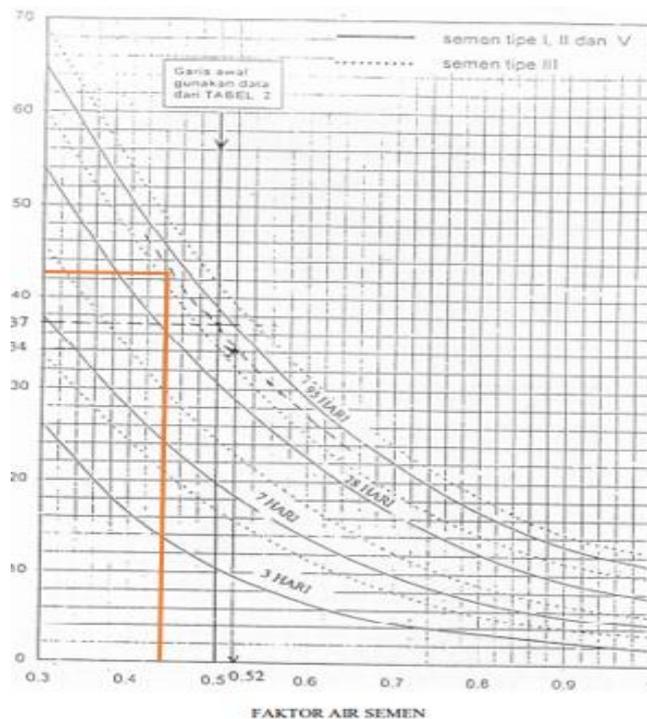
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan		Nilai		
12	Jumlah semen	Item 12		377,77 kg/m ³		
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan		377,77 kg/m ³		
14	Jumlah semen minimum	Ditetapkan		275 kg/m ³		
15	Faktor air-semen yang disesuaikan	Item 7		0,45		
16	Susunan besar butir agregat halus	Gambar 4.1		Daerah gradasi zona 2		
17	Susunan agregat kasar atau gabungan	Gambar 4.2		Gradasi maksimum 40 mm		
18	Persen agregat halus	Item 18		36 %		
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)	Item 19		2,578		
20	Berat isi beton	Gambar 4.5		2450,25 kg/m ³		
21	Kadar agregat gabungan	20 - (12 + 11)		2032,55 kg/m ³		
22	Kadar agregat halus	18 x 21		731,71 kg/m ³		
23	Kadar agregat kasar	21-22		1300,84 kg/m ³		
24	Proporsi campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)		
				Halus	Kasar	
		- Tiap m ³	377,77	170	731,71	1300,95
		- Tiap campuran uji m ³	1	0,450	1,936	3,443
25	Koreksi proporsi campuran					
	- Tiap m ³	377,77	179,84	720,66	1302,40	
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,476	1,907	3,447	
	- Tiap campuran uji 0,0053 m ³ (1 silinder)	2,00	0,953	3,819	6,902	

1. Kuat tarik rencana ($f'c$) = 25 MPa dan benda uji akan dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Deviasi standar deviasi karena benda uji yang direncanakan kurang dari 15, maka nilai yang diambil sebesar 12 MPa.
3. Nilai tambah margin (M) adalah 5,7 MPa.

4. Kuat tarik beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) :

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + \text{Deviasi standar} + M \\ &= 25 + 12 + 5,7 \\ &= 42,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5. Semen yang digunakan seharusnya semen Portland tipe I (ditetapkan)
6. Agregat yang digunakan berupa agregat halus pasir alami dari Binjai dan agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 40 mm dari Binjai.
7. Faktor air semen (FAS), berdasarkan perhitungan pada Gambar 4.3 tentang grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen dengan perkiraan kekuatan tekan beton rata-rata 42,7 MPa, semen yang digunakan semen Portland tipe I, beton dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari, benda ujisilinder dan agregat kasar berupa batu pecah maka digunakan nilai FAS sebesar 0,45.



Gambar 4.3: Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder 15 x 30 cm.

8. Faktor air semen maksimum, berdasarkan Tabel 3.8 mengenai persyaratan faktor air maksimum karena beton berada di lokasi terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka faktor air semen maksimum ditetapkan sebesar 0,60.
9. Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump

rencana sebesar 30-60 mm.

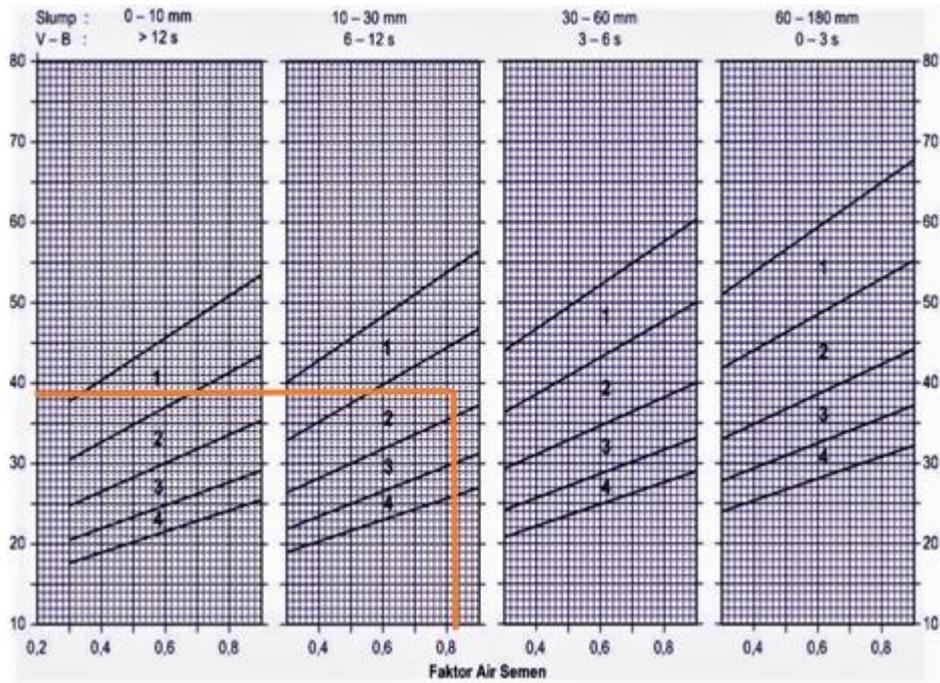
10. Ukuran maksimum yang digunakan sebesar 40 mm.
11. Kadar air bebas agregat campuran, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm dan nilai slump yang ditentukan adalah 30-60 mm sehingga dari Tabel 3.7 diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 160 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 190 sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \\ &= \frac{2}{3}160 + \frac{1}{3}190 \\ &= 170 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

12. Kadar semen dapat dihitung dengan cara nilai kadar air bebas dibagi faktor air semen, maka jumlah semen yang digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar air semen} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{Faktor Air Semen}} \\ &= \frac{170}{0,45} \\ &= 377,77 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

13. Kadar semen maksimum sebesar 377,77 kg/m
14. Kadar semen minimum untuk beton yang direncanakan di dalam ruangan dan terlindung dari hujan serta terik matahari langsung dari Tabel 3.8 mempunyai kadar semen minimum per- m^3 sebesar 275 kg.
15. Faktor air semen yang disesuaikan berdasarkan Gambar 4.3 yaitu sebesar 0,45.
16. Susunan butir agregat halus berdasarkan Gambar 4.1 yaitu batas gradasi pasir no.2.
17. Susunan butir agregat kasar berdasarkan Gambar 4.2 yaitu batas gradasi kerikil ukuran maksimum 40 mm.
18. Persentase agregat halus, dengan mengacu pada slump 30-60 mm, faktor air semen 0,45 dan ukuran butir maksimum 40 mm serta agregat halus berada pada gradasi 2 maka persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada Gambar 4.4. Sehingga diperoleh persentase halus batas bawah sebesar.

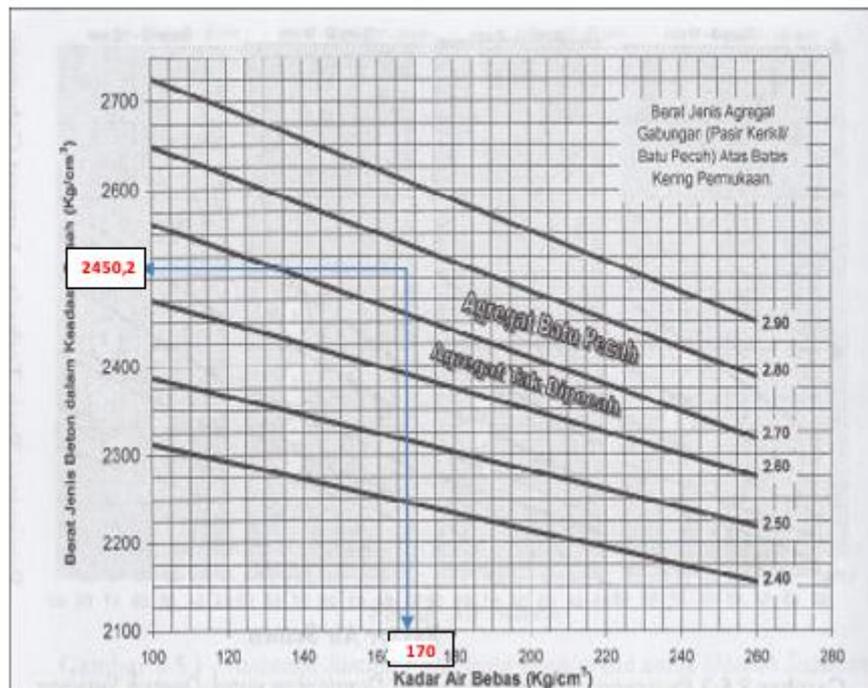


Gambar 4.4: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm pada fas 0,45(SNI 03-2834-2000).

19. Menghitung berat jenis relatif agregat (kering permukaan) SSD

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Relatif} &= (AH \times BJAH) + (AK \times BJAK) \\
 &= (0,360 \times 2,571) + (0,610 \times 2,716) \\
 &= 2,578 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

20. Berat isi beton diperoleh dari Gambar 4.5 dengan nilai kadar air bebas yang digunakan sebesar 170 dan berat jenis gabungan sebesar 2,578, maka diperoleh nilai berat isi beton sebesar 2487,5 kg/m³



Gambar 4.5: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton pada fas 0,45 (SNI 03-2834-2000).

21. Kadar agregat gabungan diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - (\text{kadar semen} + \text{kadar air bebas}) \\ &= 2450,25 - (170 + 377,77) \\ &= 2032,55 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

22. Kadar agregat halus diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \text{Kadar agregat gabungan} \times \% \text{AH} \\ &= 0,360 \times 2032,55 \\ &= 731,71 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

23. Kadar agregat kasar diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 2032,55 - 731,71 \\ &= 1300,84 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

24. Proporsi Campuran

Kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m^3 adukan.

$$\text{- Semen} = \frac{377,77}{377,77} = 1$$

$$\begin{aligned}
- \text{ Air} &= \frac{170}{377,77} = 0,450 \\
- \text{ Pasir} &= \frac{731,71}{377,77} = 1,936 \\
- \text{ Batu Pecah} &= \frac{1300,84}{377,77} = 3,443
\end{aligned}$$

25. Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari

Diketahui:

$$\begin{aligned}
- \text{ Jumlah air (B)} &= 170 \text{ kg/m}^3 \\
- \text{ Jumlah agregat halus (C)} &= 731,71 \text{ kg/m}^3 \\
- \text{ Jumlah agregat kasar (D)} &= 1300,84 \text{ kg/m}^3 \\
- \text{ Penyerapan agregat halus (C}_a\text{)} &= 2,67\% \\
- \text{ Penyerapan agregat kasar (D}_a\text{)} &= 0,18\% \\
- \text{ Kadar air agregat halus (C}_k\text{)} &= 1,16\% \\
- \text{ Kadar air agregat kasar (D}_k\text{)} &= 0,30\%
\end{aligned}$$

a. Air

$$\begin{aligned}
\text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\
&= 170 - (1,16 - 2,67) \times \frac{731,71}{100} - (0,30 - 0,18) \times \frac{1300,84}{100} \\
&= 179,48 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

b. Agregat halus

$$\begin{aligned}
\text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \\
&= 731,71 + (1,16 - 2,67) \times \frac{731,71}{100} \\
&= 720,66 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

c. Agregat Kasar

$$\begin{aligned}\text{Agregat Kasar} &= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 1300,84 + (0,30 - 0,18) \times \frac{1300,84}{100} \\ &= 1302,40 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Maka untuk tiap m³ diperlukan:

-Semen	= 377,77 : 377,77	= 1
-Air	= 179,84 : 377,77	= 0,476
-Agregat halus	= 720,66 : 377,77	= 1,907
-Agregat kasar	= 1302,40 : 377,77	= 3,447

4.6. Kebutuhan Bahan

Berdasarkan hasil *mix design* beton normal mutu sedang maka kebutuhan bahan untuk 1 m³ sebagai berikut:

- PC = 377,77 kg/m³
- Agregat halus = 720,66 kg/m³
- Agregat kasar = 1302,40 kg/m³
- Air = 179,84 kg/m³

a. Untuk satu benda uji silinder (kg)

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut:

- Tinggi = 30 cm = 0,3 m
- Lebar = 15 cm = 0,15 m

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \pi r^2 t \\ &= \frac{22}{7} \times \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka,

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
= Banyak semen x Volume 1 benda uji

$$= 377,77 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 2,00 \text{ kg}$$

- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 - = Banyak pasir x Volume 1 benda uji
 - = $720,66 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 - = 3,819 kg
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 - = Banyak batu pecah x Volume 1 benda uji
 - = $1302,40 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 - = 6,902
- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 - = Banyak air x Volume 1 benda uji
 - = $179,84 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 - = 0,953 kg

Proporsi campuran untuk 1 benda uji dengan volume 0.0053 m^3 dalam satuan kg adalah:

Semen	:	Pasir	:	Batu pecah
2,00	:	3,819	:	6,902

Berdasarkan dari analisa saringan maka yang di dapat dari berat untuk masing-masing saringan untuk 1 benda uji silinder. Untuk agregat halus tertera pada Tabel 4.13, sedangkan untuk agregat kasar tertera pada Tabel 4.14. Nilai total berat tertahan di dapat dari % berat tertahan dikalikan dengan jumlah total agregat yang telah di dapat dari perbandingan.

Tabel 4.13: Banyaknya agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji silinder.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$
No.4	6,44	0,246
No.8	7,72	0,295
No.16	11,96	0,457
No.30	33,76	1,289
No.50	27,88	1,066
No.100	7,40	0,282
Pan	4,84	0,184
Total		3,819

Berdasarkan dari Tabel 4.13 di atas menjelaskan jumlah berat yang tertahan untuk agregat halus yang dibutuhkan setiap 1 benda uji adalah saringan No.4 sebesar, 0,246 kg, No.8 sebesar 0,295 kg, No.16 sebesar 0,457 kg, No.30 sebesar 1,289 kg, No.50 sebesar 1,066 kg, No.100 sebesar 0,282 kg dan pan sebesar 0,184 kg. Dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan buat 1 benda uji sebesar 3,819 kg.

Tabel 4.14: Banyaknya agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji silinder.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
1,5''	0	0
3/4''	6,36	0,439
3/8''	54,96	3,793
No. 4	38,68	2,670
Total		6,902

Berdasarkan dari Tabel 4.14 menjelaskan jumlah berat yang tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan setiap 1 benda uji adalah saringan 1,5” sebesar 0 kg, 3/4” sebesar 0,439 kg, 3/8” sebesar 3,793 kg dan no.4 sebesar 2,671 kg. Dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan buat 1 benda uji sebesar 6,903 kg.

- Kapur (Ca)

Penggunaan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kapur hidrolis sebesar 50%, 70% dan 80% dari berat pengganti semen keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.15: Banyaknya kapur yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.

Persentase banyaknya kapur (%)	Banyaknya kapur dari berat semen (gr)
50%	1000
70%	1400
80%	160

- Abu Sekam Padi (ASP)

Penggunaan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ASP sebesar 50%, 30% dan 20% dari berat pengganti semen keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.16: Banyaknya ASP yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.

Persentase banyaknya ASP (%)	Banyaknya abu sekam padi dari berat semen (gr)
50%	1000
30%	600
20%	400

Tabel 4.17: Variasi penambahan kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen keseluruhan.

Kapur (Ca)	Abu sekam padi (ASP)
0 %	0 %
50 %	50 %
70 %	30 %
80 %	20 %

Keterangan:

1. 0 % Kapur (Ca) + 0 % Abu Sekam Padi (ASP)
2. 50 % Kapur (Ca) + 50 % Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan
3. 70 % Kapur (Ca) + 30 % Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan
4. 80 % Kapur (Ca) + 20 % Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat yaitu sebanyak 8 benda uji yang berbentuk silinder, banyak bahan yang dibutuhkan untuk 8 benda uji adalah:

- Semen yang dibutuhkan untuk 8 benda uji

$$= \text{Banyak semen 1 benda uji} \times 8 \text{ benda uji}$$

$$= 2,00 \times 8$$

$$= 16,000 \text{ kg}$$

Dikarenakan penelitian ini tidak memakai semen, bahan pengganti semen keseluruhan untuk benda uji silinder adalah kapur dan abu sekam padi:

- Kapur (Ca) 50% + Abu Sekam Padi (ASP) 50 % sebagai pengganti semen

$$= \text{Banyak kapur dan ASP 1 benda uji} \times 3 \text{ benda uji}$$

$$= 1000 + 1000 \times 2$$

$$= 4,000 \text{ kg}$$

- Kapur (Ca) 70% + Abu Sekam Padi (ASP) 30 % sebagai pengganti semen

$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak kapur dan ASP 1 benda uji} \times 2 \text{ benda uji} \\
&= 1400 + 600 \times 2 \\
&= 4,000 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Kapur (Ca) 80 % + Abu Sekam Padi (ASP) 20% sebagai pengganti semen

$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak kapur dan ASP 1 benda uji} \times 2 \text{ benda uji} \\
&= 1600 + 400 \times 2 \\
&= 4,000 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Pasir yang dibutuhkan untuk 8 benda uji
$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak pasir untuk 1 benda uji} \times 8 \\
&= 3,819 \times 8 \\
&= 30,552 \text{ kg}
\end{aligned}$$
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 8 benda uji
$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak batu pecah untuk 1 benda uji} \times 8 \\
&= 6,902 \times 8 \\
&= 55,216 \text{ kg}
\end{aligned}$$
- Air yang dibutuhkan untuk 8 benda uji
$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak air untuk 1 benda uji} \times 8 \\
&= 0,953 \times 8 \\
&= 7,624 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Proporsi campuran untuk 8 benda uji dengan volume 0.0053 m³ dalam satuan kg adalah:

Semen	:	Pasir	:	Batu pecah
16,000	:	30,552	:	55,216

Berdasarkan analisa saringan untuk 8 benda uji, maka di dapat berat untuk masing-masing saringan pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.

Tabel 4.18: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 8 benda uji silinder.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
1,5''	0	0
3/4''	6,36	3,512
3/8''	54,96	30,347
No. 4	38,68	21,357
Total		55,216

Berdasarkan dari Tabel 4.18 yang menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 8 benda uji adalah saringan 1,5'' sebesar 0 kg, saringan 3/4'' sebesar 3,512 kg, saringan 3/8'' sebesar 30,347 kg dan saringan No.4 sebesar 21,357 kg dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 8 benda uji yaitu sebesar 55,216 kg.

Sedangkan untuk yang berat tertahan setiap saringan untuk agregat halus dilihat berdasarkan dari Tabel 4.19 dalam 8 benda uji adalah saringan No.4 sebesar 1,967 kg, saringan No.8 sebesar 2,359 kg, saringan No.16 sebesar 3,654 kg, saringan No.30 sebesar 10,314 kg, saringan No.50 sebesar 8,518 kg, saringan No.100 sebesar 2,261 kg dan Pan sebesar 1,479 kg dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 8 benda uji sebesar 30,552 kg.

Tabel 4.19: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 8 benda uji silinder.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$
No.4	6,44	1,967
No.8	7,72	2,359
No.16	11,96	3,654
No.30	33,76	10,314
No.50	27,88	8,518
No.100	7,40	2,261
Pan	4,84	1,479
Total		30,552

b. Untuk satu benda uji balok (kg)

Menggunakan cetakan balok dengan ukuran:

- Panjang = 60 cm = 0,60 m
- Lebar = 15 cm = 0,15 m
- Tinggi = 15 cm = 0,15 m

$$\begin{aligned} \text{Volume balok} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= 0,60 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0135 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka,

- Semen yang dibutuhkan untuk satu benda uji balok
 - = Banyak semen x Volume 1 benda uji
 - = $377,77 \text{ kg/m}^3 \times 0,0135 \text{ m}^3$
 - = 5,099 kg

Bahan pengganti semen keseluruhan untuk benda uji balok adalah abu sekam padi dan kapur:

- Kapur (Ca) 50% + Abu Sekam Padi (ASP) 50 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 2549,5 kg + 2549,5 kg x 3
 - = 15,297 kg
- Kapur (Ca) 70% + Abu Sekam Padi (ASP) 30 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 3569,3 kg + 1529,7 kg x 3
 - = 15,297 kg
- Kapur (Ca) 80 % + Abu Sekam Padi (ASP) 20 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 4079,2 kg + 1019,8 kg x 3
 - = 15,297 kg
- Pasir yang dibutuhkan untuk satu benda uji balok
 - = Banyak pasir x Volume 1 benda uji
 - = 720,66 kg/m³ x 0,0135 m³
 - = 9,728 kg
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk satu benda uji balok
 - = Banyak batu pecah x Volume 1 benda uji
 - = 1302,40 kg/m³ x 0,0135 m³
 - = 17,582 kg
- Air yang dibutuhkan untuk satu benda uji balok
 - = Banyak air x Volume 1 benda uji
 - = 179,84 kg/m³ x 0,0135 m³
 - = 2,427 kg

Maka perbandingan untuk 1 benda uji bentuk balok dalam kg adalah:

Semen	:	Pasir	:	Batu pecah
5,099	:	9,728	:	17,582

Berdasarkan dari analisa saringan maka yang di dapat berat dari masing-masing saringan untuk 1 benda uji. Untuk agregat halus tertera pada Tabel 4.20 dan untuk agregat kasar tertera pada Tabel 4.21.

Tabel 4.20: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 1 benda uji balok.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$
No.4	6,44	0,627
No.8	7,72	0,751
No.16	11,96	1,164
No.30	33,76	3,284
No.50	27,88	2,712
No.100	7,40	0,720
Pan	4,84	0,470
Total		9,728 kg

Berdasarkan dari Tabel 4.20 yang menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat halus yang dibutuhkan setiap 1 benda uji yaitu saringan No.4 sebesar 0,627 kg, No.8 sebesar 0,751 kg, No.16 sebesar 1,164 kg, No.30 sebesar 3,284, No.50 sebesar 2,712, No.100 sebesar 0,720 dan pan sebesar 0,470. Dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan buat 1 benda uji sebesar 9,728 kg.

Tabel 4.21: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 1 benda uji balok.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
1,5''	0	0
3/4''	6,36	1,119

Tabel 4.21: *Lanjutan.*

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
3/8"	54,96	9,663
No.4	38,68	6,800
Total		17,582

Berdasarkan dari Tabel 4.21 yang menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan setiap 1 benda uji yaitu saringan 1,5" sebesar 0 kg, 3/4" sebesar 1,119 kg, 3/8" sebesar 9,663 kg, No.4 sebesar 6,800. Dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan buat 1 benda uji sebesar 17,582 kg.

- Kapur (Ca)

Penggunaan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kapur hidrolis sebesar 50%, 70% dan 80% dari berat pengganti semen keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.22: Banyaknya kapur yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok.

Persentase banyaknya kapur (%)	Banyaknya kapur dari berat semen (gr)
50%	2549,5
70%	3569,3
80%	4079,2

- Abu Sekam Padi (ASP)

Penggunaan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ASP sebesar 50%, 30% dan 20% dari berat pengganti semen keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.23: Banyaknya abu sekam padi yang dibutuhkan untuk 1 benda uji balok.

Persentase banyaknya ASP (%)	Banyaknya abu sekam padi dari berat semen (gr)
50%	2549,5
30%	1529,7
20%	1019,8

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 12 benda uji balok, banyak bahan yang dibutuhkan untuk 12 benda uji adalah:

- Semen yang dibutuhkan untuk 12 benda uji balok
 - = Banyak semen 1 benda uji x 12 benda uji
 - = 5549 x 12
 - = 66.588 kg

Dalam penelitian ini tidak memakai semen, tetapi pengganti semen yaitu menggunakan bahan Kapur (Ca) dan Abu Sekam Padi (ASP)

- Kapur (Ca) 50% + Abu Sekam Padi (ASP) 50 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 2549,5 kg + 2549,5 kg x 3
 - = 15.297 kg
- Kapur (Ca) 70% + Abu Sekam Padi (ASP) 30 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 3569,3 kg + 1529,7 kg x 3
 - = 15.297 kg
- Kapur (Ca) 80 % + Abu Sekam Padi (ASP) 20 % sebagai pengganti semen
 - = Banyak kapur dan ASP 1 benda uji x 3 benda uji
 - = 4079,2 kg + 1019,8 kg x 3
 - = 15.297 kg
- Pasir yang dibutuhkan untuk 12 benda uji balok
 - = Banyak pasir 1 benda uji x 12 benda uji
 - = 9,728 x 12

$$= 116,736 \text{ kg}$$

- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 12 benda uji balok
 - = Banyak batu pecah 1 benda uji x 12 benda uji
 - = $17,582 \times 12$
 - = 210,984 kg
- Air yang dibutuhkan untuk 12 benda uji balok
 - = $2,427 \times 12$
 - = 29,124 kg

Maka perbandingan untuk 12 benda uji balok dalam satuan kilogram (kg) adalah:

Semen : Pasir : Batu pecah
 66.588 : 116,736 : 210,984

Berdasarkan analisa saringan 12 untuk benda uji, maka di dapat berat untuk masing-masing saringan pada Tabel 4.24 dan Tabel 4.25.

Tabel 4.24: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji balok.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
1,5"	0	0
3/4"	6,36	13,418
3/8"	54,96	115,957
No.4	38,68	81,609
Total		210,984

Berdasarkan dari Tabel 4.24 yang menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk setiap saringan dalam 12 benda uji ialah saringan 1,5" sebesar 0 kg, saringan 3/4" sebesar 13,418 kg, saringan 3/8" sebesar

115,957 kg dan saringan No.4 sebesar 81,609 kg dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 12 benda uji sebesar 210,984 kg.

Sedangkan untuk berat tertahan setiap saringan untuk agregat halus dilihat berdasarkan Tabel 4.25 dalam 12 benda uji ialah saringan No.4 sebesar 7,518 kg, saringan No.8 sebesar 9,012 kg, saringan No.16 sebesar 13,962 kg, saringan No.30 sebesar 39,410 kg, saringan No.50 sebesar 32,546 kg, saringan No.100 sebesar 8,638 kg, dan Pan sebesar 5,650 kg dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 12 benda uji sebesar 116,736 kg.

Tabel 4.25: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji balok.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$
No.4	6,44	7,518
No.8	7,72	9,012
No.16	11,96	13,962
No.30	33,76	39,410
No.50	27,88	32,546
No.100	7,40	8,638
Pan	4,84	5,650
Total		116,736

4.7. Pengambilan Nilai *Slump Test*

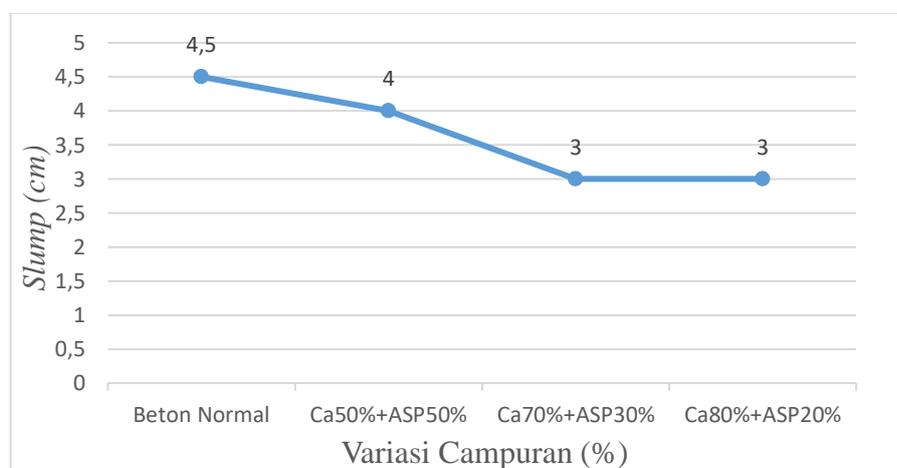
Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut *abrams* dengan cara mengisi kerucut *abrams* dengan beton segar sebanyak 3 lapis, tiap lapis kira-kira 1/3 dari isi kerucut pada tiap lapisan dilakukan penusukan/rojokan sebanyak 25 kali, tongkat penusuk harus masuk sampai bagian bawah tiap-tiap lapisan setelah pengisian selesai ratakan permukaan kerucut lalu angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam

waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan dalam waktu tidak lebih 2,5 menit, ukur tinggi adukan selisih tinggi kerucut dengan adukan adalah nilai dari perencanaan *slump* pada *mix design* yaitu 3 – 6 mm.

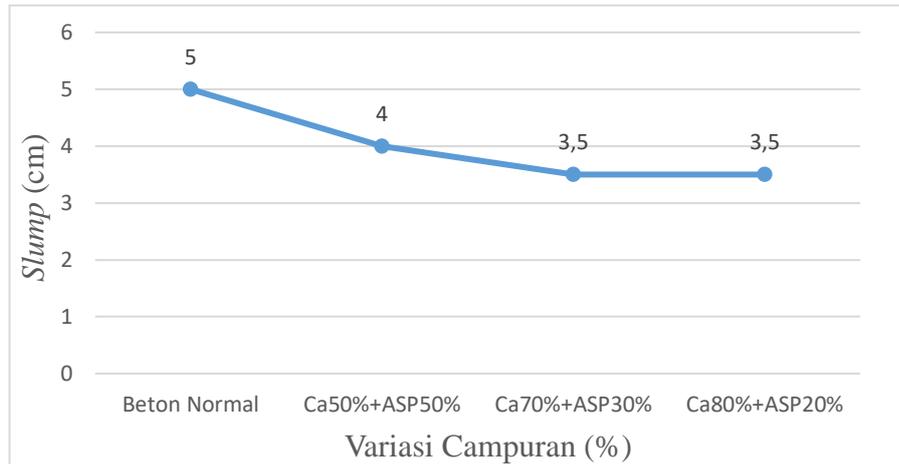
Tabel 4.26: Hasil pengujian nilai *slump* untuk benda uji silinder dan balok.

No.	Variasi campuran	<i>Slump</i> (cm)	
		Silinder	Balok
1.	Beton Normal	4,5	5
2.	Beton campuran Ca 50% + ASP 50%	4	4
3.	Beton campuran Ca 70% + ASP 30%	3	3,5
4.	Beton campuran Ca 80% + ASP 20%	3	3,5

Berdasarkan pada Tabel 4.26 dimana penggunaan abu sekam padi memiliki nilai *slump* di bawah beton normal. Hal ini disebabkan abu sekam padi memiliki kemampuan penyerapan air yang sangat tinggi. Penurunan nilai *slump* yang terjadi ini yaitu pada beton silinder 4,5 – 3 cm, untuk beton pada balok yaitu nilai *slump* 5 – 3,5 cm, semakin banyak persentase yang digunakan maka nilai *slump* yaitu di bawah beton normal.



Gambar 4.6: Grafik nilai *slump* pada beton normal dan beton campuran silinder.



Gambar 4.7: Grafik nilai *slump* pada beton normal dan beton campuran bentuk balok.

Berdasarkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menjelaskan perbandingan nilai *slump* pada beton normal dengan beton campuran Ca 50% + 50% ASP%, Ca 70% + 30% ASP, dan Ca 80% + 20 ASP% sebagai pengganti semen keseluruhan, dimana pada beton normal silinder mendapatkan nilai *slump* 4,5 cm sedangkan untuk beton normal balok mendapatkan nilai *slump* yaitu 5 cm sesuai dengan rencana pada *mix design*, sedangkan beton campuran Ca dan ASP mendapatkan nilai *slump* 3 – 4 cm.

4.8. Hasil Dan Analisa Penyerapan Air Pada Beton

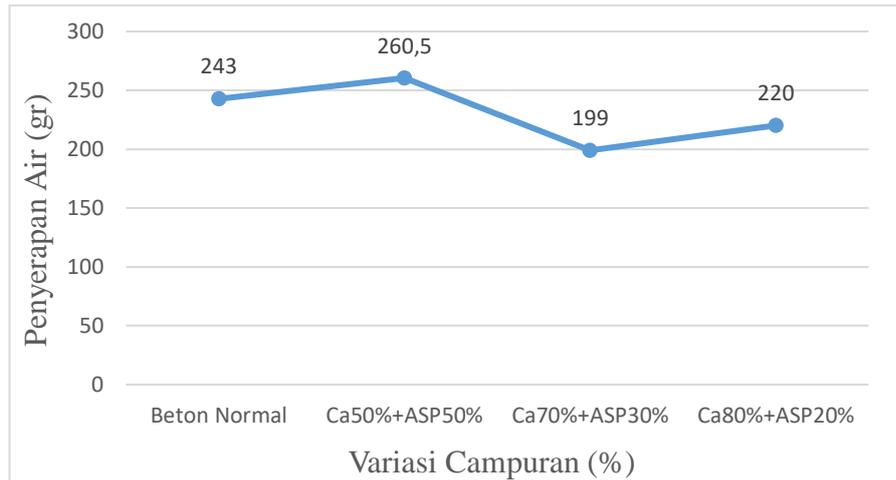
4.8.1. Penyerapan Air Pada Beton Bentuk Silinder

Pada penyerapan air merupakan air yang masuk ke dalam melalui rongga-rongga pada beton melalui permukaan hingga lapisan dalam pada ketika benda uji saat perendaman.

Tabel 4.27: Hasil pengujian penyerapan pada beton silinder normal dan beton dengan campuran Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen keseluruhan.

Benda Uji	Umur Beton (hari)	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (Kg)	Sesudah (Kg)		
Beton normal					
BN-1	28	11445	11551	106	243
BN-2	28	11200	11580	380	
Beton campuran Ca 50% + ASP 50% pengganti semen					
BC-1	28	10409	10604	195	260,5
BC-2	28	10359	10490	131	
Beton campuran Ca 70% + ASP 30% pengganti semen					
BC-3	28	10639	10744	105	199
BC-4	28	10753	10923	188	
Beton campuran Ca 70% + ASP 30% pengganti semen					
BC-5	28	11221	11363	142	220
BC-6	28	11215	11371	156	

Berdasarkan pada Tabel 4.27 dimana penyerapan pada beton normal silinder mendapatkan nilai penyerapan rata-rata 243 gr, untuk beton variasi Ca 50% + ASP 50% mendapatkan nilai penyerapan 260,5 gr, untuk beton variasi Ca 70% + ASP 30% mendapatkan nilai penyerapan 199 gr, untuk beton variasi Ca 80% + ASP 20% mendapatkan nilai penyerapan 220 gr, semakin banyak persentase yang digunakan pada abu sekam padi maka penyerapan air pada beton semakin tinggi penyerapannya air, karena abu sekam padi memiliki penyerapan air yang tinggi.



Gambar 4.8: Grafik perbandingan penyerapan air beton silinder

Berdasarkan dari Gambar 4.8 yang menjelaskan bahwa penyerapan air pada beton silinder untuk beton normal mendapatkan nilai penyerapan sebesar 245 gr, campuran beton variasi mendapatkan nilai penyerapan Ca 50% + ASP 50% = 260,5 gr, untuk variasi Ca 70% + ASP 30% = 199 gr, untuk variasi Ca 80% + ASP % = 220 gr. Pada penyerapan air beton yang nilainya tertinggi yaitu pada beton variasi campuran Ca 50% + ASP 50% mendapatkan nilai sebesar 260 gr, dan beton penyerapan air yang nilainya terendah yaitu pada beton variasi campuran Ca 70% + ASP 30% mendapatkan nilai sebesar 199 gr.

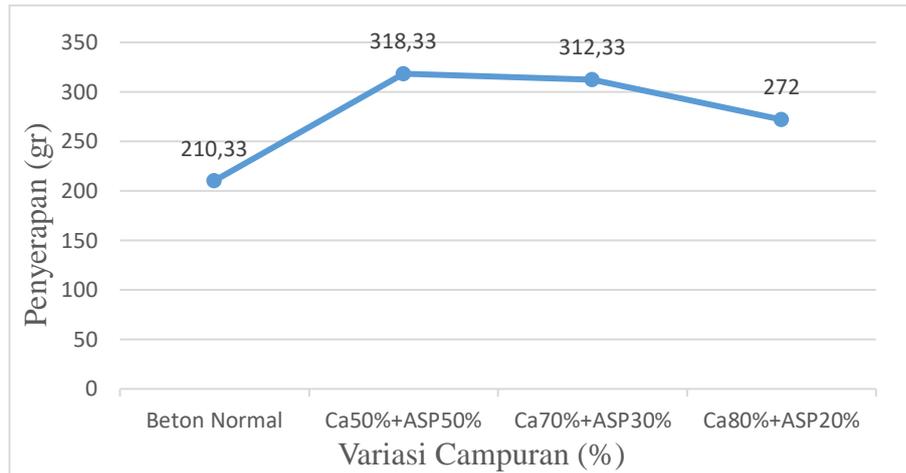
4.8.2. Penyerapan Air Pada Beton Bentuk Balok

Pada penyerapan air merupakan air yang masuk kedalam melalui rongga-rongga pada beton melalui permukaan hingga lapisan dalam pada ketika benda uji saat perendaman.

Tabel 4.28: Hasil pengujian penyerapan pada beton berbentuk balok normal dan beton dengan campuran Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen.

Benda Uji	Umur Beton (hari)	Berat Beton Pada Perendaman		Penyerapan Air Pada Beton (gr)	Rata-rata Penyerapan Air Pada Beton (gr)
		Sebelum (Kg)	Sesudah (Kg)		
Beton normal					
A-1	28	32,004	32,190	186	210,33
A-2	28	32,438	32,650	212	
A-3	28	32,167	32,400	233	
Beton campuran Ca 50% + ASP 50% pengganti semen					
B-1	28	29,316	29,645	329	318,33
B-2	28	29,255	29,633	378	
B-3	28	29,304	29,552	248	
Beton campuran Ca 70% + ASP 30% pengganti semen					
C-1	28	28,210	28,590	380	312,33
C-2	28	28,230	28,563	333	
C-3	28	28,421	28,645	224	
Beton campuran Ca 80% + ASP 30% pengganti semen					
D-1	28	26,012	26,240	228	272
D-2	28	25,142	25,445	303	
D-3	28	25,226	25,511	285	

Berdasarkan pada Tabel 4.28 dimana penyerapan pada beton normal silinder mendapatkan nilai penyerapan rata-rata 210,33 gr, untuk beton variasi Ca 50% + ASP 50% mendapatkan nilai penyerapan 318,33 gr, untuk beton variasi Ca 70% + ASP 30% mendapatkan nilai penyerapan 312,33 gr, untuk beton variasi Ca 80% + ASP 20% mendapatkan nilai penyerapan 270 gr, semakin banyak persentase yang digunakan pada abu sekam padi maka penyerapan air pada beton semakin tinggi penyerapannya air, karena abu sekam padi memiliki penyerapan air yang tinggi.



Gambar 4.9: Grafik perbandingan penyerapan air beton pada balok.

Berdasarkan dari Gambar 4.9 yang menjelaskan bahwa penyerapan air pada beton balok untuk beton normal mendapatkan nilai penyerapan sebesar 210,33 gr, campuran beton variasi mendapatkan nilai penyerapan Ca 50% + ASP 50% = 318,33 gr, untuk variasi Ca 70% + ASP 30% = 312,33 gr, untuk variasi Ca 80% + ASP % = 272 gr. Pada penyerapan air beton yang nilainya tertinggi yaitu pada beton variasi campuran Ca 50% + ASP 50% mendapatkan nilai sebesar 318,33 gr.

4.9. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton (f_c'). Sampel penelitian yang dibuat untuk melakukan pengujian sebanyak 2 sampel di tiap variasi dengan umur rencana 28 hari. Pada pengujian ini terdapat 8 sampel beton, 2 sampel untuk beton normal, dan sebanyak 6 sampel beton untuk total ketiga variasi dengan cetakan berbentuk silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dimana, setiap variasinya menggunakan *filler* kapur hidrolik dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen. Maka hasil pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

4.9.1. Pengujian Kuat Tekan Beton Normal

Pengujian beton normal ini dilakukan pada saat umur beton 28 hari dengan jumlah benda uji 2 buah. Hasil kuat tekan beton normal umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29: Hasil pengujian kuat tekan beton normal.

Benda uji	Umur beton	Beban maksimum	Beban tekan (Ton)	A= 176,71 cm ²	$f'c$ (P/A)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	28 hari	45 ton	441229,25	17662,25	25	26,39
2		50 ton	4903332,5	17662,25	27,77	

Berdasarkan dari Tabel 4.29 menjelaskan hasil pengujian kuat tekan beton normal umur 28 hari. Dari 2 masing-masing benda uji beton normal yang diuji kekuatan tekannya, maka di dapat nilai kuat tekan beton rata-rata yaitu sebesar 26,39 MPa pada umur beton 28 hari.

4.9.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 50% + ASP 50%

Pengujian beton dengan variasi Ca 50% + ASP 50% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan ini dilakukan pada saat umur beton 28 hari dengan jumlah benda uji 2 buah. Hasil kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30: Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 50% dan ASP 50% sebagai bahan pengganti semen.

Benda uji	Umur beton	Beban maksimum	Beban tekan (Ton)	A= 176,71 cm ²	$f'c$ (P/A)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	28 hari	4,12 ton	40403,39	17662,25	2,29	2,26
2		4 ton	39226,60	17662,25	2,22	

Berdasarkan dari Tabel 4.30 menjelaskan hasil pengujian kuat tekan beton variasi Ca 50% + ASP 50% sebagai bahan pengganti semen pada umur 28 hari. Dari 2 masing-masing benda uji ini yang diuji kekuatannya, maka didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata yaitu sebesar 2,26 MPa pada umur beton 28 hari.

4.9.3. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 70% + ASP 30%

Pengujian beton dengan variasi Ca 70% + ASP 30% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan ini dilakukan pada saat umur beton 28 hari dengan jumlah benda uji 2 buah. Hasil kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31: Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 70% dan ASP 30% sebagai bahan pengganti semen.

Benda uji	Umur beton	Beban maksimum	Beban tekan (Ton)	A= 176,71 cm ²	$f'c$ (P/A)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	28 hari	3,26 ton	31969,68	17662,25	1,81	1,79
2		3,18 ton	31185,15	17662,25	1,76	

Berdasarkan dari Tabel 4.31 menjelaskan hasil pengujian kuat tekan beton variasi Ca 70% + ASP 30% sebagai bahan pengganti semen pada umur 28 hari. Dari 2 masing-masing benda uji ini yang diuji kekuatannya, maka didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata yaitu sebesar 1,79 MPa pada umur beton 28 hari.

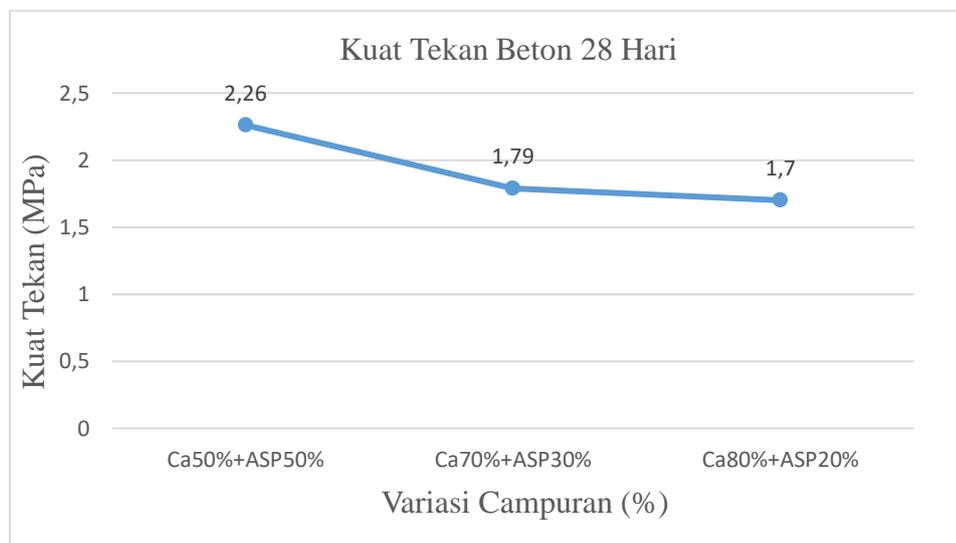
4.9.4. Pengujian Kuat Tekan Beton Ca 80% + ASP 20%

Pengujian beton dengan variasi Ca 80% + ASP 20% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan ini dilakukan pada saat umur beton 28 hari dengan jumlah benda uji 2 buah. Hasil kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32: Hasil pengujian kuat tekan beton dengan Ca 80% dan ASP 20% sebagai bahan pengganti semen.

Benda uji	Umur beton	Beban maksimum	Beban tekan (Ton)	A= 176,71 cm ²	$f'c$ (P/A)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	28 hari	3,12 ton	30596,75	17662,25	1,73	1,70
2		3 ton	29419,95	17662,25	1,66	

Berdasarkan dari Tabel 4.32 menjelaskan hasil pengujian kuat tekan beton variasi Ca 80% + ASP 20% sebagai bahan pengganti semen pada umur 28 hari. Dari 2 masing-masing benda uji ini yang diuji kekuatannya, maka didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata yaitu sebesar 1,70 MPa pada umur beton 28 hari.



Gambar 4.10: Grafik persentase kuat tekan beton tambahan kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen keseluruhan.

Berdasarkan dari Gambar 4.10 yang menjelaskan bahwa nilai kuat tekan nilainya paling terbesar yaitu terdapat pada variasi Ca 50% dan ASP 50% sebesar 2,26 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan yang terkecil terdapat pada beton variasi Ca 80% dan ASP 20% sebesar 1,70 MPa. Berdasarkan grafik di atas ini menjelaskan bahwa beton dengan bahan tambah Ca dan ASP tidak dapat menaikkan kuat tekan pada beton. Hal ini dikarenakan Ca dan ASP menjadi bahan pengganti semen

keseluruhan dalam pembuatan beton. Dalam penelitian ini, Ca dan ASP tidak mempengaruhi besar nilai kuat tekan tersebut.

4.10. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kelenturan pada beton. Sampel penelitian yang dibuat untuk melakukan pengujian sebanyak 3 sampel di tiap variasi dengan umur rencana 28 hari. Pada pengujian ini terdapat 12 sampel beton, 3 sampel untuk beton normal, dan sebanyak 9 sampel beton untuk total ketiga variasi dengan cetakan berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. Dimana, setiap variasinya menggunakan *filler* kapur dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen.

4.10.1. Pengujian Kuat Lentur Beton Normal

Pada pengujian ini akan menjelaskan hasil pengujian kuat lentur beton normal pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33: Hasil pengujian kuat lentur beton normal umur pengujian 28 hari.

PERBANDINGAN CAMPURAN					
KONDISI	Ukuran maks Agr. kasar (mm)	Slump (cm)	Kadar Udara (%)	Faktor Air Semen W/C %	Volume Agr. Halus
	40	5	1	0,45	-
	Air W (Kg/m ³)	PC (Kg/m ³)	Agregat halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Bahan Campuran (g/kg)
	179,84	377,77	720,66	1302,40	-
Nomor Benda Uji			A1	A2	A3
Umur Benda Uji (hari)			28	28	28
Panjang Benda Uji (mm)			600	600	600
Lebar Benda Uji (mm)			150	150	150

Tabel 4.33: *Lanjutan.*

KONDISI	Ukuran maks Agr. kasar (mm)	Slump (cm)	Kadar Udara (%)	Faktor Air Semen W/C %	Volume Agr. Halus
		40	5	1	0,45
	Air W (Kg/m ³)	PC (Kg/m ³)	Agregat halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Bahan Campuran (g/kg)
	179,84	377,77	720,66	1302,40	-
Nomor Benda Uji			A1	A2	A3
Tinggi Benda Uji (mm)			150	150	150
Berat Benda Uji (kg)			32,19	32,65	32,40
Volume Benda Uji (mm ³)			13500000	13500000	13500000
Beban Maksimum (N)			30000	30000	31000
Jarak Bentang (mm)			450	450	450
Lebar Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Tinggi Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Kuat Lentur Uji (MPa)			4,00	4,00	4,13
Kuat Lentur Rata-rata (MPa)			4,04		

Berdasarkan dari Tabel 4.33 yang menjelaskan campuran komposisi beton dan kuat lentur pada beton. Nilai kuat lentur beton pada benda uji A1 sebesar 4,00 MPa, A2 sebesar 4,00 MPa dan A3 sebesar 4,13 MPa, pada nilai rata-rata kuat lentur tersebut sebesar 4,04 MPa.

4.10.2. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca 50% + ASP 50%

Pada pengujian ini akan menjelaskan hasil pengujian kuat lentur beton dengan variasi Ca 50% + ASP 50% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34: Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 50% dan ASP 50% pengganti semen.

PERBANDINGAN CAMPURAN					
KONDISI	Ukuran maks Agr. kasar (mm)	Slump (cm)	Kadar Udara (%)	Faktor Air Semen W/C %	Volume Agr. Halus
		40	4	1	0,45
	Air W (Kg/m ³)	PC (Kg/m ³)	Agregat halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Bahan Campuran (g/kg)
	179,84	377,77	720,66	1302,40	Ca 50% + ASP 50%
Nomor Benda Uji			B1	B2	B3
Umur Benda Uji (hari)			28	28	28
Panjang Benda Uji (mm)			600	600	600
Lebar Benda Uji (mm)			150	150	150
Tinggi Benda Uji (mm)			150	150	150
Berat Benda Uji (kg)			29,65	29,63	29,55
Volume Benda Uji (mm ³)			13500000	13500000	13500000
Beban Maksimum (N)			9000	9000	8500
Jarak Bentang (mm)			450	450	450
Lebar Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Tinggi Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Kuat Lentur Uji (MPa)			1,20	1,20	1,13
Kuat Lentur Rata-rata (MPa)			1,18		

Berdasarkan dari Tabel 4.34 yang menjelaskan beton yang tidak menggunakan semen diganti dengan bahan kapur 50% dan abu sekam padi 50% campuran pada beton dan kuat lentur pada beton nilainya rendah karena tidak memakai bahan semen. Nilai kuat lentur beton pada benda uji B1 sebesar 1,20 MPa, B1 sebesar 1,20 MPa dan B3 sebesar 1.13 MPa, pada nilai rata-rata kuat lentur tersebut sebesar 1,18 MPa.

4.10.3. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca 70% + ASP 30%

Pada pengujian ini akan menjelaskan hasil pengujian kuat lentur beton dengan variasi Ca 70% + ASP 30% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35: Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 70% dan ASP 30% pengganti semen.

PERBANDINGAN CAMPURAN					
KONDISI	Ukuran maks Agr. kasar (mm)	Slump (cm)	Kadar Udara (%)	Faktor Air Semen W/C %	Volume Agr. Halus
	40	3,5	1	0,45	-
	Air W (Kg/m ³)	PC (Kg/m ³)	Agregat halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Bahan Campuran (g/kg)
	179,84	377,77	720,66	1302,40	Ca 70% + ASP 30%
Nomor Benda Uji			C1	C2	C3
Umur Benda Uji (hari)			28	28	28
Panjang Benda Uji (mm)			600	600	600
Lebar Benda Uji (mm)			150	150	150
Tinggi Benda Uji (mm)			150	150	150
Berat Benda Uji (kg)			28,59	28,56	28,64
Volume Benda Uji (mm ³)			13500000	13500000	13500000
Beban Maksimum (N)			7000	7000	7500
Jarak Bentang (mm)			450	450	450
Lebar Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Tinggi Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Kuat Lentur Uji (MPa)			0,93	0,93	1,00
Kuat Lentur Rata-rata (MPa)			0,95		

Berdasarkan dari Tabel 4.35 yang menjelaskan beton yang tidak menggunakan semen diganti dengan bahan kapur menggunakan 70% dan abu sekam padi 30% campuran pada beton dan kuat lentur pada beton nilainya rendah karena tidak memakai bahan semen. Nilai kuat lentur beton pada benda uji C1 sebesar 0,93

MPa, C2 sebesar 0,93 MPa dan C3 sebesar 1,00 MPa, pada nilai rata-rata kuat lentur tersebut sebesar 0,95 MPa.

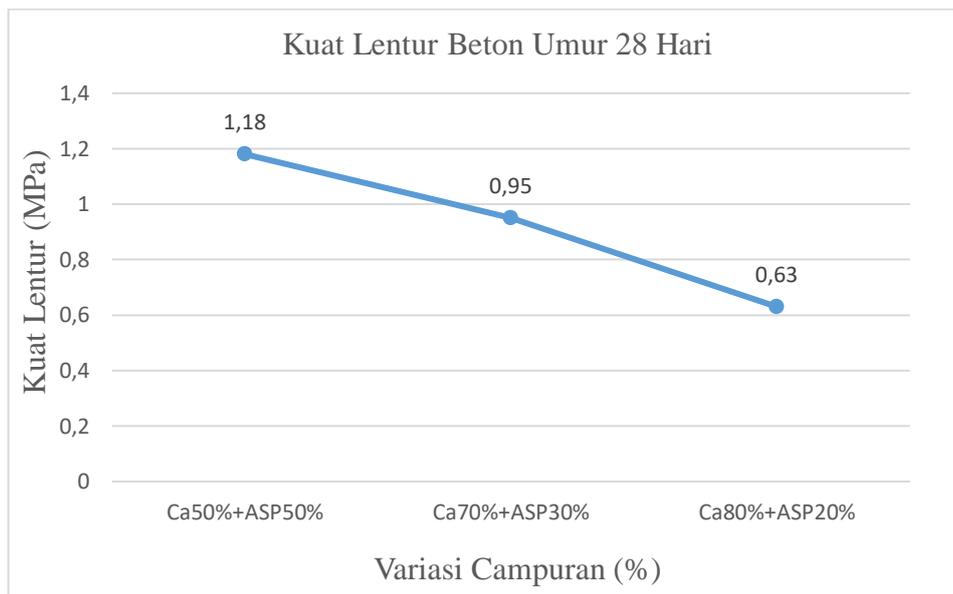
4.10.4. Pengujian Kuat Lentur Beton Campuran Ca 80% + ASP 20%

Pada pengujian ini akan menjelaskan hasil pengujian kuat lentur beton dengan variasi Ca 80% + ASP 20% sebagai bahan pengganti semen keseluruhan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36: Hasil pengujian kuat lentur beton dengan Ca 80% dan ASP 20% pengganti semen.

PERBANDINGAN CAMPURAN					
KONDISI	Ukuran maks Agr. kasar (mm)	Slump (cm)	Kadar Udara (%)	Faktor Air Semen W/C %	Volume Agr. Halus
	40	3	1	0,45	-
	Air W (Kg/m ³)	PC (Kg/m ³)	Agregat halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Bahan Campuran (g/kg)
	179,84	377,77	720,66	1302,40	Ca 80% + ASP 20%
Nomor Benda Uji			D1	D2	D3
Umur Benda Uji (hari)			28	28	28
Panjang Benda Uji (mm)			600	600	600
Lebar Benda Uji (mm)			150	150	150
Tinggi Benda Uji (mm)			150	150	150
Berat Benda Uji (kg)			26,24	25,44	25,60
Volume Benda Uji (mm ³)			13500000	13500000	13500000
Beban Maksimum (N)			6000	4000	4500
Jarak Bentang (mm)			450	450	450
Lebar Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Tinggi Tampak Lintang (mm)			150	150	150
Kuat Lentur Uji (MPa)			0,80	0,50	0,60
Kuat Lentur Rata-rata (MPa)			0,63		

Berdasarkan dari Tabel 4.36 yang menjelaskan beton yang tidak menggunakan semen diganti dengan bahan kapur menggunakan 80% dan abu sekam padi 20% campuran pada beton dan kuat lentur pada beton nilainya rendah karena tidak memakai bahan semen. Nilai kuat lentur beton pada benda uji D1 sebesar 0,80 MPa, D2 sebesar 0,50 MPa dan D3 sebesar 0,60 MPa, pada nilai rata-rata kuat lentur tersebut sebesar 0,63 MPa.



Gambar 4.11: Grafik persentase kuat lentur beton dengan beton Ca+ASP sebagai bahan pengganti semen keseluruhan umur 28 hari.

Dari Gambar 4.11 yang menjelaskan bahwa nilai kuat lentur nilainya paling terbesar yaitu terdapat pada variasi Ca 50% dan ASP 50% sebesar 1,18 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur yang terkecil terdapat pada beton variasi Ca 80% dan ASP 20 % sebesar 0,63 MPa. Berdasarkan grafik di atas ini menjelaskan bahwa beton dengan bahan tambah Ca dan ASP tidak dapat menaikkan kuat lentur pada beton. Hal ini dikarenakan Ca dan ASP menjadi bahan pengganti semen keseluruhan dalam pembuatan beton. Dalam penelitian ini, Ca dan ASP tidak mempengaruhi besar nilai kuat lentur tersebut.

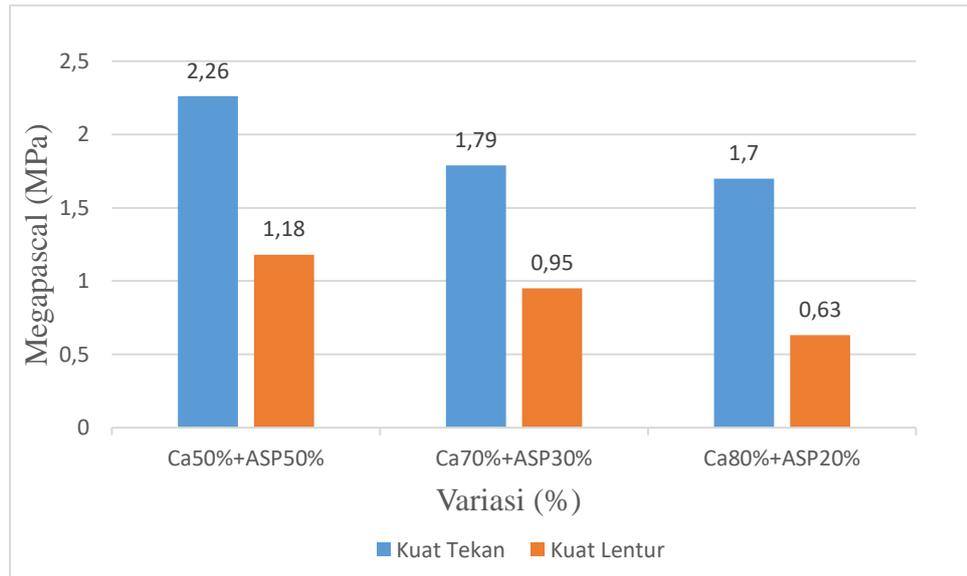
4.11. Hasil Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan dan kuat lentur yang telah didapatkan nilainya. Pada Tabel 4.37 yang akan menjelaskan hasil dari kuat tekan dan kuat lentur pada beton.

Tabel 4.37: Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur sebagai bahan perbandingan.

Nama Benda Uji	Umur Benda Uji	Hasil Benda Uji (MPa)			
		Kuat Tekan		Kuat Lentur	
		f_c	fc rata-rata	f_s	fs rata-rata
A1	28	25	26,39	4,00	4,04
A2	28	27,77		4,00	
A3	28			4,13	
B1	28	2,29	2,26	1,20	1,18
B2	28	2,22		1,20	
B3	28			1,13	
C1	28	1,81	1,79	0,93	0,95
C2	28	1,76		0,93	
C3	28			1,00	
D1	28	1,73	1,70	0,80	0,63
D2	28	1,66		0,50	
D3	28			0,60	

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur maka di dapat nilai seperti Tabel 4.37. Dimana kuat tekan yang tertinggi yaitu pada beton normal 26,39 MPa pada kuat tekan silinder, untuk kuat lentur tertinggi yang terdapat pada variasi beton normal sebesar 4,04 MPa.



Gambar 4.12: Grafik hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada umur 28 hari.

Dari Gambar 4.12 yang menjelaskan bahwa nilai kuat tekan paling terbesar terdapat pada beton campuran Ca 50% dan ASP 50% yaitu sebesar 2,26 Mpa. Untuk nilai terkecil beton yang bervariasi sebagai bahan pengganti semen terdapat pada Ca 80% dan ASP 20% dengan nilai sebesar 1,70 MPa. Sedangkan untuk nilai kuat lentur paling terbesar terdapat pada beton campuran Ca 50% dan ASP 50% yaitu sebesar 1,18 MPa. Untuk nilai terkecil beton yang bervariasi sebagai bahan pengganti semen terdapat pada Ca 80% dan ASP 20% dengan nilai sebesar 0,83 MPa. Berdasarkan grafik ini menjelaskan bahwa beton dengan bahan Ca dan ASP sebagai bahan pengganti semen tidak dapat menaikkan kuat tekan dan kuat lentur beton. Hal ini dikarenakan Ca dan ASP tidak bisa digunakan menjadi bahan pengganti semen keseluruhan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

1. Penggunaan kapur (Ca) dan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan berpengaruh pada nilai *slump test* pada beton. Dimana hasil penggunaan persentase pada Ca dan ASP yaitu mendapatkan nilai *slump* di bawah ini:
 - Beton Normal = 4,5 cm
 - Ca 50% + ASP 50% = 4 cm
 - Ca 70% + ASP 30% = 3 cm
 - Ca 80% + ASP 20% = 3 cm
2. Hasil penggunaan kapur (Ca) dan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan dalam pengujian kuat tekan beton dapat menghasilkan nilai kuat tekan, tetapi belum dapat melewati kuat tekan beton normal karena bahan semen digantikan menjadi bahan Ca dan ASP, maka di dapat nilai rata-rata pada kuat tekan beton:
 - Beton Normal = 26,39 MPa
 - Ca 50% + ASP 50% = 2,26 MPa
 - Ca 70% + ASP 30% = 1,79 MPa
 - Ca 80% + ASP 20% = 1,70 MPa
3. Hasil penggunaan kapur (Ca) dan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen keseluruhan dalam pengujian kuat lentur beton dapat menghasilkan nilai kuat lentur, tetapi belum dapat melewati kuat lentur beton normal karena bahan semen digantikan menjadi bahan Ca dan ASP maka di dapat nilai rata-rata pada kuat lentur beton:
 - Beton Normal = 4,04 MPa
 - Ca 50% + ASP 50% = 1,18 MPa
 - Ca 70% + ASP 30% = 0,95 MPa

- Ca 80% + ASP 20% = 0,63 MPa

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Diperlukan adanya penelitian beton dengan kapur dan abu sekam padi lebih lanjut seperti substitusi terhadap agregat halus pada beton.
2. Untuk penelitian selanjutnya harus dibuat sampel dengan variasi persentase yang begitu rendah sebagai pengurangan dari berat semen.
3. Diusahakan proses pemadatan setiap sampel dilakukan secara konsisten agar didapatkan pemadatan yang begitu baik sama di setiap benda uji sehingga didapatkan hasil yang begitu optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andri, A., Setiawan, A., & Pradani, N. (2012). Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Bahan Pengisi (Filler) terhadap Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi*, 2(2).
- Annisa, M. A., Helmi, M., & Irianti, L. (2019). Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Reaktif (Reactive Powder Concrete). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 7(2), 223-234.
- Chinnu, S. N., Minnu, S. N., Bahurudeen, A., & Senthilkumar, R. (2021). Reuse of industrial and agricultural by-products as pozzolan and aggregates in lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 302, 124172.
- Djoko Setiyarto, Y., & Haekal Akbar Pahlevi, M. (2017). Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton.
- Febrianita, O., Ridwan, A., & Poernomo, Y. C. S. (2020). Penelitian Beton dengan Penambahan Abu Sekam Padi dan Limbah Keramik sebagai *Substitusi Semen*. *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, 3(2), 275.
- Habeeb, G. A., & Mahmud, H. B. (2010). *Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material*. *Materials research*, 13, 185-190.
- Hadipramana, J., Riza, F. V., Rahman, I. A., Loon, L. Y., Adnan, S. H., & Zaidi, A. M. A. (2016, November). Pozzolanic characterization of waste Rice husk ash (RHA) from Muar, Malaysia. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 160, No. 1, p. 012066). *IOP Publishing*.
- Indoesia, B. S. N. (2011). Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan. *SNI*, 4431, 2011.
- Kuncoro, H. B. B., Darwis, Z., & Rahmat, A. A. (2021). Studi Eksperimental Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik Beton Serat Bambu. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 134-143.
- Lianasari, A. E., Atmajayanti, A. T., Efendi, B. H., & Sitindaon, N. P. (2014). Pengaruh penggunaan solid material abu terbang dan abu sekam pada kuat tekan beton geopolimer. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 8.
- Melinda, S., Dapas, S. O., & Sumajouw, M. D. (2020). Studi Eksperimental Pengujian Kuat Beton Menggunakan Kapur Dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5).

- Mehta, A. (2018). *Sustainable Geopolymer Concrete using Ground Granulated Blast Furnace Slag and Rice Husk Ash: Strength and Permeability Properties*. *Journal of Cleaner Production*.
- Mulyono, T. (2007). Kapur Sebagai Bahan Tambah Untuk Beton Normal. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 11-11.
- Martina, N., Cathelina, S. D., & Tunnur, Z. (2019). Karakteristik Mortar Menggunakan Biopozzolan Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Construction and Material Journal*, 1(3), 241-246.
- Martini, M. (2017). Substitusi Semen dengan Campuran Abu Sekam dan Kapur pada Campuran Beton. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 15(3), 111-114.
- Nurzal, Mahmud, J. (2013). Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 41-48.
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1972-2008 Tentang Cara Uji Slump Beton. *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.
- Nasional, B. S. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *SNI*, 3, 2834-2000.
- Rahamudin, R. H., Manalip, H., & Mondoringin, M. (2016). Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3).
- Samsudin, S., & Hartantyo, S. D. (2017). Studi Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik*, 9(2), 8.
- Solikin, M. (2016). Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Sebagai Cementitious Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton. *The 3rd University Research Colloquium*.
- Saifuddin, M. I., Edison, B., & Fahmi, K. (2013). *Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton* (Doctoral dissertation, Universitas Pasir Pengaraian).
- Sandya, Y., & Musalamah, S. (2019). Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Geopolimer. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan Dan Sipil*, 5(2 DES), 59-63.
- Sihotang, A. Hazairin.,(2002)‘Pemanfaatan Kapur dan Pozolan sebagai Bahan Baku Utama Pembuatan Semen Hidraulis Alternatif’.
- SNI 1974. (2011). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.

Tata, A., Sultan, M. A., & Sumartini, S. (2016). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Bahan Baku Beton Terhadap Sifat Mekanis Beton. *Jurnal Sipil Sains*, 6(11).

Vitri, G., & Herman, H. (2019). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 78-87.

LAMPIRAN



Gambar L-1: Agregat kasar.



Gambar L-2: Agregat halus



Gambar L-3: Air



Gambar L- 4: Semen



Gambar L-5: Abu sekam padi.



Gambar L-6: Kapur.



Gambar L-7: Saringan agregat halus.



Gambar L-8: Saringan agregat kasar.



Gambar L-9: Skrap.



Gambar L-10: Kuas.



Gambar L-11: Gelas ukur.



Gambar L-12: Sarung tangan.



Gambar L-13: Kerucut abrams.



Gambar L-14: Penggaris.



Gambar L-15: Plat besi.



Gambar L-16: Tongkat penumbuk.



Gambar L-17: Pan.



Gambar L-18: Sendok semen.



Gambar L-19: Sekop tangan.



Gambar L-20: Timbangan digital.



Gambar L-21: Mesin ayakan (Sieve Shaker).



Gambar L-22: Proses pembuatan adukan beton.



Gambar L-23: Proses pengujian *slump test*.



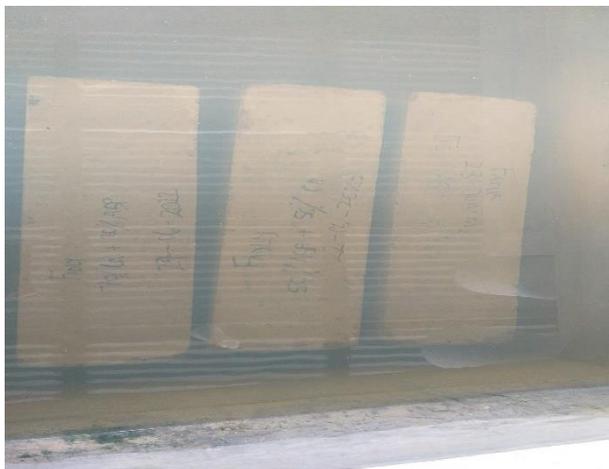
Gambar L-24: Bekisting silinder.



Gambar L-25: Bekisting balok.



Gambar L-26: Perendaman benda uji silinder.



Gambar L-27: Perendaman benda uji balok.



Gambar L-28: Proses pengujian kuat tekan beton.



Gambar L-29: Proses pengujian kuat lentur beton

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama	: Fadly Faturahman
Panggilan	: Fadly
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 06 Oktober 2000
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Alamat Sekarang	: Jl. Almunium II No. 15 B LK XXIII
Agama	: Islam
Nama Orang Tua	
Ayah	: Saptono
Ibu	: Marliasih
No.Hp/Tlpn Seluler	: 0821-6336-8500
Email	: fadly.faturahman2000@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa	: 1807210086
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Peguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi	: JL. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan Kelulusan	Nama dan Tempat	Tahun
Sekolah Dasar	SD N 060862 Medan	2012
Sekolah Menengah Pertama	SMP YP Al-Fattah Medan	2015
Sekolah Menengah Kejuruan	SMK YP Al-Fattah Medan	2018