

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN CANGKANG KEMIRI TERHADAP SIFAT MEKANSIS BETON (*Studi Penelitian*)

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

Disusun Oleh:

**RATNA DEWI
1407210264**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : RATNA DEWI

NPM : 1407210264

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN
CANGKANG KEMIRI TERHADAP SIFAT MEKANIS
BETON

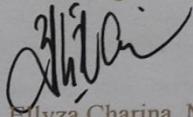
Bidang ilmu : Struktur

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, 24 Agustus 2018

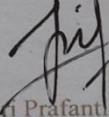
Mengetahui dan menyetujui:

Pembimbing I/Penguji



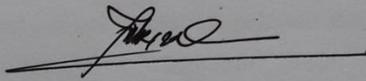
Ir. Ellyza Charina, M.Si

Pembimbing II/Penguji



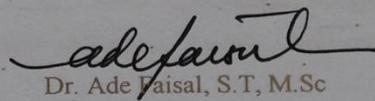
Sri Prafanti, S.T, M.T.

Pembanding I/Penguji



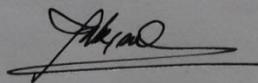
DR. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Pembanding II/Penguji



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

Program Studi Teknik Sipil
Ketua Prodi,



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ratna Dewi
Tempat/tgl.Lahir : Takengon/05 Nopember 1995
NPM : 1407210264
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN CANGKANG KEMIRI TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON”

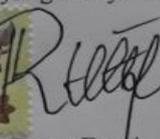
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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 kelulusan/kesarjanaan saya.

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

Medan, 24 Agustus 2018

Saya yang menyatakan,



Ratna Dewi

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN CANGKANG KEMIRI TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

Ratna Dewi

1407210264

Ir.Ellyza Chairina, M.Si

Sri Prafanti, S.T, M.T

Beton merupakan material utama untuk konstruksi yang banyak digunakan di seluruh dunia. Semakin meluasnya penggunaan beton menunjukkan juga semakin banyak kebutuhan beton di masa yang akan datang. Namun, bahan baku pembentuk beton yang selama ini diperoleh dari alam cenderung menurun mendorong peneliti menambah bahan-bahan lain yang mempunyai sifat yang sama dengan pembentuk beton dalam campuran beton. Salah satunya adalah pemanfaatan limbah abu sekam padi dan cangkang kemiri. Abu sekam padi dan cangkang kemiri diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pengisi atau filler pada beton. Dalam penelitian ini, abu sekam padi dan cangkang kemiri dikombinasikan dalam satu campuran beton. Dimana abu sekam padi digunakan sebagai bahan pengisi semen dan cangkang kemiri digunakan sebagai bahan pengisi agregat kasar setiap variasinya. Pengujian yang dilakukan berupa *slump test*, kuat tekan dan absorpsi. Penurunan kuat tekan untuk semua variasi menjadi 38.44 Mpa, 38.38 Mpa, 38.3 Mpa, 37.9 Mpa, 37.66 Mpa, 37.18 Mpa.

Kata kunci : *abu sekam padi, cangkang kemiri, kuat tekan, absorpsi.*

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF ADDING OF ASHES RICE AND PECAN SHELL AGAINST THE CHARACTER OF MECHANIZED CONCRETE

Ratna Dewi

1407210264

Ir.Ellyza Chairina, M.Si

Sri Prafanti, S.T, M.T

Concrete is the main material for construction which is widely used around the world. The more widespread using of concrete shows that the more concrete needs in the future, but the raw material for forming concrete is obtained from nature tends to decrease. That encourages researchers to add other materials that have similiar properties to concrete forming in the concrete mix. One is the used of rice husk ash and pecan shells. Rice husk ash and pecan shells are expected to be used as an additive or as a filler material concrete. In this research, rice husk ash and pecan shells are combined in the concrete mix. Where rice husk ash used as a cement filler and pecan shells are used a filler for coarse aggregate each variation. The test will be conducted in the form of slump test, compressive strength and absorption. From the test results obtained by the increase in the value of absorption, decrease in the value of slump and compressive strength. The decrease in compressive strength for all variations is 38.44 Mpa, 38.38 Mpa, 38.3 Mpa, 37.9 Mpa, 37.66 Mpa, 37.18 Mpa.

Keywords: rice husk ash, pecan shells, compressive strength, absorption

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Cangkang Kemiri Terhadap Sifat Mekanis Beton” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Ibu Ir. Ellyza Chairina, M.Si. selaku Dosen Pembimbing - I yang telah banyak memberikan dukungan, masukan, bimbingan serta meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membantu saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Sri Prafanti, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing - II yang telah banyak memberikan dukungan, masukan, bimbingan serta meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membantu saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Fahrizal Zulkarnain, PhD. selaku Dosen Pembimbing – I dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing - II dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Fahrizal Zulkarnain, PhD, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak dan Ibu staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teristimewa sekali kepada Orang Tua Penulis yang telah meninggal dunia Ayahanda Lukam Hakim dan Ibunda Harmaida kata-kata beliau yang bekmakna selalu menjadi kenangan penyemangat hingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Keluarga yang penulis sayangi Citra Dewi, SE. Sukamto, SE. Diki Diaris dan abangda/kakanda yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan banyak motivasi dan dukungan pada Tugas Akhir ini.
10. Orang yang saya sayangi Andrie Muhammad Shafwan yang selalu membantu, memotivasi dan mendukung penulis pada Tugas Akhir ini.
11. Rekan Teknik Sipil, Keluarga Besar Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini

Laporan 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, Juli 2018

Penulis

Ratna Dewi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Umum	3
2.1.1 Beton Segar (<i>Fresh Concrete</i>)	4
2.1.1.1 Kemudahan Pengerjaan (<i>Workability</i>)	5
2.1.1.2 Pemisahan Kerikil (<i>Segregation</i>)	7
2.1.1.3 Pemisahan Air (<i>Bleeding</i>)	8
2.1.2 Beton Keras (<i>Hardened Concrete</i>)	8
2.1.2.1 Kuat Tekan Beton (<i>f'c</i>)	8
2.1.2.2 Absorpsi Beton	13
2.2 Bahan Penyusun Beton	13
2.2.1 Semen	13
2.2.1.1 Umum	13
2.2.1.2 Semen Portland	14
2.2.1.3 Jenis-jenis Semen Portland	14
2.2.1.4 Bahan-bahan Dasar Semen Portland	15
2.2.1.5 Senyawa Utama dalam Semen Portland	15
2.2.1.6 Sifat-sifat Semen Portland	18
2.2.2 Agregat	19
2.2.2.1 Umum	19
2.2.2.2 Jenis Agregat	20
2.2.2.2.1 Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk	20

2.2.2.2.2	Jenis Agregat Berdasarkan Tekstur Permukaan	21
2.2.2.2.3	Jenis Agregat Berdsarkan Ukuran Butir Nominal	22
2.2.3	Air	26
2.2.4	Bahan Tambahan	27
2.2.4.1	Umum	27
2.2.4.2	Alasan Penggunaan Bahan Tambahan	28
2.2.4.3	Perhatian Penting dalam Menggunakan Bahan Tambahan	29
2.2.4.4	Jenis Admixture	30
2.2.4.4.1	Mineral Admixture	30
2.2.4.4.2	Jenis <i>Miscellaneous Admixture</i> (Bahan Tambah lainnya)	32
2.3	Klasifikasi Retak	35
2.3.1	Rangkak (<i>Creep</i>) dan Susut (<i>Shrinkage</i>)	35
2.3.2	Plastic Shrinkage Crack	36
2.3.3	Drying Shrinkage Beton	37
2.3.4	Lebar Retak	37
BAB 3 METODE PENELITIAN		39
3.1	Umum	39
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.3	Bahan dan Peralatan	41
3.3.1	Bahan	41
3.3.2	Peralatan	41
3.4	Persiapan Penelitian	42
3.5	Pemeriksaan Agregat	42
3.5.1	Pemeriksaan Agregat Halus	42
3.5.1.1	Kadar Air Agregat Halus	43
3.5.1.2	Kadar Lumpur Agregat Halus	43
3.5.1.3	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	44
3.5.1.4	Berat Isi Agregat Halus	45
3.5.1.5	Analisa Saringan Agregat Halus	46

3.5.2	Pemeriksaan Agregat Kasar	48
3.5.2.1	Kadar Air Agregat Kasar	49
3.5.2.2	Kadar Lumpur Agregat Kasar	49
3.5.2.3	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	50
3.5.2.4	Berat Isi Agregat Kasar	51
3.5.2.5	Analisa Saringan Agregat Kasar	52
3.5.2.6	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	54
3.6	Perencanaan Cmpuran Beton	55
3.7	Pelaksanaan Penelitian Beton	55
3.7.1	<i>Trial Mix</i>	55
3.7.2	Pembuatan Benda Uji	56
3.7.3	Pengujian Slump	56
3.7.4	Perawatan Beton	56
3.7.5	Pengujian Kuat Tekan	56
3.8	Bahan <i>Filler</i>	57
3.8.1	Abu Sekam Padi	57
3.8.2	Cangkang Kemiri	57
3.9	Penggunaan Abu Sekam Padi dan Cangkang Kemiri didasari oleh beberapa penelitian	58
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1	Perencanaan Campuran Beton	60
4.1.1	Metode Pengerjaan <i>Mix Design</i>	71
4.2	Pembuatan Benda Uji	76
4.3	<i>Slump Test</i>	77
4.4	Kuat Tekan Beton	79
4.4.1	Kuat Tekan Beton Normal dan Variasi	80
4.5	Absorbsi Beton	84
4.6	Pembahasan	87
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemeriksaan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur	11
Tabel 2.2 Komposisi Senyawa Kimia Portland Semen	16
Tabel 2.3 Empat Senyawa Utama dari Semen Portland	17
Tabel 2.4 Komposisi Oksida Semen Portland Tipe I	17
Tabel 2.5 Batasan Gradasi untuk Agregat Halus	24
Tabel 2.6 Susunan Besaran Butiran Agregat Kasar	25
Tabel 2.7 Komponen Kimia Sekam Padi	33
Tabel 2.8 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi	34
Tabel 2.9 Komponen Kimia Cangkang Kemiri	34
Tabel 2.10 Toleransi Lebar Retak	39
Tabel 3.1 Data-data Hasil Penelitian Kadar Air Agregat Halus	45
Tabel 3.2 Data-data Hasil Penelitian Kadar Lumpur Agregat Halus	45
Tabel 3.3 Data-data Hasil Penelitian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	46
Tabel 3.4 Data-data Hasil Penelitian Berat Isi Agregat Halus	47
Tabel 3.5 Data-data Hasil Penelitian Analisa Saringan Agregat Halus	47
Tabel 3.6 Data-data Hasil Penelitian Kadar Air Agregat Kasar	50
Tabel 3.7 Data-data Hasil Penelitian Kadar Lumpur Agregat Kasar	51
Tabel 3.8 Data-data Hasil Penelitian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	52
Tabel 3.9 Data-data Hasil Penelitian Berat Isi Agregat Kasar	52
Tabel 3.10 Data-data Hasil Penelitian Analisa Saringan Agregat Kasar	53
Tabel 3.11 Data-data Hasil Penelitian Pengujian Keausan Agregat	56
Tabel 4.1 Perencanaan Campuran Beton	62
Tabel 4.2 Agregat Kasar yang dibutuhkan untuk tiap Saringan dalam 1 Benda Uji	64
Tabel 4.3 Agregat Halus yang dibutuhkan untuk tiap Saringan dalam 1 Benda Uji	65
Tabel 4.4 Banyak Bahan Variasi yang dibutuhkan dalam 32 Benda Uji	67
Tabel 4.5 Banyak Agregat Kasar yang dibutuhkan untuk 30 Benda Uji	70
Tabel 4.6 Banyak Agregat Halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 30 Benda Uji	71
Tabel 4.7 Jumlah Kadar Air Bebas	74
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	79
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Normal	81
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi I	81
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi II	82
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi III	82
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi IV	83
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi V	83
Tabel 4.15 Absorpsi Beton Normal	84
Tabel 4.16 Absorpsi Beton Variasi I	85
Tabel 4.17 Absorpsi Beton Variasi II	85
Tabel 4.18 Absorpsi Beton Variasi III	86

Tabel 4.19 Absorpsi Beton Variasi IV	86
Tabel 4.20 Absorpsi Beton Variasi V	86

86
86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerucut Abrams	7
Gambar 2.2 Jenis-jenis <i>Slump</i>	8
Gambar 2.3 Hubungan Antara Faktor Air Semen Dengan Kekuatan Beton Selama Masa Perkembangan	11
Gambar 2.4 Perkembangan Kekuatan Tekan Mortar Untuk Berbagai Tipe Portland Semen	12
Gambar 2.5 Pengaruh Jumlah Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Faktor Air Semen Sama	12
Gambar 2.6 Pengaruh Jenis Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Beton Normal	41
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Beton dengan Penambahan Abu Sekam Padi Dan Cangkang Kemiri	42
Gambar 3.3 Grafik Gradasi Agregat Halus	49
Gambar 3.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar	55
Gambar 3.5 Abu Sekam Padi	58
Gambar 3.6 Cangkang Kemiri	58
Gambar 4.1 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Kubus Beton	73
Gambar 4.2 Grafik Persen Pasir	75
Gambar 4.3 Grafik Berat Jenis	76
Gambar 4.4 Grafik Slump Test	79
Gambar 4.6 Grafik Kuat Tekan	84
Gambar 4.7 Grafik Absorpsi	87

DAFTAR NOTASI

SSD	: saturated surface dry
ASP	: abu sekam padi
CK	: cangkang kemiri
n	: jumlah sampel
f^c	: kuat tekan beton karakteristik (Mpa)
f^{cr}	: kuat tekan beton rata-rata (Mpa)
f_c'	: kekuatan tekan (kg/cm^2)
P	: beban tekan (kg)
A	: luas penampang (cm^2)
S	: deviasi standar (kg/cm^2)
m	: nilai tambah (Mpa)
BJ	: berat jenis (kg/cm^3)
Wh	: perkiraan jumlah air untuk agregat halus
Wk	: perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
Ck	: kandungan air dalam agregat halus (%)
Ca	: absorpsi air pada agregat halus (%)
C	: jumlah agregat halus (kg/cm^3)
Dk	: kandungan air dalam agregat kasar (%)
Da	: absorpsi air pada agregat kasar (%)
D	: jumlah agregat kasar (kg/cm^3)
B	: jumlah air (kg/cm^3)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian beton semakin besar penggunaannya, namun bahan penyusun yang digunakan semakin mahal dan terbatas. Hal ini menyebabkan banyak ide-ide yang dicetuskan para ahli untuk memanfaatkan limbah sebagai bahan pengganti maupun campuran pada pembuatan beton. Beberapa contoh limbah tersebut adalah abu sekam padi dan cangkang kemiri.

Menurut data dari BPS provinsi Sumatera Utara, Sumut memproduksi kemiri sebesar 12.546,46 ton per tahun. Dimana berat cangkang kemiri adalah 70% dari berat total kemiri sehingga total limbah cangkang kemiri yang dihasilkan pertahun adalah sebesar 8.795,122 ton. Cangkang kemiri dalam percobaan ini berasal dari Kecamatan Juhar Kabupaten Karo, dimana Kabupaten Karo adalah penghasil kemiri terbesar kedua di Sumatera Utara setelah Dairi yaitu sebesar 1.706,40 ton per tahun. Cangkang kemiri memiliki struktur yang keras dan tebal karena tersusun atas jaringan sklerenkim berupa sklereida yang dinding sel sekundernya mengandung lignin yang tebal dan keras sehingga tahan terhadap tekanan dan benturan. Kandungan ligninnya jauh lebih besar dari tempurung kelapa.

Abu sekam padi berasal dari dari sekam padi yang di bakar dimana beratnya sekitar 20% dari sekam padi tersebut. Menurut data BPS, Sumatera Utara memproduksi padi sekitar 3.664,588 ton pertahun. Berat sekam padi adalah 20% dari berat padi sehingga jika dihitung dan diumpamakan eluruh sekam padi di bakar akan menghasilkan limbah abu sekam pdi sebesar 146.583,52 ton pertahun.

Abu sekam padi tersebut memiliki unsur kimia SiO_2 (Silica) dan CaO (kapur), dan unsur-unsur ini memiliki sifat-sifat *pozzolan* yang dapat meningkatkan kinerja material beton, dan dapat meminimalkan penggunaan semen sekaligus menghasilkan mutu beton yang optimum.

Beton adalah campuran dari semen, air, agregat dan juga bahan tambahan yang berupa bahan kimia, serat, bahan non kimia dengan perbandingan tertentu. Pada dasarnya memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi namun tidak dengan kuat tariknya. Untuk kuat tarik, beton memiliki kekuatan tarik yang rendah dibandingkan kekuatan tekan yang dimiliki beton itu sendiri.

Dalam hal ini saya memanfaatkan limbah abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengisi pada beton. Abu sekam padi dan cangkang kemiri sangat mudah di peroleh, diharapkan pencampuran limbah tersebut dapat menghasilkan beton yang memiliki mutu yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan bahan pengisi abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai pengganti agregat halus dan semen pada campuran beton terhadap kuat tekan dan absorpsi.

1.3 Batasan Masalah

1. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c$ 20 Mpa.
2. Pengujian
 - Kuat tekan
 - Absorpsi
3. Benda uji yang digunakan untuk uji tekan dan absorpsi adalah kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.
4. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan absorpsi dilakukan pada umur 28 hari untuk semua variasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulis dalam penelitian untuk tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai campuran agregat kasar dan semen untuk mendapatkan kuat tekan dan absorpsi dari sampel yang menggunakan abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan tambah pengisi dan membandingkannya dengan beton normal.
2. Memberikan manfaat yang sangat besar di bidang konstruksi bangunan yang membutuhkan kualitas beton yang tinggi dengan harga yang murah.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa Belanda. Kata *concrete* dalam bahasa Inggris berasal dari bahasa Latin *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Dalam bahasa Jepang digunakan kata kotau-zai, yang arti harfiahnya material-material seperti tulang, mungkin karena agregat mirip tulang-tulang hewan. (Mulyono,2007).

Beton merupakan material utama yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi diseluruh dunia. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air dan agregat (dapat juga menggunakan variasi bahan tambahan mulai dari bahan kimia tambahan, serat sampai bahan buangan non kimia) dengan perbandingan tertentu. Campuran tersebut bila dituangkan dalam cetakan dan kemudian dibiarkan, maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen yang berlangsung selama waktu yang panjang, dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya rongga-rongga antara butiran yang besar (agregat kasar, kerikil atau batu pecah) diisi oleh butiran yang lebih kecil (agregat halus, pasir), dan pori-pori antara agregat halus ini diisi oleh semen dan air (pasta semen).

Kekuatan, keawetan dan sifat beton serta lainnya bergantung pada sifat bahan-bahan dasar, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Banyaknya pemakaian beton sebagai salah satu bahan konstruksi disebabkan karena beton terbuat dari bahan-bahan yang umumnya mudah diperoleh, serta mudah diolah sehingga menjadikan beton mempunyai sifat yang dituntut sesuai dengan keadaan situasi pemakaian tertentu.

Jika kita ingin membuat beton berkualitas baik, dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama bagaimana cara-cara untuk memperoleh adukan beton (beton segar/*fresh concrete*) yang baik dan beton (beton keras/*hardened concrete*) yang

dihasilkan juga baik. Beton yang baik ialah beton yang kuat, tahan lama/awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susutnya kecil).

Sebagai bahan konstruksi beton mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan beton antara lain:

1. Harganya relatif murah.
2. Mampu memikul beban yang berat.
3. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
4. Biaya pemeliharaannya/perawatannya kecil.

Kekurangan beton antara lain:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan, atau tulangan kasa (*meshes*).
2. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat di masuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton.
3. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
4. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.

2.1.1 Beton Segar (*Fresh Concrete*)

Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi segregasi (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan). Hal ini kerana segregasi maupun *bleeding* mengakibatkan beton yang diperoleh akan jelek.

Tiga hal penting yang harus diketahui dari sifat-sifat beton segar, yaitu: kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregation*), pemisahan air (*bleeding*).

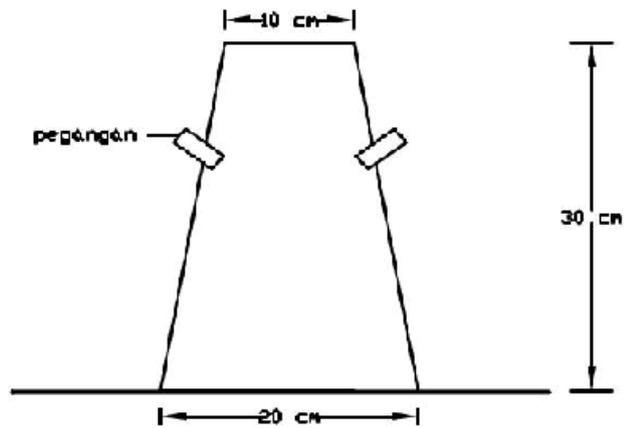
2.1.1.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan atau kesulitan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan di padatkan.

Unsur-unsur yang mempengaruhi workabilitas yaitu:

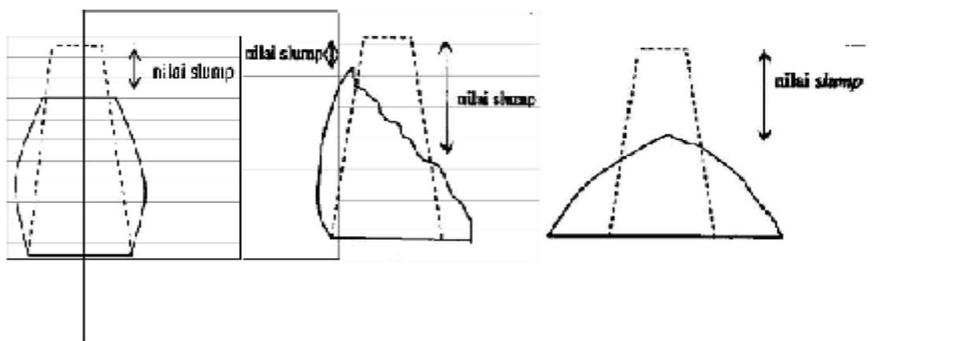
1. Jumlah air pencampur.
Semakin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan (namun jumlahnya tetap diperhatikan agar tidak terjadi segregasi).
2. Kandungan semen.
Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai f.a.s (faktor air semen) tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil.
Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan. Gradasi adalah distribusi ukuran dari agregat berdasarkan hasil persentase berat yang lolos pada setiap ukuran saringan dari analisa saringan.
4. Bentuk butiran agregat kasar.
Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
5. Cara pemadatan dan alat pemadat.
Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

Konsistensi/kelecekan adukan beton dapat diperiksa dengan pengujian *slump* yang didasarkan pada ASTM C 143-74. Percobaan ini menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya, yang disebut kerucut Abrams. Bagian bawah berdiameter 20 cm, bagian atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm (disebut sebagai kerucut Abrams), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Kerucut abrams.

Ada tiga jenis slump yaitu *slump* sejati (*slump* sesungguhnya), *slump* geser dan *slump* runtuh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Slump sesungguhnya, merupakan penurunan umum dan seragam tanpa adukan beton yang pecah, pengambilan nilai *slump* ini dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncak kerucut adukan beton tergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring, pengambilan nilai *slump* geser ada dua cara yaitu dengan mengukur penurunan minimum dan penurunan rata-rata dari puncak kerucut. *Slump* runtuh, terjadi pada kerucut adukan beton yang runtuh seluruhnya akibat adukan beton yang terlalu cair, pengambilan nilai *slump* ini dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut.



(a) *slump* sebenarnya. (b) *slump* geser. (c) *slump* runtuh.

Gambar 2.2: Jenis-jenis *slump* adukan beton (Kardiyono,1992).

2.1.1.2 Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Kecendrungan agregat kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil, yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

1. Campuran kurus atau kurang semen.
2. Terlalu banyak air.
3. Besar ukuran agregat maksimum kurang dari 40 mm.
4. Permukaan butir agregat kasar, semakin kasar permukaan agregat semakin mudah terjadi segregasi.

Untuk mengurangi kecendrungan segregasi maka diusahakan air yang diberikan sedikit mungkin, adukan beton jangan dijatuhkan dengan ketinggian yang terlalu besar dan cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti cara-cara yang benar.

2.1.1.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Kecendrungan air untuk naik kepermukaan beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir pasir halus, yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput (*laitence*). *Bleeding* dapat dikurangi dengan cara:

1. Memberi lebih banyak semen.
2. Menggunakan air sedikit mungkin.
3. Menggunakan pasir lebih banyak.

2.1.2 Beton Keras (*Hardened Concrete*)

Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang lebih dektail, kededapan air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

2.1.2.1 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat beton umur 28 hari berkisar antara 10-65 Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kekuatan berkisar 17-30 Mpa, sedangkan untuk beton prategang berkisar 30-45 Mpa. Untuk keadaan dan keperluan struktur khusus, beton *ready mix* sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 Mpa dan untuk memproduksi beton kuat tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium. (Dipohusodo,1994).

Beberapa faktor seperti ukuran dan bentuk agregat jumlah pemakaian semen, jumlah pemakaian air, proposi campuran beton, perawatan beton (curing), usia beton ukuran dan bentuk sampel, dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Kekuatan tekan benda uji beton dihitung dengan rumus:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dengan : f_c' = kekuatan tekan (kg/cm^2)

P = beban tekan (kg)

A = luas permukaan benda uji (cm^2)

Standar deviasi dihitung berdasarkan rumus:

$$S = \frac{\sqrt{\sum (f_c' - f_{cr})^2}}{N - 1}$$

Dengan: S : deviasi standar (kg/cm^2)

f_c' : kekuatan masing-masing benda uji (kg/cm^2)

f_{cr} : kekuatan beton rata-rata (kg/cm^2)

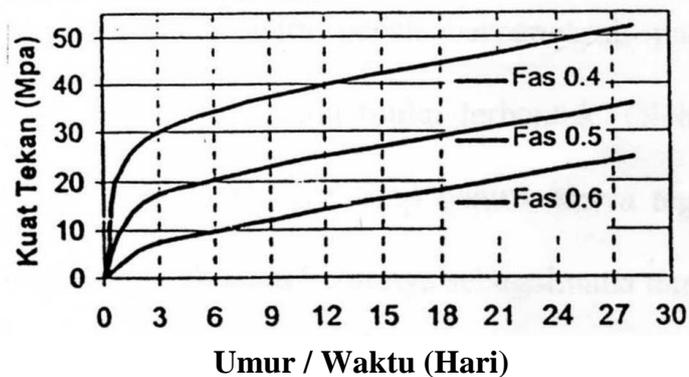
N : Jumlah total benda uji hasil pemeriksaan

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton yaitu:

1. Faktor air semen dan kepadatan

Semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula, hal

ini karena jika faktor air semen terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen tertentu (optimum) yang menghasilkan kuat tekan maksimum. Duff dan Abrams (1919) meneliti hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan uji silinder yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan betonnya setelah mengeras. Untuk mengatasi keulitan pematatan adukan beton dapat dilakukan dengan cara pematatan dengan alat getar (*vibrator*) atau dengan memberi bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat mengencerkan adukan beton sehingga lebih mudah dipadatkan.



Gambar 2.3: Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton selama masa perkembangannya (Mulyono,2003).

2. Umur beton

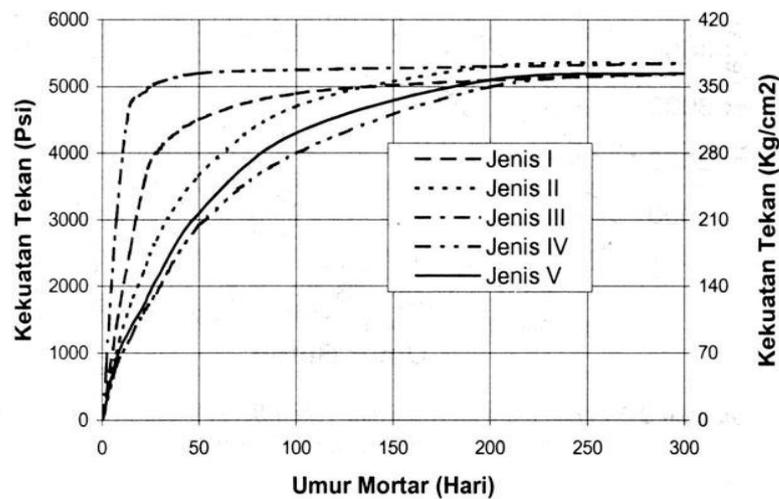
Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Biasanya nilai kuat tekan ditentukan pada waktu beton mencapai 28 hari. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya tidak terlalu signifikan (Gambar 2.4). Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 65% pada umur 14 hari 88%-90% dari kuat tekan umur 28 hari.

Tabel 2.1: Perkiraan kuat tekan beton pada berbagai umur.

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC type 1	0.44	0.65	0.88	0.95	1.0	-	-

3. Jenis semen

Semen portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Jenis portland semen yang digunakan ada 5 jenis yaitu : I, II, III, IV, V. Jenis-jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda sebagai mana tampak pada Gambar 2.4.

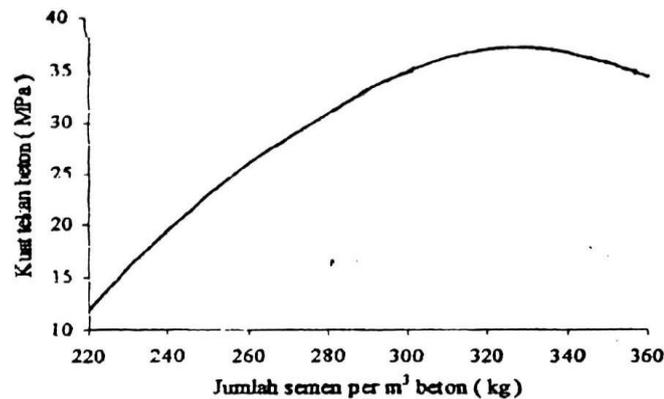


Gambar 2.4: Perkembangan kekuatan tekan mortar untuk berbagai tipe portland semen (Mulyono,2003).

4. Jumlah semen

Jika faktor air semen sama (*slump* berubah), beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi sebagaimana tampak pada Gambar 2.5. Pada jumlah semen yang terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit didapatkan yang

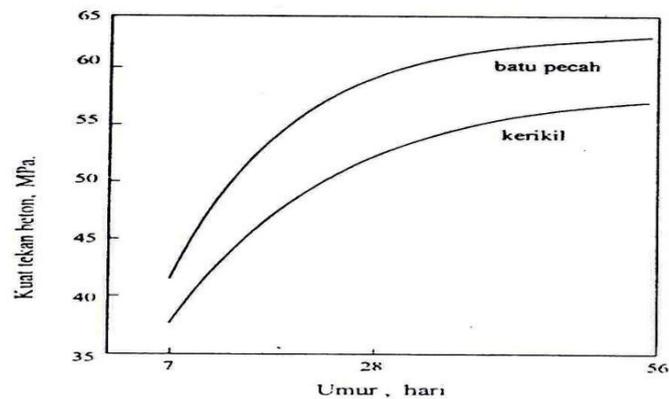
mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori yang mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Jika nilai *slump* sama (fas berubah), beton dengan kandungan semen berlebih banyak mempunyai kuat lebih tinggi.



Gambar 2.5: Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton pada faktor air semen sama (Kardiyono,1998).

5. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada letakan dan besar/tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu, kekerasan permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurva tegangan-regangan tekan dan terhadap kekuatan betonnya yang terlihat pada Gambar 2.6. Akan tetapi bila adukan beton nilai *slump*nya sama besar, pengaruh tersebut tidak tampak karena agregat yang permukaannya halus memerlukan air lebih sedikit, berarti fasnya rendah yang menghasilkan kuat tekan beton lebih tinggi.



Gambar 2.6: Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton
(Mindess,1981).

Pada pemakaian ukuran butir agregat lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit, berarti pori-pori betonnya juga sedikit sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Tetapi daya lekat antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat sehingga kuat tekan betonnya menjadi rendah. Oleh karena itu, beton kuat tekan tinggi dianjurkan memakai agregat dengan ukuran besar butir maksimum 20 mm.

2.1.2.2 Absorpsi Beton

Absorpsi merupakan banyaknya air yang diserap sampel beton. Besar kecilnya penyerapan air oleh beton sangat dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Rongga (pori) yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Nilai absorpsi dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Absorpsi} = \frac{A - B}{B}$$

Dimana: A = berat beton setelah direndam (gr)

B = berat beton dalam kondisi kering (gr)

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen

2.2.1.1 Umum

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus pasta semen akan menjadi mortar, sedangkan jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*hardened concrete*).

Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butiran agregat.

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: 1) semen non-hidrolik dan 2) semen hidrolik.

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras diudara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur. Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air. Contoh semen hidrolik antara lain: kapur hidrolik, semen pozollan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland pozollan dan semen alumina.

2.2.1.2 Semen Portland

Semen portland adalah suatu bahan pengikat hidrolis (*hydraulic binder*) yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

2.2.1.3 Jenis-jenis semen portland

Pemakaian semen yang disebabkan oleh kondisi tertentu yang dibutuhkan pada pelaksanaan konstruksi di lokasi, dengan perkembangan semen yang pesat maka dikenal berbagai jenis semen portland antara lain:

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Digunakan untuk bangunan-bangunan umumnya yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidras dengan tingkat sedang. Digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertahan didalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat).
- c. Tipe III, semen portland yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya diperlukan panas hidrasi yang rendah. Digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan seperti bangunan gravitasi yang besar.
- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi.

2.2.1.4 Bahan Dasar Semen Portland

Semen portland yang dijual di pasaran umumnya terbuat dari 4 bahan, sebagai berikut:

1. Batu kapur (*limestone*)/kapur (*chalk*) : yang mengandung CaCO_3
2. Pasir silika/tanah liat : yang mengandung SiO_2 dan Al_2O_3

- 3. Pasir/kerak besi : yang mengandung Fe_2O_3
- 4. Gypsum : yang mengandung $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

2.2.1.5 Senyawa Utama Dalam Semen Portland

Semen portland adalah jenis semen yang digunakan secara umum diseluruh dunia sebagai bahan dasar beton. Semen portland mengandung beberapa unsur kimia seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Komposisi senyawa kimia portland semen.

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60-65
Silika, SiO_2	17-25
Alumina, Al_2O_3	3-8
Besi, Fe_2O_3	0.5-6
Magnesia MgO	0.5-4
Sulfur, SO_3	1-2
Soda/Potash, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.5-1

Walaupun demikian pada dasarnya ada 4 unsur paling penting yang menyusun semen portland, yaitu:

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang paling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Cokrodimuldjo,1992). Semen dan air saling bereaksi, persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, dan hasilnya dinamakan hidrasi semen.

Tabel 2.3: Empat senyawa utama dari semen portland (Nugraha dan Antoni, 2007).

Nama oksida utama	Rumus empiris	Rumus oksida	Notasi pendek	Kadar rata-rata (%)
Trikalsium Silikat	CaSi_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50
Dikalsium Silikat	CaSiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	25
Trikalsium Aluminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
Tetrakalsium Aluminoferrit	$2\text{Ca}_3\text{AlFeO}_5$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$	C_4AF	8
Gypsum		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3.5

Sedangkan komposisi oksida semen portland tipe I disajikan dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4: Komposisi oksida semen portland Tipe I³ (Nugraha dan Antoni, 2007).

Oksida	Notasi pendek	Nama umum	% berat
CaO	C	Kapur	63
SiO_2	S	Silika	22
Al_2O_3	A	Alumina	6
Fe_2O_3	F	Ferit oksida	2.5
MgO	M	Magnesia	2.6
K_2O	K	Alkalis	0.6
Na_2O	N	Disodium oksida	0.3
SO_2	S	Sulfur dioksida	2
CO_2	C	Karbon dioksida	-
H_2O	H	Air	-

Sifat-sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu peningkatan, kekalan, kekuatan, pengikat semu, panas hidrasi, dan hilang pijar. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing sifat.

2.2.1.6 Sifat-sifat Semen Portland

Sifat-sifat semen portland yang penting antara lain:

1. Kehalusan butiran

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang. Kehalusan butiran semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butiran semen yang lewat ayakan no.200 harus lebih dari 78%.

2. Waktu pengikat

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung mulai dari bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menerima tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua:

- a. Waktu ikat awal (*initial setting time*), yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan.
- b. Waktu ikat akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras.

Pada semen portland *initial setting time* berkisar 1.0-2.0 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1.0 jam, sedangkan *final setting time* tidak boleh lebih dari 8.0 jam. Untuk kasus-kasus tertentu, diperlukan *initial setting time* lebih dari 2.0 jam agar waktu terjadinya ikatan awal lebih panjang. Waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*), dan perataan permukaan.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butiran semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama pada struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

4. Perubahan volume (kekalan)

Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Pengembangan volume dapat menyebabkan kerusakan dari suatu beton, karena itu pengembangan beton dibatasi 0.8%. Pengembangan semen ini disebabkan karena adanya CaO bebas, yang tidak sempat bereaksi dengan oksida-oksida lain. Selanjutnya CaO ini akan bereaksi dengan air membentuk Ca(OH)_2 dan pada saat kristalisasi volumenya akan membesar. Akibat pembesaran volume tersebut, ruang antar partikel terdesak dan akan timbul retak - retak.

2.2.2 Agregat

2.2.2.1 Umum

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, yaitu berkisar 60%-70% dari volume beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar sehingga karakteristik dan sifat agregat memiliki pengaruh langsung terhadap sifat-sifat beton.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Semua secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Ukuran

antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*british standard*) atau 4.75 mm (standard ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm.

2.2.2.2 Jenis Agregat

Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan alam ini pun dapat dibedakan berdasarkan bentuknya, tekstur permukaannya, dan ukuran butir nominal (gradasi). Berikut penjelasan mengenai pembagian jenis-jenis agregat yang digunakan pada campuran beton.

2.2.2.2.1 Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk

Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya dipengaruhi oleh proses geologi buatan yang terbentuk secara alamiah. Setelah dilakukannya penambangan, bentuk agregat dipengaruhi oleh mesin pemecah batu maupun cara peledakan yang digunakan.

Jika dikonsolidasikan butiran yang bulat akan menghasilkan campuran beton yang lebih baik bila dibandingkan dengan butiran yang pipih dan lebih ekonomis penggunaan pasta semennya. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah:

1. Agregat bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air atau keseluruhannya terbentuk karena pengerasan. Rongga udaranya minimum 33%, sehingga rasio luas permukaannya kecil. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan, sebab ikatan antar agregat kurang kuat.

2. Agregat bulat sebagian atau tidak teratur

Agregat ini secara alamiah berbentuk tidak teratur. Sebagian terbentuk karena pengerasan sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga bola pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35%-38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan.

Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antara agregat belum cukup baik (masih kurang kuat).

3. Agregat bersudut

Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini sekitar 38%-40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan karena ikatan antar agregatnya baik (kuat).

4. Agregat panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar dari pada tebalnya. Agregat ini disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $9/5$ dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata ialah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($9/5 \times 15$ mm). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Kekuatan tekan yang dihasilkan agregat ini adalah buruk.

5. Agregat pipih

Agregat disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat pipih sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya.

6. Agregat pipih dan panjang

Pada agregat ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

2.2.2.2.2 Jenis Agregat Berdasarkan Tekstur Permukaan

Umumnya jenis agregat dengan permukaan kasar lebih disukai. Karena permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibanding dengan permukaan agregat yang licin. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Kasar

Agregat ini dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar mengandung bahan-bahan berkritisal yang tidak dapat terlihat dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

2. Berbutir (*granular*)

Pecahan agregat jenis ini memiliki bentuk bulat dan seragam.

3. Agregat licin/halus (*glassy*)

Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat dengan permukaan kasar. Agregat licin terbentuk akibat dari pengikisan oleh air, atau akibat patahnya batuan (*rocks*) berbutir halus atau batuan yang berlapi-lapis. Dari hasil penelitian, kekerasan agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat ini cenderung mutunya akan lebih rendah.

4. Kristalin (*crystaline*)

Agregat jenis ini mengandung kristal-kristal tampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

5. Berbentuk sarang lebah (*honeycombs*)

Agregat ini tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual kita dapat melihat lubang-lubang pada batuannya.

2.2.2.2.3 Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan ini pun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (*gradasi*), dan tekstur permukaannya.

Dari ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat halus

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah:

a. Susunan butiran (gradasi)

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus. Melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 jenis pasir yaitu:

- ✓ Pasir kasar : $2.9 < FM < 3.2$
- ✓ Pasir sedang : $2.6 < FM < 2.9$
- ✓ Pasir halus : $2.2 < FM < 2.6$

Selain itu ada juga batasan gradasi untuk agregat halus, sesuai dengan ASTM C 33 – 74 a. Batasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5: Batasan gradasi untuk agregat halus.

Ukuran saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.76 mm (No.4)	95-100

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

2.36 mm (No.8)	80-100
----------------	--------

1.19 mm (No.16)	50-85
0.595 mm (No.30)	25-60
0.300 mm (No.50)	10-30
0..150 mm (No.100)	2-10

- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan No.200), tidak boleh melalui 5% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
 - c. Kadar liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering).
 - d. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams-Harder dengan batas standartnya pada acuan No.3.
 - e. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab tarus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan didalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0.60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
 - f. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat:
 - ✓ Jika dipakai Natrium-Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
 - ✓ Jika dipakai Magnesium-Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15 %.
2. Agregat kasar
- Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang bagian besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Susunan besar butiran agregat kasar (ASTM,1991).

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
38,10	95-100
19,10	35-70
9,52	10-30
4,75	0-5

2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan didalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali dapat dipakai untuk pembuatan beton dengan semen yang kadar alkalinya tidak lebih dari 0,06% atau dengan penambahan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaihan.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1 % maka agregat harus dicuci.

5. Kekerasan butiran agregat diperiksa dengan bejana redulof dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat berikut :
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5–19,1 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan samapai fraksi 19,1–30 mm lebih dari 22% berat.
6. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

2.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta sebagai bahan pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Kandungan air yang rendah menyebabkan beton sulit dikerjakan (tidak mudah mengalir), dan kandungan air yang tinggi menyebabkan kekuatan beton akan rendah serta betonnya poros.

Air yang digunakan sebagai campuran harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi yang harus tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

Sumber air pada penelitian ini adalah jaringan PDAM Tritanadi yang terdapat di Laboratorium Bahan Rekayasa Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2.2.4 Bahan Tambahan

2.2.4.1 Umum

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan kedalam campuran beton pada saat atau selama percampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah yang didefinisikan dalam *standard definitions of terminology relating to concrete and concrete aggregates* (ASTM C.125-1995-61) dan dalam *cement and concrete terminology* (ACI SP-19) adalah sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan harus dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton.

Di Indonesia bahan tambah telah banyak dipergunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai dilapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI. Untuk bahan tambah yang merupakan bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang diberikan dalam ASTM C.494, “*standard specification for chemical admixture for concrete*”.

Untuk memudahkan pengenalan dan pemilihan *admixture*, perlu diketahui terlebih dahulu kategori dan penggolongannya, yaitu:

1. *Air entraining agent* (ASTM C 260), yang bahan tambah yang ditunjukkan untuk membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil didalam beton atau mortar selama pencampuran, dengan

maksud mempermudah pengerjaan beton pada saat pengecoran dan menambah ketahanan awal pada beton.

2. *Chemical admixture* (ASTM C 494), yaitu bahan tambah cairan kimia yang ditambahkan untuk mengendalikan waktu pengerasan (memperlambat atau mempercepat), mereduksi kebutuhan air, menambah kemudahan pengerjaan beton, meningkatkan nilai *slump* dan sebagainya.
3. *Mineral admixture* (bahan tambah mineral), merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan ini cenderung bersifat penyemenan. Keuntungannya antara lain: memperbaiki kinerja *workability*, mempertinggi kuat tekan dan keawetan beton, mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah pozzolan, *fly ash*, *slang*, dan *silica fume*.
4. *Miscellaneous admixture* (bahan tambah lain), yaitu bahan tambah yang tidak termasuk dalam ketiga kategori di atas seperti bahan tambah jenis polimer (*polypropylene*, *fiber mash*, serat bambu, serat kelapa dan lainnya), bahan pencegah pengerasan dan bahan tambahan untuk perekat (*bonding agent*).

2.2.4.2 Alasan Penggunaan Bahan Tambahan

Penggunaan bahan tambahan harus didasarkan pada alasan-alasan yang tepat misalnya untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu pada beton. Pencapaian kekuatan awal yang tinggi, kemudahan perkerjaan, menghemat harga beton, memperpanjang waktu pengerasan dan pengikatan, mencegah retak dan lain sebagainya. Para pemakai harus menyadari hasil yang diperoleh tidak akan sesuai dengan yang diharapkan pada kondisi pembuatan beton dan bahan yang kurang baik. Keuntungan penggunaan bahan tambah pada sifat beton, antara lain:

- a. Pada beton segar (*fresh concrete*)
 - Memperkecil faktor air semen.
 - Mengurangi penggunaan air.
 - Mengurangi menggunakan semen.

- Memudahkan dalam pengecoran.
 - Memudahkan *finishing*.
- b. Pada beton keras (*hardened concrete*)
- Meningkatkan mutu beton.
 - Kedap terhadap air (*low permeability*).
 - Meningkatkan ketahanan beton (*durability*).
 - Berat jenis beton meningkat.

2.2.4.3 Perhatian Penting dalam Menggunakan Bahan Tambahan

Penggunaan bahan tambahn dilapangan sering menimbulkan masalah-maalah tidak terduga yang tidak menguntungkan, karena kurangnya pengetahuan tentang interaksi antara bahan tambahan dengan beton. Untuk mengurangi dan mencegah hal tidak terduga dalam penggunaan bahan tambah tersebut, maka penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus dikonfirmasi dengan standard yang berlaku dan yang terpenting adalah memerhatikan dan mengikuti petunjuk dalam manualnya jika menggunakan bahan “paten” yang diperdagangkan.

- a. Mempergunakan bahan tambah sesuai dengan speifikasinya ASTM (*American Siciety fir Testing and Materials*) dan ACI (*American Concrete International*). Parameter yang ditinjau adalah:
- Pengaruh pentingnya bahan tambahan pada penampilan beton.
 - Pengaruh samping (*side effect*) yang diakibatkan oleh bahan tambahan. Banyak bahan tambahan mengubah lebih dari satu sifat beton, sehingga kadang-kadang merugikan.
 - Sifat-sifat fisik bahan tambahan.
 - Konsentrasi dari komposisi bahan yang aktif, yaitu ada tidaknya komposisi bahan yang merusak seperti klorida, sulfide, fosfat, juga nitrat dan amoniak dalam bahan tambahan.
 - Bahaya yang terjadi terhadap pemakai bahan tambahan.
 - Kondisi penyimpanan dan batas umur kelayakan bahan tambahan.
 - Persiapan dan prosedur pencampuran bahan tambahan pada beton segar.

- Jumlah dosis bahan tambahan yang dianjurkan tergantung dari kondisi struktural dan akibatnya bila dosis berlebihan.
 - Efek bahan tambah sangat nyata untuk mengubah karakteristik beton misalnya FAS, tipe dan gradasi agregat, tipe dan lama pengadukan.
- b. Mengikuti petunjuk yang berhubungan dengan dosis pada brosur dan melakukan pengujian untuk mengontrol pengaruh yang didapat. Biasanya pencampuran bahan tambahan dilakukan pada saat pencampuran beton. karena kompleksnya sifat bahan tambahan beton terhadap beton, maka interaksi pengaruh bahan tambahan pada beton, khususnya interaksi pengaruh bahan tambahan pada semen sulit diprediksi. Sehingga diperlukan percobaan pendahuluan untuk menentukan pengaruhnya terhadap beton secara keseluruhan.

2.2.4.4 Jenis Admixture

2.2.4.4.1 Mineral Admixture

a. Kerak Tanur Tinggi (*Slag*)

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan oleh industri peleburan baja yang secara fisik mempunyai agregat kasar. *Slag* adalah kerak, bahan sisadari pengecoran besi (*pig iron*), dimana prosesnya memakai dapur (*furnace*) yang bahan bakarnya dari udara yang ditiupkan (*blast*). Material penyusun *slag* adalah kapur, silika dan alumina yang bereaksi pada temperatur 1600°C dan bentuk cairan. Bila cairan ini didinginkan secara lambat maka akan terjadi kristal yang tak berguna sebagai campuran semen dan dapat dipakai sebagai pengganti agregat. Namun membentuk *granulated glass* yang sangat aktif, yang cocok untuk pembuatan semen *slag*. *Slag* tersebut kemudian digiling hingga halus, dapat dipakai sebagai bahan pengganti semen pada pembuatan beton. seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan limbah *slag* mencari solusi pemanfaatan limbah *slag* tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya limbah *slag* dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam bahan konstruksi dan campuran perkerasan aspal.

b. Uap Silika (*Silika Fume*)

Uap silika terpadatkan (*condensed silica fume*, CSF) adalah produk samping dari proses fusi (smelting) dalam produksi silikon metal dan amalgam ferrosilikon (pada pabrik pembuatan mikrichip untuk komputer). Juga disebut *siliks fume* (SF), *microsilika*, *silica fume dust*, *amorphous silica*, dan sebagainya. Namun SF yang dipakai beton adalah yang mengandung lebih dari 75% silikon. Secara umum, SF mengandung SiO₂ 86-96%, ukuran butir rata-rata 0,2 micrometer, dan strukturnya amorphous (bersifat reaktif dan tidak terkrystalisasi). Ukuran siliks fume ini halus dari pada asap rokok. Silika fume berbentuk seperti fly ash tetapi ukurannya lebih kecil sekitar saratus kali lipatnya. SF bisa didapat dalam bentuk bubuk, didapatkan atau cairan yang dicampurkan dengan air 50%. Berat jenisnya sekitar 2,20 tetapi bulk density hanya 200-300 kg/m³. Specific surface area sangat besar, yaitu 15-25 m²/g.

SF bisa dipakai sebagai pengganti sebagai semen, meskipun tidak ekonomis. Kedua sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki sifat beton, baik beton segar maupun beton keras. Untuk beton normal dengan kadar semen diatas 250 kg/m³, kebutuhan air bertambah dengan ditambahkan SF. Campuran lebih kohesif pada slump yang sama, lebih banyak energi dibutuhkan untuk menghasilkan aliran tertentu. Ingin mengindikasikan stabilitas lebih baik dari beton cair. Perdarahan (*bleeding*) sangat berkurang sehingga perlu perawatan dini untuk mencegah retak susut plastis, khususnya pada cuaca panas dan berangin. SF biasanya dipakai bersama super plastisizer. Beton dari SF memperlihatkan kekuatan awal yang rendah. Namun perawatan temperatur tinggi memberi pengaruh percepatan yang besar, potensi kekuatan adalah 3 sampai 5 kali dari semen portland per unit massa sehingga untuk kekuatan yang sama, umur 28 hari memberikan faktor air semen yang lebih besar. Panas hidrasi juga 2 kali lebih besar, namun karena potensi kekuatan tinggi, evolusi panas total bisa lebih rendah bila kadar semen dikurangi. Sifat mekanis lainnya seperti kuat tarik dan lentur serta modulus elatisitas berkaitan dengan kuat tekan seperti halnya beton dari semen portland.

c. Abu Terbang (*fly ash*)

Fly-Ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang

telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Fly-Ash atau abu terbang dikenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan beraksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang berbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

2.2.4.4.2 Jenis *Miscellaneous admixture* (bahan tambah lainnya)

Saat ini mulai dilakukan pengujian penambahan material-material tertentu guna mencapai hasil ataupun mengetahui pengaruh dari penggunaan material tersebut. Bahan tersebut ditambah ke dalam campuran beton dengan berbagai tujuan, antara lain untuk mengurangi pemakaian semen, agregat halus maupun agregat kasar. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti sebagian agregat atau sebagai tambahan pada campuran untuk mengurangi pemakaian agregat.

a. Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Kulit padi (sekam) dari penggilingan padi dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi. Sekam terdiri dari 75% bahan mudah terbakar dan 25% berat akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal dengan *Rice Husk Ash* (RHA) yang mempunyai kandungan silika reaktif 85-90%. Untuk membuat abu sekam padi menjadi silika reaktif yang dapat digunakan sebagai material pozzolan dalam beton maka diperlakukan kontrol pembakaran yang baik. Temperatur pembakaran tidak boleh melebihi 800 °C sehingga dapat dihasilkan RHA yang terdiri dari silika yang tidak terkristalisasi. Jika sekam ini terbakar hingga suhu lebih dari 850 °C maka akan menghasilkan abu yang sudah terkristalisasi menjadi arang dan tidak reaktif lagi sehingga tidak mempunyai sifat pozzolan.

Tabel 2.7: Komponen kimia sekam padi (Ismunadji, 1998).

Komponen	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

Sedangkan kandungan kimia hasil pembakaran abu sekam padi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.8: Komposisi kimia abu sekam padi (Houston, 1972).

Komponen	% Berat
SiO ₂	86,90 – 97,30
K ₂ O	0,58 – 2,50
Na ₂ O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 – 0,54
P ₂ O ₅	0,20 – 2,84
SO ₃	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,42

Cangkang kemiri memiliki struktur yang keras dan tebal karena tersusun atas jaringan sklerenkim berupa sklereida yang dinding sel sekundernya mengandung lignin yang tebal dan keras sehingga tahan terhadap tekanan dan benturan.

Tabel 2.9 Komponen Kimia Cangkang Kemiri (Lempang. dkk, 1997).

No.	Komponen (<i>Components</i>)	Kadar (<i>Content</i>), %
1.	Holosekulosa (<i>Holosekulose</i>)	49,22
2.	Pentosa (<i>Pentosan</i>)	14,55
3.	Lignin	54,46

c. Limbah Karet

Cacahan karet ban merupakan salah satu bahan tambah ataupun pengganti pada agregat yang akhir-akhir ini mulai diteliti dampak penggunaannya terhadap campuran pada beton. Penggunaan cacahan karet ban ini dapat diperlakukan sebagai pengganti agregat kasar ataupun halus tergantung pada besar butiran cacahan karet yang digunakan.

Dampak terhadap awal yang diharapkan dari penggunaan cacahan karet ban ini adalah didapatnya nilai perilaku mekanik beton yang setara ataupun mendekati dengan beton normal. Sehingga didapat penghematan agregat dalam campuran beton tersebut.

d. Bahan Serat

Selain limbah dan industri metal, bahan serat (*fiber*) dapat pula meningkatkan kinerja beton, yang dikenal dengan beton berserat. Disini serat berfungsi sebagai tulangan mikro yang melindungi beton dari keretakan, meningkatkan kuat tarik dan lentur secara tak langsung. Serat juga meningkatkan kekuatan tekan dan daktilitas beton, meningkatkan kedapat beton, serta meningkatkan daya tahan beton terhadap beton bertulang dan beban kejut. Sistem tulangan mikro yang terbuat dari serat-serat ini bekerja berdasarkan prinsip-prinsip mekanis, yaitu berdasarkan pada ikatan (*bond*) antara serat dan beton, bukan secara kimiawi. Oleh karenanya, material komposit beton berserat akan menjadi bahan yang tak mudah retak.

Proses kimiawi dalam beton tidak akan berpengaruh dengan adanya serat dan tidak akan merugikan proses pengerasan beton dalam jangka pendek maupun panjang. Beberapa jenis bahan serat yang dapat dipergunakan dalam beton, antara lain serat alami (rami, *abaca*), serat sintesis (*polypropylene polyester*), *nylon*, serat baja dan *fiber glass*.

Meningkatkan kuat tarik dan lentur, meningkatkan daktilitas dan kemampuan menyerap energi saat berdeformasi, mengurangi retak akibat susut beton, meningkatkan ketahanan *fatigue* (beban berulang) dan meningkatkan ketahanan *impact* (beban tumbukan) merupakan beberapa keunggulan beton berserat.

2.3 Klasifikasi Retak

Klasifikasi retak bervariasi yaitu:

- a) Umum yang terdiri dari retak akibat rangkakan (*creep*) dan retak akibat susut (*shrinkage*).
- b) Lebar retak yang terdiri dari retak mikro, retak makro dan retak mayor.
- c) Bentuk dan pola retak yang terdiri dari retak tunggal, retak ganda. Retak bercabang.

Retak yang diperolehkkan harus sesuai dengan faktor keamanan, perawatan (perlakuan) dan kekuatan bahan pada beton itu sendiri meskipun retak tidak dapat ditentukan bentuk dan pola yang terjadi, hal ini dikarekkan retak berhubungan dengan permukaan yang bebas (tidak diberikan beban).

2.3.1 Rangkakan (*Creep*) dan Susut (*Shrinkage*)

Pada umumnya penyebab retak adalah rangkakan (*creep*) dan susut (*shrinkage*) yang tergantung pada waktu. Rangkakan (*creep*) adalah salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi yang menerus menurut waktu dibawah pembebanan yang diijinkan. Deformasi yang tidak elastis ini bertambah dengan tingkat perubahan yang berkurang selama pembebanan dan jumlah totalnya dapat

mencapai besar beberapa kali dari deformasi elastis dalam waktu jangka pendek. Definisi *shrinkage* secara umum adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan dan lebih dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, aliran angin dan faktor lingkungan lainnya. Saat beton masih bersifat plastis maka partikel agregat akan turun kebawah sedangkan air dan udara akan naik keatas akibatnya dapat terjadi retak-retak. Retak akibat penyusutan volume pada beton plastis disebut *plastic shrinkage crack* sedangkan retak akibat penyusutan yang terus terjadi karena panas hidrasi pada beton keras (*hardened concrete*) disebut *drying shrinkage crack*.

2.3.2 Plastic Shrinkage Crack

Setelah semen bereaksi dengan air maka pasta akan mengalami reduksi dalam volume beton, tetapi ini seharusnya menjadi catatan bahwa hal tersebut disebabkan oleh hidrasi pada beton yang meningkat. Perawatan beton yang disimpan dalam air secara kontinu akan menambah volume beton berkisar 0.001 s/d 0.02% dari volume semula akibat beton tersebut mengembang. Namun disatu sisi jika beton disimpan ditempat yang kering dan panas (*dry curing*) maka beton akan menyusut sehingga volume beton berkurang. *Plastic shrinkage* terjadi pada hari pertama setelah pengecoran berkisar antara 5–10 jam. Retak sering terjadi pada permukaan beton dan terlihat tidak teratur. Retak juga lebih banyak terjadi pada arah horizontal. Retak *plastic shrinkage* banyak terjadi pada slab dan perkerasan jalan raya dengan bidang permukaan yang luas sehingga terjadi evaporasi yang sangat tinggi. Kondisi udara yang sangat panas juga dapat meningkatkan terjadinya *plastic shrinkage* dapat dipengaruhi dalam merencanakan campuran antara lain:

1. Tipe semen.
2. Faktor air semen.
3. Jumlah dan ukuran agregat kasar.
4. Konsistensi dalam campuran.

Beberapa cara dapat dilakukan untuk mengatur seminimal mungkin retak akibat *plastic shrinkage*. Penyemprotan air dingin pada agregat sebelum dicampur dan penggunaan air dingin pada campuran bisa mengurangi terjadinya *plastic shrinkage crack*. Meminimalkan atau mengurangi terjadinya penguapan air juga dapat menurunkan besar terjadinya *plastic shrinkage* yang dapat dilakukan dengan perawatan terhadap benda uji supaya lembab atau ditutup dengan plastik agar terhindar dari pengaruh udara luar. Penurunan suhu beton pada saat pencampuran akan mengurangi besar penyusutan plastis pada beton tersebut. Penurunan suhu semen antara 8-10°C dan suhu agregat menurun 1,8°C akan dapat menurunkan suhu beton sebesar 1°C.

2.3.3 Drying Shrinkage Beton

Drying Shrinkage terjadi pada beton yang telah mengeras (*hardened concrete*) akibat kehilangan air dari pasta semen. Rata-rata *drying shrinkage* bisa mencapai 500×10^{-6} in atau 0.05 % dari panjang beton dan pada umumnya sebesar $350-650 \times 10^{-6}$ in. Hal ini berarti bahwa untuk sebuah ukuran slab dengan ukuran 30 ft x 80 ft dapat menyusut berkisar antara 0,12-0,23 in terhadap panjang slab. Perawatannya juga mempengaruhi retak. Pada slab cenderung untuk mengeringkan bagian atas dan menyusutkan bagian bawah slab yang mempunyai kelembaban tinggi. Perbedaan kelembaban ini dapat diatasi dengan menggunakan *admixture*, yang dapat mengubah cara air berpindah tempat dalam campuran beton sehingga menghasilkan kelembaban yang seragam. Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya *drying shrinkage* antara lain adalah:

1. Tipe semen.
2. Jumlah semen.
3. Proporsi campuran.
4. Ukuran dan bentuk struktur.
5. Perawatan (*curing*).

2.3.4 Lebar Retak

Retak dapat dikenali dengan tiga parameter yaitu lebarnya, panjangnya, dan pola umumnya, lebar retak ini sulit diukur karena bentuknya yang tidak teratur

(*irregular shape*). Pada fase pengerasan beton terdapat retak mikro, retak ini sulit dideteksi karena terlalu kecil.

Melihat lebar retak mikro biasanya dipergunakan *crack microscope* yang lebarnya bervariasi antara 0,125–1,0 μm (8 jam pertama setelah pencetakan). Lebar retak minimum yang dapat dilihat oleh mata sebesar 0,13 mm (0,005 in), dikenal dengan retak mikro. Retak mikro apabila dibebani akan menjadi retak mayor atau retak yang lebih besar. Lebar retak maksimum yang diijinkan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.10 toleransi Lebar Retak.

No	Jenis Struktur dan kondisi	Toleransi lebar retak (mm)
(1)	(2)	(3)
1.	Struktur dalam ruangan (In-door struktur), Udara kering (dry-air), pemberian lapisan yang kedap air	0,41
2.	Struktur luar (Out-door strukture), Kelembaban sedang, tidak ada pengaruh korosi	0,30
3.	Struktur luar (Out-door strukture), Kelembaban tinggi, pengaruh kimiawi	0,18
4.	Struktur dengan kelembaban tinggi dan dipengaruhi oleh korosi (salju/es, air laut)	0,15
5.	Struktur berkaitan dengan air (Reservoir	0,10

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kajian eksperimental yang dilakukan di laboratorium Beton Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Secara umum urutan tahap penelitian ini meliputi:

1. Data primer

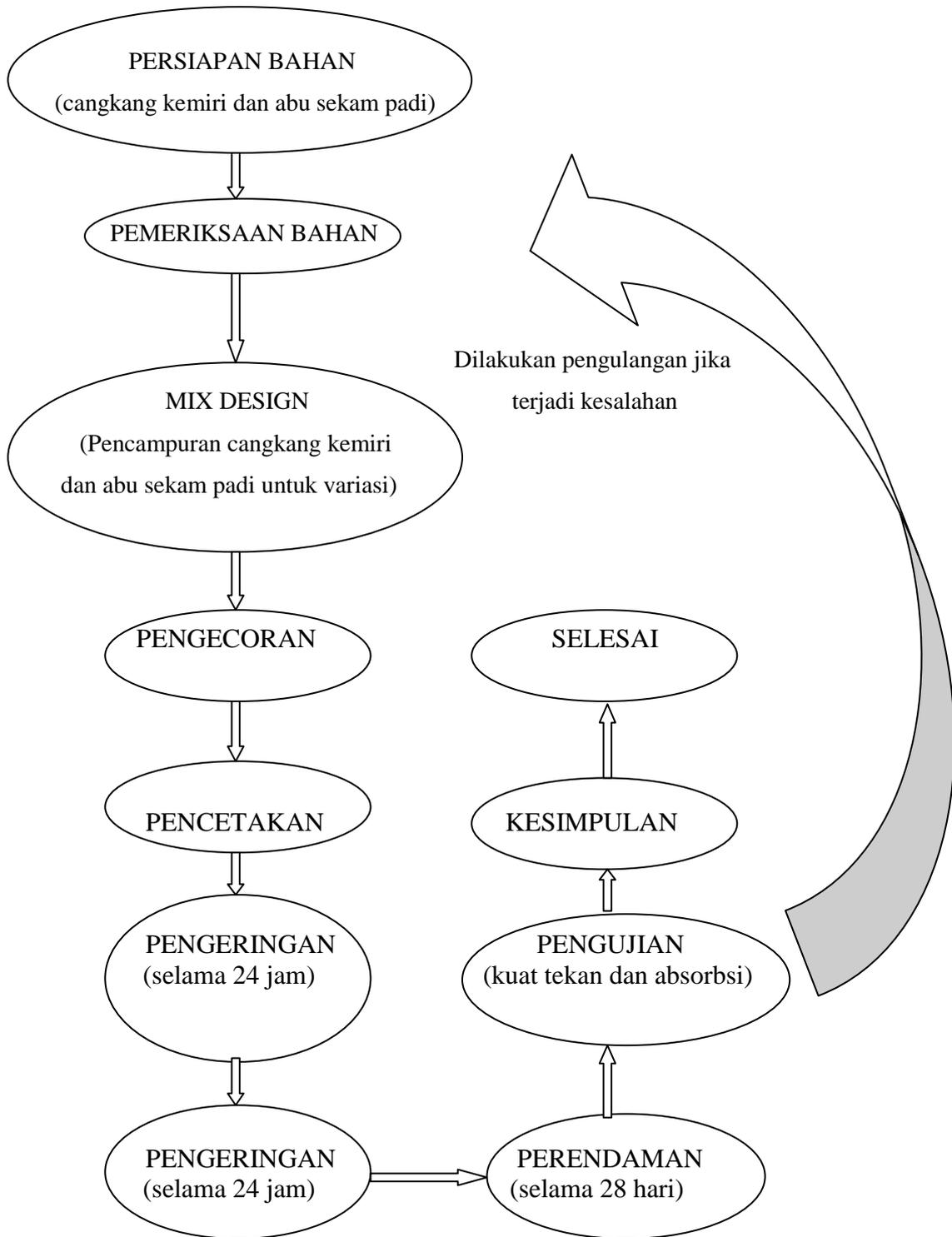
Data yang diperoleh dari perhitungan di laboratorium seperti:

- a. Penyediaan bahan penyusun beton.
- b. Pemeriksaan bahan.
- c. Pengujian waktu ikat semen.
- d. Perencanaan campuran beton (*Mix design*).
- e. Pembuatan benda uji.
- f. Pemeriksaan nilai *slump*
- g. Pengujian kuat tekan beton umur 28 hari.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (literatur) dan konsultasi langsung dengan Kepala Laboratorium di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara teknis mengenai *additive* , SNI-03-2834 (1993), PBI (peraturan Beton Indonesia), ASTM C33 (1985) serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna untuk memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

Diagram



Gambar 3.1: Diagram alir pembuatan beton normal dan variasi.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Februari 2018 hingga Mei 2018. Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jln. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

3.3 Bahan dan Peralatan

3.3.1 Bahan

Komponen bahan pembentuk beton yang digunakan yaitu:

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Padang Tipe I PCC(*Portland Pozzolan Cement*).

b. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari Binjai dengan cara pengerukan dasar sungai.

c. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah dengan ukuran maksimum 40 mm yang diperoleh dari daerah Binjai.

d. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air yang berasal dari PDAM Tirtanadi Medan untuk Campuran Beton.

e. Abu sekam padi

Abu sekam padi berasal dari pabrik beras. Abu sekam padi yang digunakan lolos saringan No.200.

f. Cangkang kemiri

Cangkang kemiri didapat dari tempat pengupasan kemiri. Cangkang kemiri yang digunakan tertahan saringan 3/8”.

3.3.2 Peralatan

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini antara lain:

1. Satu set saringan untuk agregat halus dan agregat kasar.

2. Satu set alat untuk pemeriksaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
3. Satu set alat untuk pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar.
4. Satu set alat untuk pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dan agregat kasar.
5. Satu set alat untuk pemeriksaan berat isi agregat halus dan agregat kasar.
6. Timbangan.
7. Alat pengaduk beton (*mixer*).
8. Cetakan benda uji berbentuk silender.
9. Alat kuat tekan (*compression*).
10. Mesin Los Angeles.
11. Satu set *Slump Test*.

3.4 Persiapan Penelitian

Setelah seluruh material sampai di lokasi penelitian, maka material dipisahkan menurut jenisnya untuk mempermudah dalam tahapan-tahapan penelitian yang akan dilaksanakan nantinya dan juga agar material tidak tercampur dengan bahan-bahan yang lain sehingga mempengaruhi kualitas material.

3.5 Pemeriksaan Agregat

Di dalam pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun agregat halus dilakukan di laboratorium mengikuti panduan dari SNI tentang pemeriksaan agregat serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU.

3.5.1 Pemeriksaan Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan ini meliputi beberapa tahapan/pemeriksaan diantaranya:

- Pemeriksaan kadar air.
- Pemeriksaan kadar lumpur.
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

- Pemeriksaan berat isi.
- Pemeriksaan analisa saringan.

3.5.1.1 Kadar Air Agregat Halus

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang kadar air agregat halus. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Data-data hasil penelitian kadar air agregat halus.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD dan berat wadah (W1)	676	682	679
Berat contoh kering oven & berat wadah (W2)	666	670	667,5
Berat wadah (W3)	176	182	179
Berat air (W1-W2)	10	12	11,5
Berat contoh kering (W2-W3)	490	488	488,5
Kadar air $((W1-W2)/(W2-W3)) \times 100\%$	2,04	2,4	2,22

Berdasarkan Tabel 3.1 pengujian kadar air agregat halus dapat diperoleh nilai kadar air rata-rata sebesar 2,22%. Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali, pengujian pada contoh pertama kadar air yang diperoleh sebesar 2,04% sedangkan yang kedua diperoleh sebesar 2,40% dari hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi lebih besar dari nilai absorpsi >1,318 sesuai peraturan ‘AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS’ (ASTM C70).

3.5.1.2 Kadar Lumpur Agregat Halus

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang kadar lumpur agregat halus. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus.

Agregat halus lolos saringan No.4	Contoh 1 (gr)	Contoh 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering : A(gr)	500	500	500
Berat contoh setelah dicuci : B (gr)	485	482	483,5

Tabel 3.2: *Lanjutan.*

Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci C(gr)	15	18	16,5
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	3,0	3,6	3,3

Berdasarkan Tabel 3.2 pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan dengan mencuci sampel dengan menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan Saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal contoh, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 3,0%, dan sampel kedua sebesar 3,6%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 3,3%. Jumlah persentase tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan PBI 1971 yaitu <5%.

3.5.1.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang berat jenis dan penyerapan agregat halus. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (B)	500	500	500
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan (E)	491	492	491,5
Berat piknometer penuh air (D)	666	672	669
Berat contoh SSD dalam piknometer penuh air (C)	977	972	974,5
Berat jenis contoh kering $E/(B+D-C)$	2,59	2,46	2,525
Berat jenis contoh SSD $B/(B+D-C)$	2,64	2,50	2,57
Berat jenis contoh semu $E/(E+D-C)$	2,72	2,56	2,64
Penyerapan $((B-E)/E) \times 100\%$	1,83	1,62	1,725

--	--	--	--

Berdasarkan Tabel 3.3 pengujian berat jenis maupun penyerapan, pada tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu dengan nilai rata-rata $2,525\text{gr/cm}^3 < 2,57\text{gr/cm}^3 < 2,64\text{ gr/cm}^3$ dan nilai penyerapan rata-rata sebesar 1,725%. Berdasarkan standar ASTM C 128 tentang absorpsi yang baik adalah dibawah 2% dan nilai absorpsi agregat halus yang diperoleh telah memenuhi syarat.

3.5.1.4 Berat Isi Agregat Halus

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang berat isi agregat halus. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Data-data hasil penelitian berat isi agregat halus.

No	Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Contoh 3	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	24850	25500	21668	24006
2	Berat wadah (gr)	6500	6500	6500	6500
3	Berat contoh (gr)	18350	19000	21500	19616,67
4	Volume wadah (cm^3)	15451,16	15451,16	15451,16	15451,16
5	Berat isi (gr/cm^3)	1,18	1,22	1,39	1,26

Berdasarkan Tabel 3.4 pengujian berat isi agregat halus dengan hasil rata-rata sebesar $1,26\text{ gr/cm}^3$. Hasil ini didapat dari rata-rata ketiga contoh, yang berdasarkan perbandingan nilai berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam percobaan. Hasil dari percobaan tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan yaitu $>1,125\text{ gr/cm}^3$.

3.5.1.5 Analisa Saringan Agregat Halus

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang analisa saringan agregat halus. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat halus.

Sieve Size	Retained Fraction				Cumulative	
	Sample 1 (gr)	Sample 2 (gr)	Total Weight (gr)	%	Retained	Passing
9.50 (No 3/8 in)	0	0	0	0	0	100
4.75 (No. 4)	65	72	137	3,91	3,91	96,09
2.36 (No. 8)	140	151	291	8,305	12,215	87,785
1.18 (No.16)	165	170	335	9,57	21,785	78,215
0.60 (No. 30)	620	684	1304	37,2	58,985	41,015
0.30 (No. 50)	415	435	480	24,25	83,235	16,765
0.15 (No. 100)	185	160	345	9,88	93,115	7,035
Pan	110	128	238	6,835	100,00	0,00
Total	1700	1800	3500	100		

Berdasarkan Tabel 3.5 pengujian analisa saringan agregat halus ini menggunakan nomor saringan yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-1993, yang nantinya akan dibuat grafik zona gradasi agregat yang didapat dari nilai kumulatif agregat. Apakah agregat yang dipakai termasuk zona pasir kasar, sedang, agak halus, atau pasir halus. Penjelasan nilai kumulatif agregat didapat dari penjelasan berikut ini:

Total berat pasir = 3800 gram

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.4} = \frac{137}{3500} \times 100\% = 3,91 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{291}{3500} \times 100\% = 8,305 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{335}{3500} \times 100\% = 9,57 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{1304}{3500} \times 100\% = 37,2 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{480}{3500} \times 100\% = 24,25 \%$$

$$\begin{aligned} \text{No.100} &= \frac{345}{3500} \times 100\% = 9,88 \quad \% \\ \text{Pan} &= \frac{238}{3500} \times 100\% = 6,835 \quad \% \end{aligned}$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$\begin{aligned} \text{No.4} &= 0 + 3,91 = 3,91 \quad \% \\ \text{No.8} &= 3,91 + 8,305 = 12,215 \quad \% \\ \text{No.16} &= 12,215 + 9,57 = 21,785 \quad \% \\ \text{No.30} &= 21,785 + 37,2 = 58,985 \quad \% \\ \text{No.50} &= 58,985 + 24,25 = 83,235 \quad \% \\ \text{No.100} &= 83,235 + 9,88 = 93,115 \quad \% \\ \text{Pan} &= 93,115 + 6,835 = 100,00 \quad \% \end{aligned}$$

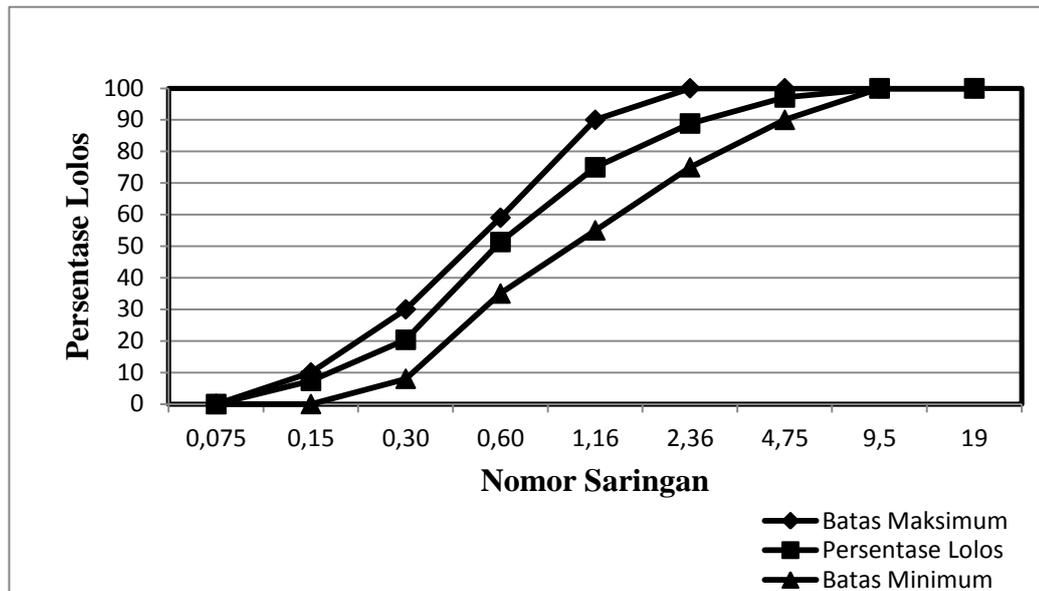
Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 273,249 %

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\ &= \frac{273,249}{100} \end{aligned}$$

$$\text{FM} = 2,73$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

$$\begin{aligned} \text{No.4} &= 100 - 3,91 = 96,09 \quad \% \\ \text{No.8} &= 100 - 12,215 = 87,785 \quad \% \\ \text{No.16} &= 100 - 21,785 = 78,215 \quad \% \\ \text{No.30} &= 100 - 58,985 = 41,015 \quad \% \\ \text{No.50} &= 100 - 83,235 = 16,765 \quad \% \\ \text{No.100} &= 100 - 93,115 = 7,035 \quad \% \\ \text{Pan} &= 100 - 100,00 = 0,00 \quad \% \end{aligned}$$



Gambar 3.2: Grafik gradasi agregat halus (zona 2 pasir sedang).

Berdasarkan Gambar 3.2 menjelaskan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada Tabel 3.5 diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 2,73 dan dari grafik hasil pengujian diketahui bahwa agregat halus yang diuji termasuk di zona 2 (pasir sedang) seperti gambar diatas.

3.5.2 Pemeriksaan Agregat Kasar (Batu Pecah)

Pemeriksaan ini meliputi beberapa tahapan/pemeriksaan diantaranya:

- Pemeriksaan kadar air.
- Pemeriksaan kadar lumpur.
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- Pemeriksaan berat isi.
- Pemeriksaan analisa saringan.
- Pemeriksaan keausan agregat.

3.5.2.1 Kadar Air Agregat Kasar

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang kadar air agregat kasar. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Data-data hasil penelitian kadar air agregat kasar.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD & berat wadah (W1)	3394	3496	3445
Berat contoh SSD	2900	3000	2950
Berat contoh kering oven & wadah (W2)	3379	3482	3430,5
Berat wadah (W3)	494	496	495
Berat air (W1-W2)	15	15	15
Berat contoh kering (W2-W3)	2888	2987	2937,5
Kadar air $((W1-W2)/(W2-W3)) \times 100\%$	0,519	0,502	0,51

Berdasarkan Tabel 3.6 pengujian kadar air agregat kasar dapat diperoleh nilai kadar air rata-rata sebesar 0,51%. Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali, pengujian pada contoh pertama kadar air yang diperoleh sebesar 0,519% sedangkan yang kedua diperoleh sebesar 0,502% dari hasil tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu 0% - 3% menurut standarisasi ASTM.

3.5.2.2 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-2834-1993 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.7 sehingga diketahui kadar lumpur agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.7: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar.

Agregat Kasar Diameter Maksimum 40mm	Contoh 1 (gr)	Contoh 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering: A (gr)	3000	3000	3000
Berat contoh setelah dicuci: B (gr)	2987	2983	2985
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci: C(gr)	13	17	15
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200setelah dicuci (%)	0,433	0,567	0,5

Berdasarkan Tabel 3.7 pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan dengan mencuci sampel dengan menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan Saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal contoh, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 0,433%, dan sampel kedua sebesar 0,567%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 0,5%. Jumlah persentase tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan PBI 1971 yaitu <1%.

3.5.2.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-2834-1993 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.8 sehingga diketahui berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.8: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (A)	2900	3000	2950
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan (C)	2880	2978	2929
Berat contoh jenuh (B)	1790	1898	1725
Berat jenis contoh kering (C/(A-B))	2,60	2,70	2,65
Berat jenis contoh SSD (A/(A-B))	2,61	2,72	2,665

Tabel 3.8: *Lanjutan.*

Berat jenis contoh semu (C/(C-B))	2,64	2,75	2,695
Penyerapan $\frac{(A-C)}{C} \times 100\%$	0,69	0,734	0,716

Berdasarkan Tabel 3.8 pengujian berat jenis maupun penyerapan, pada tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu dengan nilai rata-rata $2,65 \text{ gr/cm}^3 < 2,665 \text{ gr/cm}^3 < 2,695 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai penyerapan rata-rata sebesar 0,716%. Berdasarkan standar ASTM C 127 tentang absorpsi yang baik adalah maksimum 4% dan nilai absorpsi agregat kasar yang diperoleh telah memenuhi syarat.

3.5.2.4 Berat Isi Agregat Kasar

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang berat isi agregat kasar. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Data-data hasil penelitian berat isi agregat kasar.

No	Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Contoh 3	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	30000	31680	32350	31343,33
2	Berat wadah (gr)	6500	6500	6500	6500
3	Berat contoh (gr)	23500	25180	25850	57296,67
4	Volume wadah (cm)	15451,16	15451,16	15451,16	15451,16
5	Berat Isi (gr/cm^3)	1,52	1,63	1,67	1,61

Berdasarkan Tabel 3.9 pengujian menghasilkan nilai berat isi agregat kasar yang rata-ratanya didapat sebesar $1,61 \text{ gr/cm}^3$. Nilai berat isi agregat didapatkan dari perbandingan nilai antara berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam penelitian ini. Pada sampel pertama didapat nilai berat isi agregat sebesar $1,52 \text{ gr/cm}^3$. Percobaan kedua menghasilkan nilai berat isi agregat sebesar $1,63 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan percobaan ke tiga menghasilkan nilai berat isi

agregat sebesar $1,67 \text{ gr/cm}^3$ dan hasil tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yang yaitu $> 1,125 \text{ gr/cm}^3$.

3.5.2.5 Analisa Saringan Agregat Kasar

Alat, bahan, dan cara kerja sesuai SNI 03-2834-1993 dan Panduan Praktikum Beton Fakultas Teknik UMSU tentang analisa saringan agregat kasar. Dari hasil pengujian di dapat data-data yang terdapat pada tabel 3.10.

Tabel 3.10: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar.

No Saringan	Berat Tertahan				Kumulatif	
	Contoh 1	Contoh 2	Total Berat	%	Tertahan	Lolos
	(gr)	(gr)	(gr)			
38,1 (1.5 in)	142	130	272	4,61	4,61	95,39
19.0 (3/4 in)	1240	1320	2560	43,39	47,94	52,06
9.52 (3/8 in)	975	910	1885	31,95	80,005	19,995
4.75 (No. 4)	543	640	1183	20,05	100,00	0,00
2.36 (No. 8)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
1.18 (No.16)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.60 (No. 30)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.30 (No. 50)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.15 (No. 100)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
Pan	0	0	0	0,00	100	0
Total	2900	3000	5900	100		

Berdasarkan Tabel 3.10, didapatkan nilai kumulatif agregat dan modulus kehalusan agregat kasar yang diperoleh dari persentase jumlah keseluruhan kumulatif tertahan agregat. Percobaan ini dilakukan dua kali, nomor saringan yang dipakai diambil berdasarkan metode ASTM C33 (1986), yang pada pengerjaan *Job Mix Design* nantinya dimodifikasi agar sesuai dengan tatacara perencanaan campuran beton menurut SNI 03-2834-1993. Penjelasan tentang persentase dan kumulatif agregat dijelaskan sebagai berikut:

$$\text{Total berat pasir} = 5900 \text{ gram}$$

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$1,5 = \frac{272}{5900} \times 100\% = 4,61 \%$$

$$\frac{3}{4} = \frac{2560}{5900} \times 100\% = 43,39 \%$$

$$\frac{3}{8} = \frac{1885}{5900} \times 100\% = 31,95 \%$$

$$\text{No. 4} = \frac{1183}{5900} \times 100\% = 20,05 \%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$1,5 = 0 + 4,61 = 4,61 \%$$

$$\frac{3}{4} = 4,61 + 43,39 = 48 \%$$

$$\frac{3}{8} = 48 + 31,95 = 79,95 \%$$

$$\text{No.4} = 77,30 + 20,05 = 100,00 \%$$

Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 732,56

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\ &= \frac{732,56}{100} \end{aligned}$$

$$\text{FM} = 7,32$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

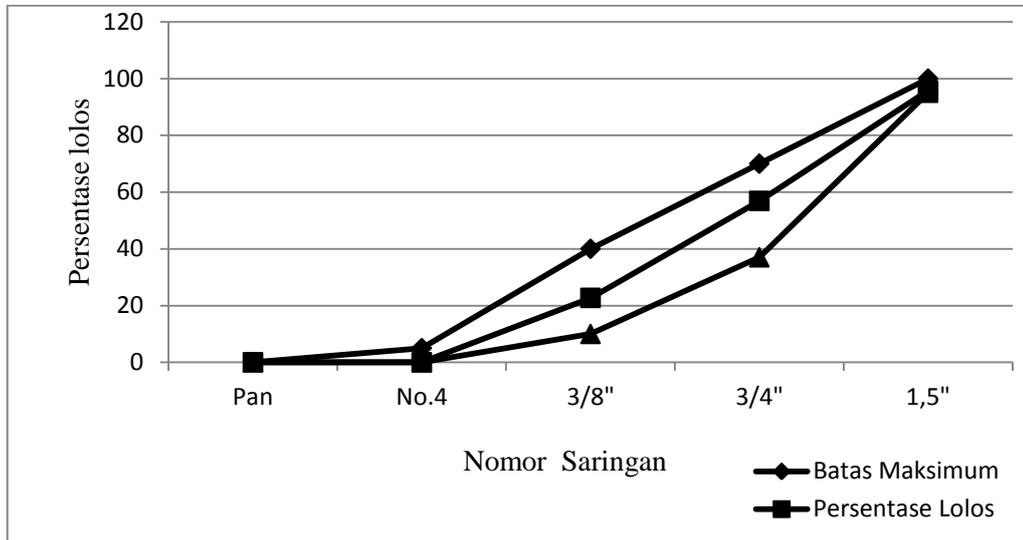
$$1,5 = 100 - 4,61 = 95,39 \%$$

$$\frac{3}{4} = 100 - 48 = 52 \%$$

$$\frac{3}{8} = 100 - 79,95 = 20,05 \%$$

$$\text{No. 4} = 100 - 100 = 0 \%$$

Batas gradasi batu pecah sebagai agregat kasar dengan kriteria berdiameter maksimum 40 mm dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Grafik gradasi agregat kasar diameter maksimum 40 mm

Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar ini menggunakan nomor saringan yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-1993, dari hasil persentase berat kumulatif yang lolos saringan maka pasir tersebut masih dalam *range* kerikil maksimum 40 mm.

3.5.2.6 Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles*

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 2147: 2008 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil UMSU tentang kekerasan agregat dengan Mesin *Los Angeles*.

Dari hasil penelitian didapat data-data sebagai berikut:

- Berat sampel sebelum pengujian = 5000 gr

Berat tiap-tiap ayakan tercantum dalam Tabel 3.11. Nilai keausan agregat didapatkan dari perbandingan persentase dari berat akhir agregat yang tertahan dengan saringan No. 12 dengan berat awal agregat yang diambil. Percobaan ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar ketahanan agregat terhadap gesekan.

Tabel3.11: Data-data dari hasil pengujian keausan agregat.

No Saringan	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)
12,5 (1/2 in)	2500	1183
9,50 (3/8 in)	2500	662
4,75 (No. 4)	-	1547
2,36 (No. 8)	-	552
1,18 (No. 16)	-	-
0,60 (No. 30)	-	-
0,30 (No. 50)	-	-
0,15 (No. 100)	-	-
Pan	-	770
Total	5000	4076
	Berat lolos saringan No. 12	924
	<i>Abrasion</i> (Keausan) (%)	18,48 %

$$\begin{aligned}
 \textit{Abrasion} &= \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4076}{5000} \times 100\% = 18,48 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil pemeriksaan di dapat pada Tabel 3.11 diketahui bahwa berat akhir setelah melakukan pengujian keausan agregat adalah sebesar 4076 gr dan nilai *abrasion* (keausan) sebesar 18,48%. Nilai tersebut telah memenuhi standar PBI 1971 bahwa nilai keausan agregat tidak lebih dari 50%.

3.6 Perencanaan Campuran Beton

Tahap awal sebelum melakukan perencanaan campuran beton, dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen dasar pembentuk beton sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia), yaitu pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar serta air. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran beton berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

3.7 Pelaksanaan Penelitian

3.7.1 *Trial Mix*

Menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang ekonomis,

memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki kelecakan yang sesuai sehingga mempermudah proses pengerjaan.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm yang berjumlah 30 buah dengan variasi yaitu beton normal, 5% ASP + 5% CK, 7,5% ASP + 10% CK, 10% ASP + 15% CK, 7,5% ASP + 5% CK, 5% ASP + 15% CK.

3.7.3 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-2834-1993.

3.7.4 Perawatan Beton

Setelah beton dikeluarkan dari cetakan, dilakukan perawatan dengan cara perendaman dalam air sampai saat uji kuat tekan dilakukan, yaitu pada umur 7 dan 28 hari.

3.7.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas 1500 KN. Sebelum ditekan benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk dapat mengetahui berat jenis beton. Jumlah sampel pengujian untuk setiap variasi direncanakan sebanyak:

- Beton normal	: 5 buah
- Beton variasi (5% ASP + 5% CK) 28 hari	: 5 buah
- Beton variasi (7,5% ASP + 10% CK) 28 hari	: 5 buah
- Beton variasi (10% ASP + 15% CK) 28 hari	: 5 buah
- Beton variasi (7,5% ASP + 5% CK) 28 hari	: 5 buah
- Beton variasi (5% ASP + 15% CK) 28 hari	: 5 buah
Jumlah	: 30 buah

3.8 Bahan Filler

3.8.1 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi yang digunakan adalah abu yang lolos ayakan no.200 (75μ), abu sekam padi yang tidak memenuhi dibuang. Abu sekam padi dapat diperoleh di kilang padi.



Gambar 3.4: Abu sekam padi.

3.8.2 Cangkang Kemiri

Cangkang kemiri yang digunakan adalah cangkang kemiri kering yang sudah di jemur terlebih dahulu dengan sinar matahari, dan dibersihkan agar sisa-sisa kemiri yang masih mengandung minyak dapat terbang. Metode pemecahan cangkang kemiri secara manual, dengan menggunakan alu atau palu. Kemudian cangkang tersebut di saring dengan ayakan agregat kasar $\frac{3}{4}$ “ (19.0 mm) dan $\frac{3}{8}$ “ (9.5 mm). Setelah di saring, hasil saringan yang tertahan ayakan $\frac{3}{8}$ “ (9.5 mm) adalah filler yang akan digunakan.



Gambar 3.5: Cangkang kemiri.

3.9 Penggunaan Abu Sekam Padi dan Cangkang Kemiri didasari oleh beberapa penelitian

1. “Pengaruh penambahan Tempurung Kelapa Sebagai Material Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton” oleh Iwan Rustendi tahun 2004. Dalam jurnal ini dijelaskan bahwa tempurung kelapa dipakai sebagai material serat tambahan untuk agregat kasar dengan memberi variasi-variasi penambahan serat tempurung kelapa. Dalam jurnal ini yang diuji adalah kuat tekan beton dan kuat tarik beton dimana benda uji yang dipakai adalah silinder dengan banyaknya benda uji yang dipakai adalah dua buah untuk masing-masing percobaan, dua buah benda uji untuk uji tekan dan dua buah untuk uji tarik dengan empat tipe adukan beton yaitu beton tanpa serat dengan 0 % kandungan serat tempurung kelapa didalam adukannya, beton dengan 5 %, 10 % dan 15 % kandungan serat tempurung kelapa. Total benda uji yang dipakai adalah sebanyak enam belas buah. Dari hasil pengujian dengan penambahan tempurung kelapa diperoleh kuat tarik yang bertambah sedangkan kuat tekannya semakin menurun.
2. “Karakteristik Beton Ringan Dengan Menggunakan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar” oleh I wayan suarnita tahun 2010. Penelitiannya bertujuan untuk mengetahui berat isi, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat lekat tulangan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium bahan dan beton fakultas teknik UNTAD. Adapun benda uji yang dipakai adalah beton ringan yang dibuat sebanyak delapan belas buah yang terdiri dari sepuluh buah silinder dengan ukuran D 15 x 30 cm, lima buah kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm dan tiga buah balok dengan ukuran 15 x 15 60 cm dan pengujian benda uji dilakukan pada umur 28 hari. Dari hasil penelitiannya diperoleh berat isi rata-rata 1.701 kg/m^3 , nilai kuat tekan rata-rata yaitu 14.054 Mpa, nilai modulus elastisitas 4595.590 Mpa, nilai kuat tarik belah rata-rata yaitu 10.308 Mpa.
3. “Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen pada Beton” oleh Ermiyatidan Jhon Hafni. Dalam jurnal dijelaskan abu sekam padi

digunakan sebagai tambahan pengganti semen dengan variasi 0 %, 2.5 %, 5%, 7.5 %, 10 %, 12.5 %, dan 15 %. Mutu beton direncanakan 22.5 Mpa, setiap variasi campuran dibuat masing-masing tiga sampel untuk pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa kuat tekan optimum diperoleh pada abu sekam padi 10 % dengan kuat tekan 26.798 Mpa pada umur 28 hari hal ini menunjukkan bahwa abu sekam padi dapat digunakan dalam campuran beton.

4. “Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi sebagai Scm untuk Pembuatan Komposit Semen” oleh Bakri. Dalam jurnal ini disebutkan bahwa abu sekam padi tersebut memiliki unsur kimia SiO_2 (Silica) dan CaO (kapur), dan unsur-unsur ini memiliki sifat-sifat pozzolan yang dapat meningkatkan kinerja material beton, dan dapat menimbulkan penggunaan semen sekaligus menghasilkan mutu beton yang optimum.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Campuran Beton

Dalam hal ini penulis akan menganalisis data-data yang telah diperoleh saat penelitian berlangsung sehingga didapat campuran beton yang diinginkan.

Tabel 4.1: Data-data hasil percobaan di laboratorium.

Berat jenis agregat kasar	2,665	gr/cm ³
Berat jenis agregat halus	2,57	gr/cm ³
Kadar lumpur agregat kasar	0,5	%
Kadar lumpur agregat halus	16,5	%
Berat isi agregat kasar	1,61	gr/cm ³
Berat isi agregat halus	1,26	gr/cm ³
FM agregat kasar	7,32	
FM agregat halus	2,73	
Kadar air agregat kasar	0,51	%
Kadar air agregat halus	2,22	%
Penyerapan agregat kasar	0,716	%
Penyerapan agregat halus	1,725	%
Keausan gregat	18,48	%
Nilai slump rencana	30 - 60	mm
Ukuran agregat maksimum	40	mm

Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai diatas tersebut dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dengan kuat tekan disyaratkan sebesar 20 MPa yang terlampir pada Tabel 4.2 berdasarkan SNI 03-2834-1993.

Tabel 4.2: Perencanaan campuran beton (SNI 03-2834-1993).

PERENCANAAN CAMPURAN BETON SNI 03-2834-1993					
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan		Nilai	
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji kubus)	Ditetapkan		20 MPa	
2	Deviasi Standar	-		12 MPa	
3	Nilai tambah (margin)	-		5,6 MPa	
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1+2+3		37,6 MPa	
5	Jenis semen			Tipe I	
6	Jenis agregat:	Ditetapkan		Batu pecah Binjai	
	- kasar - halus	Ditetapkan		Pasir alami Binjai	
7	Faktor air-semen bebas			0,56	
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 4.7		170 kg/m ³	
12	Jumlah semen	11:7		303,571 kg/m ³	
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan		326 kg/m ³	
14	Jumlah semen minimum	Ditetapkan		275 kg/m ³	
15	Faktor air-semen yang d disesuaikan	-		0,56	
16	Susunan besar butir agregat halus	Gambar 3.2		Daerah gradasi zona 2	
17	Susunan agregat kasar atau gabungan	Gambar 3.3		Gradasi maksimum 40 mm	
18	Persen agregat halus	Gambar 4.2		36 %	
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)	Ditetapkan		2.631	
20	Berat isi beton	Gambar 4.3		2412 kg/m ³	
21	Kadar agregat gabungan	20-12-11		1915,077 kg/m ³	
22	Kadar agregat halus	18 x 21		689,428 kg/m ³	
23	Kadar agregat kasar	21-22		1225,649 kg/m ³	
24	Proporsi campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
				Halus	Kasar
	- Tiap m ³	303,57	170	689,43	1225,649
- Tiap campuran uji m ³	1	0,4	1,42	2,88	

Tabel 4.2: Lanjutan.

No.	Uraian	Tabel/Gambar		Nilai	
		Perhitungan			
24	- Tiap campuran uji 0,003375 m ³ (1 kubus)	1,103	0,574	2,327	4,136
25	Koreksi proporsi campuran				
	- Tiap m ³	303,571	169,112	692,841	1223,124
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,517	2,119	3,741
	- Tiap campuran uji 0,003375m ³ (1 kubus)	1,102	0,571	2,338	4,128

Maka, dari hasil perencanaan beton diatas didapat perbandingan campuran untuk setiap m³ adalah:

Semen	:	Pasir	:	Batu pecah	:	Air
303,571	:	629,841	:	1223,124	:	169,112
1	:	2,119	:	3,741	:	0,517

a. Untuk benda uji

Menggunakan cetakan kubus dengan ukuran:

$$\begin{aligned} \text{Sisi} &= 15 \text{ cm} \\ \text{Volume Kubus} &= \text{Sisi} \times \text{Sisi} \times \text{Sisi} \\ &= 15 \times 15 \times 15 \\ &= 3375 \text{ cm}^3 \\ &= 0,003375 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka Bahan yang digunakan

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji pada
 - = Banyak semen x Volume 1 benda uji
 - = $303,571 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3$
 - = 1,102 kg
- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 - = Banyak pasir x Volume 1 benda uji
 - = $629,841 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3$
 - = 2,338 kg
- Kerikil yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak kerikil} \times \text{Volume 1 benda uji} \\
&= 1223,124 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3 \\
&= 4,128 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
$$\begin{aligned}
&= \text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji} \\
&= 169,112 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3 \\
&= 0,571 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Perbandingan untuk 1 benda uji dalam satuan kg adalah:

$$\begin{array}{cccccc}
\text{Semen} & : & \text{Pasir} & : & \text{Batu pecah} & : & \text{Air} \\
1,103 & : & 2,338 & : & 4,128 & : & 0,571
\end{array}$$

Berdasarkan analisa saringan maka didapat berat untuk masing-masing saringan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	berat kerikil	
1,5	4,61	$\frac{4,61}{100} \times$	4,128	0,190
¾	43,35	$\frac{43,35}{100} \times$	4,128	1,789
3/8	32,065	$\frac{32,065}{100} \times$	4,128	1,324
No. 4	20,02	$\frac{20,02}{100} \times$	4,128	0,826
Total				4,129

Berdasarkan Tabel 4.3 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji ialah saringan 1,5 sebesar 0,190 kg, saringan ¾ sebesar 1,789 kg, saringan 3/8 sebesar 1,324 kg dan

saringan no 4 sebesar 0,826 kg. Total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 1 benda uji sebesar 4,129 kg.

Tabel 4.4: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	berat pasir	
No.4	3,91	$\frac{3,91}{100} \times$	2,338	0,091
No.8	8,305	$\frac{8,305}{100} \times$	2,338	0,194
No.16	9,57	$\frac{9,57}{100} \times$	2,338	0,224
No.30	37,2	$\frac{37,2}{100} \times$	2,338	0,869
No.50	24,25	$\frac{24,25}{100} \times$	2,338	0,570
No.100	9,88	$\frac{9,88}{100} \times$	2,338	0,231
Pan	6,835	$\frac{6,835}{100} \times$	2,338	0,160
Total				2,339

Berdasarkan Tabel 4.4 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji ialah saringan No.4 sebesar 0,091 kg, saringan no.8 sebesar 0,194 kg, saringan No.16 sebesar 0,224 kg, saringan No.30 sebesar 0,869 kg, saringan No.50 sebesar 0,570 kg, saringan No.100 sebesar 0,231 kg, dan pan sebesar 0,160 kg. Total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 1 benda uji sebesar 2,339 kg.

b. Bahan pengganti

Untuk penggunaan bahan penggantimenggunakan abu sekam padi dan cangkang kemiri

- Abu sekam padi dan cangkang kemiriyang dibutuhkan sebanyak 5% ASP+ 5 % CK untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned} &= \frac{5}{100} \times \text{Berat semen} \\ &= \frac{5}{100} \times 1,103 \text{ kg} \\ &= 0,055 \text{ kg (abu sekam padi)} \\ &= \frac{5}{100} \times 4,192 \\ &= 0,209 \text{ kg (cangkang kemiri)} \end{aligned}$$

- Abu sekam padi dan cangkang kemiriyang dibutuhkan sebanyak 7,5% ASP + 10% CK

$$\begin{aligned} &= \frac{7,5}{100} \times \text{Berat semen} \\ &= \frac{7,5}{100} \times 1,103 \text{ kg} \\ &= 0,083 \text{ kg (abu sekam padi)} \\ &= \frac{10}{100} \times 4,192 \\ &= 0,419 \text{ kg (cangkang kemiri)} \end{aligned}$$

- Abu sekam padi dan cangkang kemiriyang dibutuhkan sebanyak 10% ASP + 15% CK

$$\begin{aligned} &= \frac{10}{100} \times \text{Berat semen} \\ &= \frac{10}{100} \times 1,103 \text{ kg} \\ &= 0,110 \text{ kg (abu sekam padi)} \\ &= \frac{15}{100} \times 4,192 \\ &= 0,629 \text{ kg (cangkang kemiri)} \end{aligned}$$

- Abu sekam padi dan cangkang kemiri yang dibutuhkan sebanyak 7,5% ASP + 5% CK

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7,5}{100} \times \text{Berat semen} \\
 &= \frac{7,5}{100} \times 1,103 \text{ kg} \\
 &= 0,083 \text{ kg (abu sekam padi)} \\
 &= \frac{5}{100} \times 4,192 \\
 &= 0,209 \text{ kg (cangkang kemiri)}
 \end{aligned}$$

- Abu sekam padi dan cangkang kemiri yang dibutuhkan sebanyak 5% ASP + 15% CK

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5}{100} \times \text{Berat semen} \\
 &= \frac{5}{100} \times 1,103 \text{ kg} \\
 &= 0,055 \text{ kg (abu sekam padi)} \\
 &= \frac{15}{100} \times 4,192 \\
 &= 0,629 \text{ kg (cangkang kemiri)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5: Banyak ASP + CK sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar yang dibutuhkan dalam 1 benda uji dan 32 benda uji.

Penggunaan Bahan Ganti	Berat ASP (kg)	Berat CK (kg)	Berat Semen untuk 1 benda uji (kg)	Berat Semen untuk 32 benda uji (kg)	Berat Agregat kasar untuk 1 benda uji (kg)	Berat Agregat kasar untuk 32 benda uji (kg)
5% + 5%	0,055	0,209	1,048	5,24	3,983	17,66
7,5% + 10%	0,083	0,419	1,02	5,1	3,773	16,61
10% + 15%	0,110	0,629	0,993	4,965	3,563	15,56
7,5% + 5%	0,083	0,209	1,02	5,1	4,109	17,66

5% + 15%	0,055	0,629	1,048	5,24	3,563	15,56
----------	-------	-------	-------	------	-------	-------

Berdasarkan Tabel 4.5 menjelaskan jumlah penggunaan bahan ganti abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar sebesar 5% ASP + 5% CK adalah 0,055 kg ASP dan 0,0,209 kg CK, jumlah penggunaan bahan ganti abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar sebesar 7,5% ASP + 10% CK adalah 0,083 kg ASP dan 0,419 kg CK, jumlah penggunaan bahan ganti abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar sebesar 10% ASP + 15% CK adalah 0,110 kg ASP dan 0,629 kg CK, jumlah penggunaan bahan ganti abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar sebesar 7,5% ASP + 5% CK adalah 0,083 kg ASP dan 0,209 kg CK, jumlah penggunaan bahan ganti abu sekam padi dan cangkang kemiri sebagai bahan pengganti semen dan agregat kasar sebesar 5% ASP + 15% CK adalah 0,055 kg ASP dan 0,629 kg CK.

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 30 benda uji, banyak bahan yang dibutuhkan untuk 30 benda uji adalah:

- Semen yang dibutuhkan untuk 30 benda uji
- ❖ Untuk beton normal
 - = banyak semen untuk 1 benda uji x 5
 - = 1,102 kg x 5
 - = 5,515 kg
- ❖ Untuk beton bahan ganti 5% ASP + 5% CK
 - = banyak semen untuk 1 benda uji x 5
 - = (1,103 – 0,055) x 5
 - = 5,24 kg
- Untuk beton bahan ganti 7,5% + 10%
 - = banyak semen untuk 1 benda uji x 8
 - = (1,103 – 0,083) x 5
 - = 5,1 kg
- Untuk beton bahan ganti 10% + 15%
 - = banyak semen untuk 1 benda uji x 5

$$= (1,103 - 0,110) \times 5$$

$$= 4,965 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 7,5% + 5%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 5

$$= (1,103 - 0,083) \times 5$$

$$= 5,1 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 5% + 15%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 5

$$= (1,103 - 0,055) \times 5$$

$$= 5,24 \text{ kg}$$

Maka, jumlah semen yang dibutuhkan untuk 30 benda uji adalah

$$= 5,515 + 5,24 + 5,1 + 4,965 + 5,1 + 5,24 = 31,16 \text{ kg}$$

- Pasir yang dibutuhkan untuk 30 benda uji

= banyak pasir untuk 1 benda uji x 30

$$= 2,119 \times 30$$

$$= 63,57 \text{ kg}$$

- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 30 benda uji

❖ Untuk beton normal

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 5

$$= 3,741 \text{ kg} \times 5$$

$$= 18,705 \text{ kg}$$

❖ Untuk beton bahan ganti 5% ASP + 5% CK

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 5

$$= (3,741 - 0,209) \times 5$$

$$= 17,66 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 7,5% + 10%

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 8

$$= (3,741 - 0,419) \times 5$$

$$= 16,61 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 10% + 15%

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 5

$$= (3,741 - 0,629) \times 5$$

$$= 15,56 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 7,5% + 5%

$$= \text{banyak batu pecah untuk 1 benda uji} \times 5$$

$$= (3,741 - 0,209) \times 5$$

$$= 17,66 \text{ kg}$$

Untuk beton bahan ganti 5% + 15%

$$= \text{banyak batu pecah untuk 1 benda uji} \times 5$$

$$= (3,741 - 0,629) \times 5$$

$$= 15,56 \text{ kg}$$

Maka, jumlah batu pecah yang dibutuhkan untuk 30 benda uji adalah

$$= 18,705 + 17,66 + 16,61 + 15,56 + 17,66 + 15,56 = 101,755 \text{ kg}$$

- Air yang dibutuhkan untuk 30 benda uji
 = banyak air untuk 1 benda uji x 30
 = 0,517 x 30
 = 15,51 kg

Perbandingan untuk 30 benda uji:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Semen} & : & \text{Pasir} & : & \text{Batu pecah} & : & \text{Air} \\ 31,16 \text{ kg} & : & 63,57 \text{ kg} & : & 101,755 \text{ kg} & : & 15,51 \text{ kg} \end{array}$$

Berdasarkan analisa saringan dari setiap faktor air semen, maka didapat berat untuk masing-masing saringan pada Tabel 4.6 dan untuk agregat halus terlampir pada Tabel 4.7.

Tabel 4.6: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk 30 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (Kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	berat batu pecah	
1,5	3,72	$\frac{4,61}{100} \times$	101,755	4,69
$\frac{3}{4}$	42,87	$\frac{43,35}{100} \times$	101,755	44,11
$\frac{3}{8}$	29,40	$\frac{32,065}{100} \times$	101,755	32,63

			100			
No. 4	24,00		20,02	X	101,755	20,37
			100			
Total						101,8

Berdasarkan Tabel 4.6 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 30 benda uji ialah saringan 1,5 sebesar 4,69 kg, saringan 3/4 sebesar 44,11 kg, saringan 3/8 sebesar 32,63 kg dan saringan no 4 sebesar 20,37 kg dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 20 benda ujisebesar 101,8 kg.

Tabel 4.7: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 30 benda uji

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100}$	x berat pasir	
No.4	3,91	$\frac{3,91}{100}$	x 63,57	2,49
No.8	8,305	$\frac{8,305}{100}$	x 63,57	5,28
No.16	9,57	$\frac{9,57}{100}$	x 63,57	6,08
No.30	37,2	$\frac{37,2}{100}$	x 63,57	23,65
No.50	24,25	$\frac{24,25}{100}$	x 63,57	15,41
No.100	9,88	$\frac{9,88}{100}$	x 63,57	6,28
`Pan	6,835	$\frac{6,835}{100}$	x 63,57	4,34
Total				63,53

Berdasarkan Tabel 4.7 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 30 benda uji saringan No.4 sebesar 2,49 kg, saringan No.8 sebesar 5,28 kg, saringan No.16 sebesar 6,08 kg, saringan No.30 sebesar 23,65 kg, saringan No.50 sebesar 15,41 kg, saringan No.100

sebesar 6,28 kg, dan pan sebesar 4,34 kg dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 30 benda ujisebesar 63,53 kg.

c. Bahan Pengganti (*filler*)

Penggunaan bahan pengganti berupa abu sekam padi lolos saringan No.200 dan cangkang kemiri tertahan saringan agregat kasar 3/8" dengan variasi dosis 5% ASP + 5% CK, 7,5% ASP + 10% CK, 10% ASP + 15% CK, 7,5% ASP + 5% CK, 5% ASP + 15% CK dari jumlah berat semen dan agregat kasar.

4.1.1 Metode Pengerjaan *Mix Design*

Pelaksanaan Mix Design dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan sudah ditetapkan 20 MPa untuk umur 28 hari.
2. Menentukan nilai standar deviasi 12 MPa berdasarkan Tabel 2.8.
3. Nilai tambah (margin) 5,7 MPa berdasarkan Tabel 2.9.
4. Kuat tekan rata-rata perlu f'_{cr}

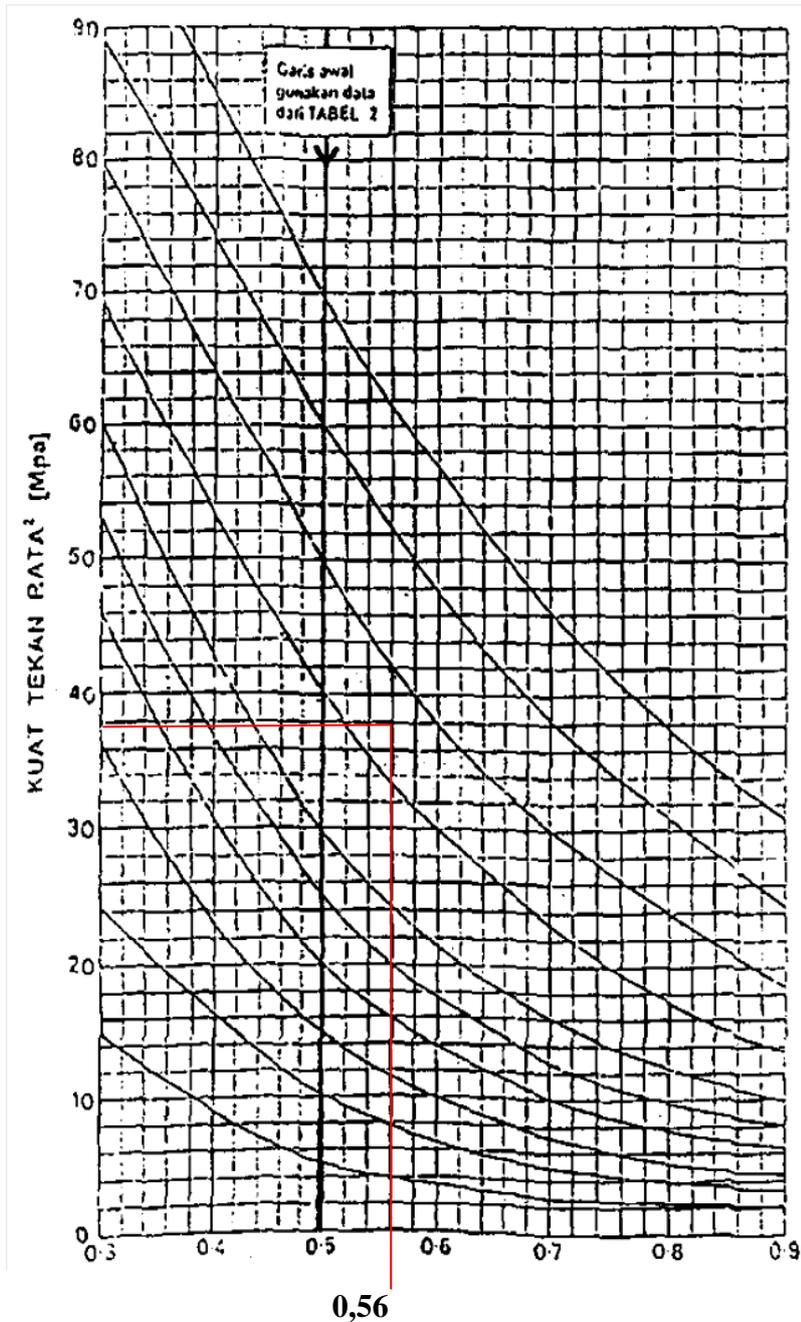
Kuat tekan rata-rata perlu diperoleh dengan Pers. 2.1.

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

$$f'_{cr} = 20 + 17,7$$

$$= 37,7 \text{ MPa}$$

5. Jenis semen yang digunakan adalah Tipe I.
6. Jenis agregat diketahui :
 - Agregat kasar = Batu pecah
 - Agregat halus alami = Pasir
7. Nilai faktor air semen bebas diambil dari titik kekuatan tekan 37,7 MPa tarik garis datar menuju zona 28 hari, lalu tarik garis kebawah yang menunjukkan faktor air semen, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Hubungan faktor air semen dan kuat tekan kubus beton(SNI 03-2834-1993).

8. Faktor air semen maksimum dalam hal ini ditetapkan 0.56 berdasarkan Tabel 2.11. Dalam faktor air semen yang diperoleh dari Gambar 4.1 tidak sama dengan yang ditetapkan, untuk perhitungan selanjutnya pakailah nilai faktor air semen yang lebih kecil.

9. Nilai slump ditetapkan setinggi 30-60 mm berdasarkan Gambar 2.11.
10. Ukuran agregat maksimum ditetapkan 40 mm.
11. Jumlah kadar air bebas ditentukan berdasarkan Tabel 2.10 yang dibuat untuk agregat gabungan alami atau yang berupa batu pecah seperti Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Jumlah kadar air bebas yang ditentukan.

Slump (mm)	30-60	
Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Batu tak dipecahkan	Batu pecah
40	160	190

Setelah interpolasi memakai Pers. 4.1.

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (4.1)$$

Dengan:

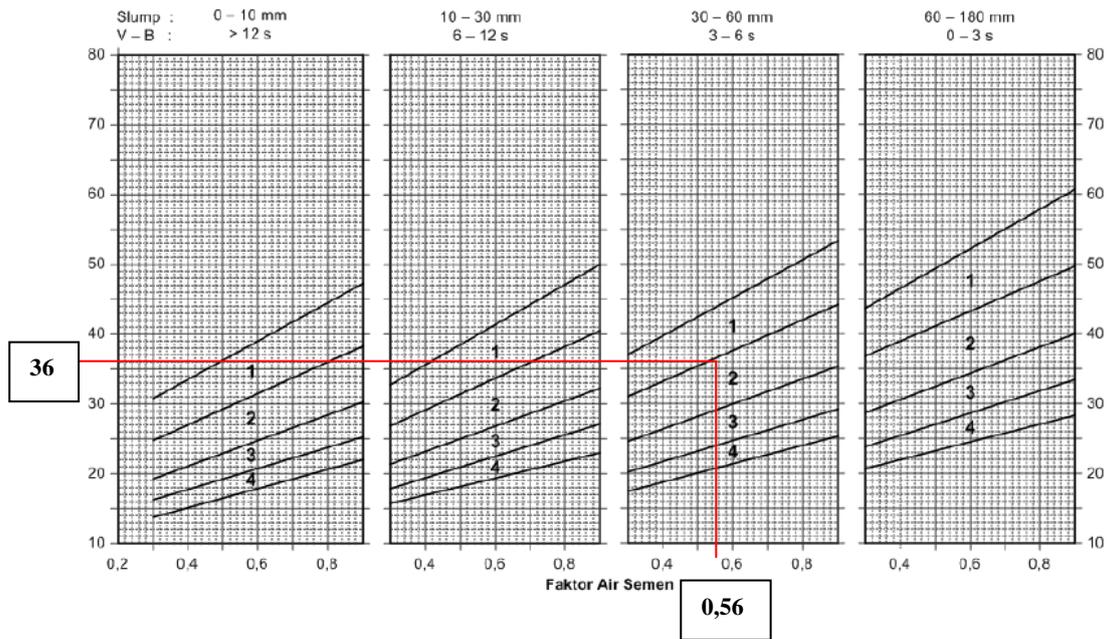
W_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{3} \times 160 + \frac{1}{3} \times 190 \\
 &= 170 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

12. Jumlah semen, yaitu: $170 : 0.52 = 326,923 \text{ kg/m}^3$
13. Jumlah semen maksimum diambil sama dengan poin 12.
14. Jumlah semen minimum ditetapkan 275 kg/m^3 berdasarkan Tabel 2.11. Seandainya kadar semen yang diperoleh dari perhitungan 12 belum mencapai syarat minimum yang ditetapkan, maka harga minimum ini harus dipakai dan faktor air semen yang baru perlu disesuaikan.
15. Faktor air-semen yang disesuaikan dalam hal ini dapat diabaikan oleh karena syarat minimum kadar semen sudah dipenuhi.
16. Susunan besar butir agregat halus ditetapkan pada gradasi pasir pada Gambar 2.3.
17. Susunan besar butir agregat kasar ditetapkan pada gradasi pasir pada Gambar 2.7.

18. Persen bahan yang lebih halus dari 4,8 mm ini dicari dalam Gambar 2.11 untuk kelompok ukuran butir agregat maksimum 40 mm pada nilai slump 30-60 mm dan nilai faktor air-semen 0,52. Bagi agregat halus (pasir) yang termasuk daerah susunan butir No.2 diperoleh harga nilai 36%. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.2.



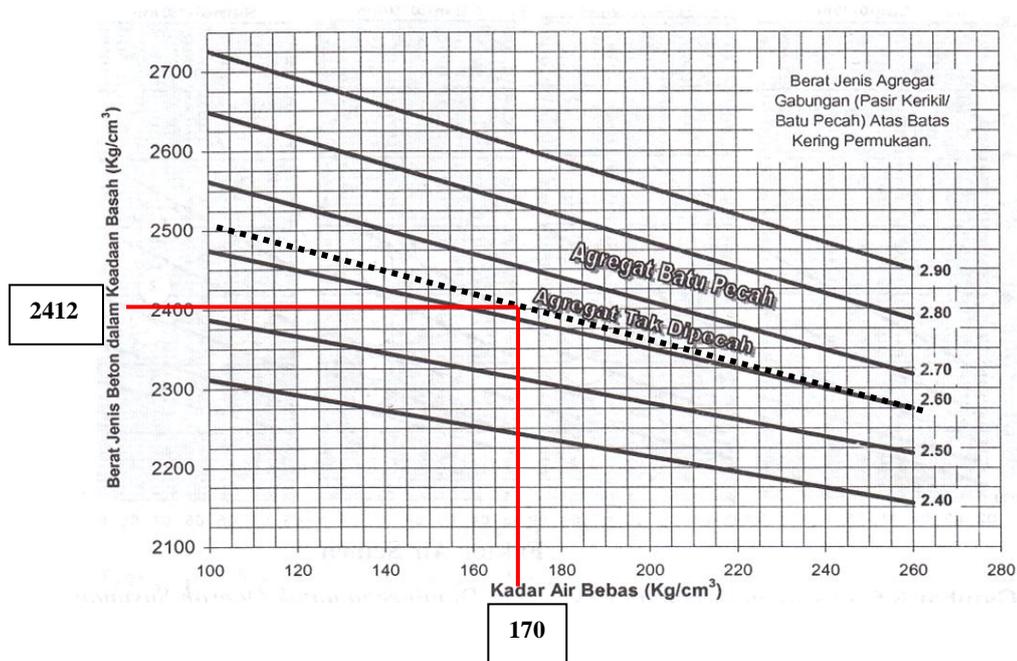
Gambar 4.2: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm(SNI 03-2834-1993).

19. Berat jenis relatif agregat adalah berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan agregat halus dan agregat kasar. Oleh karena itu agregat halus dalam hal ini merupakan gabungan dari dua macam agregat halus lainnya, maka berat jenis sebelum menghitung berat jenis agregat gabungan antara pasir dan kerikil.

Dengan demikian perhitungan berat jenis relatif menjadi sebagai berikut :

- BJ agregat halus = 2,57
- BJ agregat kasar = 2,665
- BJ agregat gabungan Halus dan kasar = $(0,36 \times 2,57) + (0,64 \times 2,66)$
= 2,631

20. Berat isi beton diperoleh dari Gambar 4.3 dengan jalan membuat grafik baru yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2,631. Titik potong grafik baru tadi dengan tegak yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini 170 kg/m^3), menunjukkan nilai berat jenis beton yang direncanakan. Dalam hal ini diperoleh angka 2412 kg/m^3 .



Gambar 4.3: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton(SNI 03-2834-1993).

21. Kadar agregat gabungan = (berat isi beton) – (jumlah kadar semen + kadar air)
 $= 2412 - (326,923 + 170)$
 $= 1915,077 \text{ kg/m}^3$
22. Kadar agregat halus = (Persen agregat halus) x (Kadar agregat gabungan)
 $= \frac{36}{100} \times 1915,077$
 $= 689,428 \text{ kg/m}^3$
23. Kadar agregat kasar = Kadar agregat gabungan - Kadar agregat halus

$$= 1915,077 - 689,428 = 1225,649 \text{ kg/m}^3$$

24. Proporsi campurandari langkah (1) hingga (23) kita dapatkan susunan campuran beton teoritis.

untuk tiap m^3 sebagai berikut:

– Semen = 326,923 kg

– Air = 170kg/lt

– Agregat halus = 689,428kg

– Agregat kasar = 1225,649 kg

25. Koreksi proporsi campuran untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang akan kita pakai sebagai campuran uji, angka-angka teoritis tersebut perlu dibenarkan dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam atau yang masih dibutuhkan oleh masing-masing agregat yang akan dipakai. Dengan menggunakan Pers. 2.8, 2.9, dan 2.10, didapat koreksi proporsi campuran untuk air sebesar:

$$\begin{aligned} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 170 - (2,22 - 1,725) \times \frac{689,428}{100} - (0,51 - 0,716) \times \frac{1225,649}{100} \\ &= 169,112 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dan dibutuhkan koreksi proporsi campuran untuk agregat halus sebesar:

$$\begin{aligned} &= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \\ &= 689,428 + (2,22 - 1,725) \times \frac{689,428}{100} \\ &= 692,841 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Serta dibutuhkan koreksi proporsi campuran untuk agregat kasar sebesar:

$$\begin{aligned} &= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 1225,649 + (0,51 - 0,716) \times \frac{1225,649}{100} \\ &= 1223,124 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

4.2 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini menggunakan kubus sebagai benda uji dengan ukuran sisi 15 cm, jumlah benda uji yang di buat adalah sebanyak 30 benda uji.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam pembuatan benda uji:

a. Pengadukan beton

Beton diaduk dengan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*). Mula-mula sebagian air (kira-kira 75% dari jumlah air yang ditetapkan) dimasukkan kedalam bejana pengaduk, lalu agregat kasar, agregat halus, dan semen. Setelah diaduk rata, kemudian sisa air yang belum dimasukkan kedalam bejana dimasukkan ke bejana. Pengadukan dilanjutkan sampai warna adukan tampak rata, dan campuran tampak homogen. Setelah beton tercampur merata kemudian adukan beton tersebut dituang ke dalam pan.

b. Pencetakan

Sebelum beton di masukkan kedalam cetakan terlebih dahulu dilakukan pengukuran kelecakan (*slump test*). Setelah itu kemudian adukan beton dimasukkan kedalam cetakan yang telah di sediakan, masukkan adukan beton kedalam cetakan dengan menggunakan sekop. Setiap pengambilan dari pan harus dapat mewakili dari adukan tersebut, isi 1/3 cetakan dengan adukan lalu di lakukan pemadatan dengan cara di rojok/tusuk menggunakan batang besi yang berdiameter 16 mm, dengan jumlah tusukan 25 kali, hal ini terus dilakukan untuk 2/3 dan 3/3 atau sampai cetakan penuh kemudian pukul-pukul bagian luar cetakan dengan menggunakan palu karet agar udara yang terperangkap didalam adukan dapat keluar, setelah itu ratakan permukaan cetakan dan di tutup dengan kaca untuk menjaga penguapan air dari beton segar. Lepaskan cetakan setelah 20 jam dan jangan lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

c. Pemeliharaan beton

Setelah cetakan dibuka kemudian beton tersebut ditimbang lalu direndam di dalam air (terendam keseluruhan) hingga umur yang telah ditentukan. Ruang penyimpanan harus bebas gataran selama 48 jam pertama setelah perendaman.

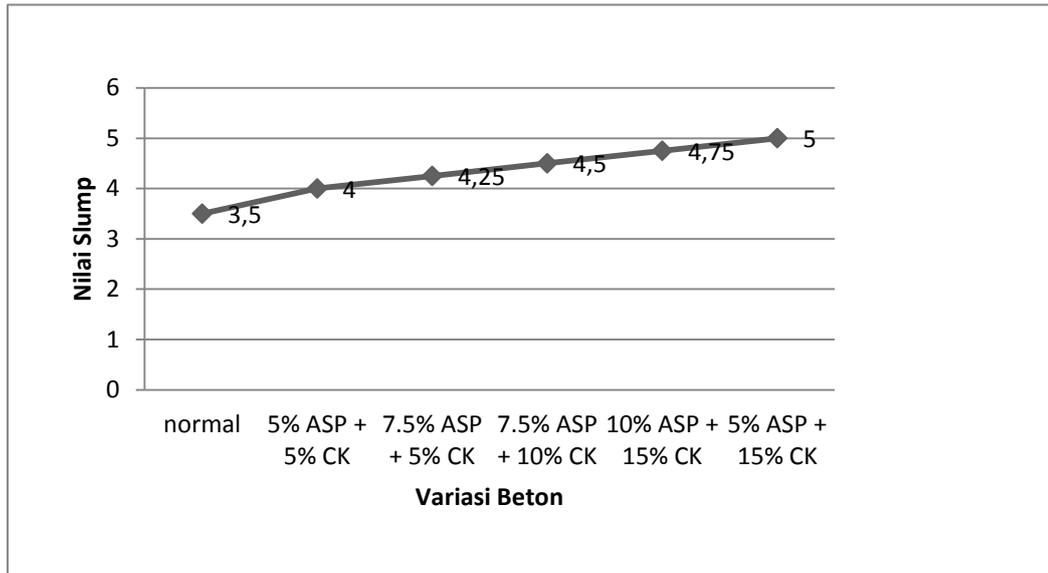
4.3. Slump Test

Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut abrams dengan cara mengisi kerucut abrams dengan beton segar (setiap pengambilan bahan harus dapat mewakili adukan tersebut) sebanyak 3 lapis, tiap lapis kira-kira 1/3 dari isi kerucut pada tiap lapisan dilakukan penusukan 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 1/2 menit, ukur tinggi adukan selisih tinggi kerucut dengan adukan adalah nilai dari *slump*.

Tabel 4.9: Hasil pengujian nilai *slump*.

Hari	Benda Uji	Beton Norma l	Variasi				
			5%AS P + 5%CK	7,5%AS P + 5%CK	7,5%AS P + 10%CK	10%AS P + 15%CK	5%ASP + 15%CK
28	3	3,5	4	4	4	4,5	5
	2	3,5	4	4,5	5	5	5

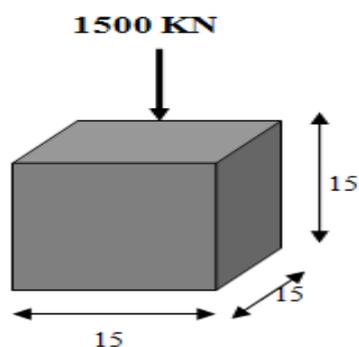
Berdasarkan Tabel 4.9 menjelaskan hasil slump test beton normal, beton dengan variasi I 5% ASP + 5% CK, variasi II 7,5% ASP + 5% CK, variasi III 7,5% ASP + 10% CK, variasi IV 10% ASP + 15% CK dan variasi V 5% ASP + 15% CK sebesar 3 sampai dengan 5 cm.



Gambar 4.4: Grafik slump test.

4.4 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 1500 KN, benda uji yang akan dites adalah berupa kubus dengan panjang sisi 15 cm dan jumlah benda uji 30 buah seperti pada Gambar 4.4 dengan pengelompokan benda uji sesuai dengan variasi campurannya.



Gambar 4.5: Beban tekan pada benda uji kubus.

Ada beberapa macam cetakan benda uji yang dipakai, diantaranya adalah kubus dengan sisi 15 cm. Serta silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perbedaannya terletak pada perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang didapat setelah diuji. Yakni faktor untuk kubus adalah 1, sedangkan faktor dari silinder adalah 0,83.

4.4.1. Kuat Tekan Beton Normal dan Variasi (saat pengujian)

Pengujian beton normal dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 5 buah. Hasil kuat tekan beton normal 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10: Hasil pengujian kuat tekan beton normal.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/ cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	87500	389	38,9	38,44
2	86500	384	38,4	
3	87000	387	38,7	
4	86000	382	38,2	
5	85500	380	38	

Berdasarkan Tabel 4.10 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton normal 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 38,44 MPa.

Tabel 4.11: Hasil pengujian kuat tekan beton variasi 5% ASP + 5% CK.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	86500	384	38,4	38,38
2	86500	384	38,4	
3	87000	387	38,7	
4	86000	382	38,2	
5	86000	382	38,2	

Berdasarkan Tabel 4.11 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 38,38 Mpa.

Tabel 4.12: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 7,5% ASP + 5% CK.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	87000	387	38,7	38,3
2	86000	382	38,2	
3	86500	384	38,4	
4	86000	382	38,2	
5	85500	380	38	

Berdasarkan Tabel 4.12 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton normal 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 38,3 Mpa.

Tabel 4.13: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 7,5% ASP + 10% CK.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	85500	380	38	37,66
2	85000	378	37,8	
3	84500	375	37,5	
4	84000	375	37,5	
5	84000	373	37,5	

Berdasarkan Tabel 4.13 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton normal 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 37,66 Mpa.

Tabel 4.14: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 10% ASP + 15% CK.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	86000	382	38,2	37,5
2	85500	380	38	

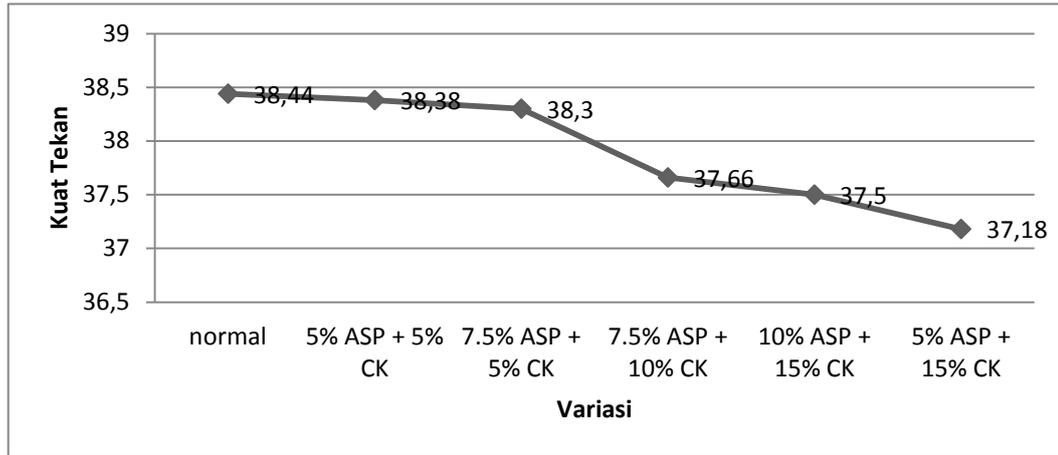
3	85500	380	38	
4	82000	364	36,4	
5	83000	369	36,9	

Berdasarkan Tabel 4.14 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton normal 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 37,5 Mpa.

Tabel 4.15: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 5% ASP + 15% CK.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	A= 225cm ² $f'_c = (P/A)$ (kg/cm ²)	Estimasi 28 hari f'_c (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	84500	375	37,5	37,18
2	84000	373	37,3	
3	84000	373	37,3	
4	83000	369	36,9	
5	83000	369	36,9	

Berdasarkan Tabel 4.15 menjelaskan hasil uji kuat tekan beton normal 28 hari. Dari 5 benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 37,18 Mpa.



Gambar 4.6: Grafik kuat tekan.

4.5 Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilakukan dengan melakukan perendaman sampel kubus beton setelah berumur 28 hari yang di maksudkan untuk mendapatkan kekedapan/laju resapair pada berbagai variasi campuran dan dibandingkan dengan beton normal.

Tabel 4.16: Absorpsi beton normal.

Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	8244	8345	101	1,22
2	8079	8175	96	1,19
3	8183	8287	104	1,27
4	8038	8130	92	1,14
5	8070	8190	120	1,49
Rata-rata		1,26		

Tabel 4.17: Absorpsi beton variasi 5% ASP + 5% CK.

Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	7886	7998	112	1,42
2	7812	7986	174	2,23
3	7491	7689	198	2,64
4	7895	8007	112	1,42
5	7646	7810	164	2,14
Rata-rata			1,97	

Tabel 4.18: Absorpsi beton variasi 7,5% ASP + 5% CK.

Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	7184	7312	128	1,78
2	7215	7389	174	2,41
3	7136	7388	252	3,53
4	6831	6986	155	2,27
5	7236	7350	114	1,57
Rata-rata			2,31	

Tabel 4.19: Absorpsi beton variasi 7,5% ASP + 10% CK.

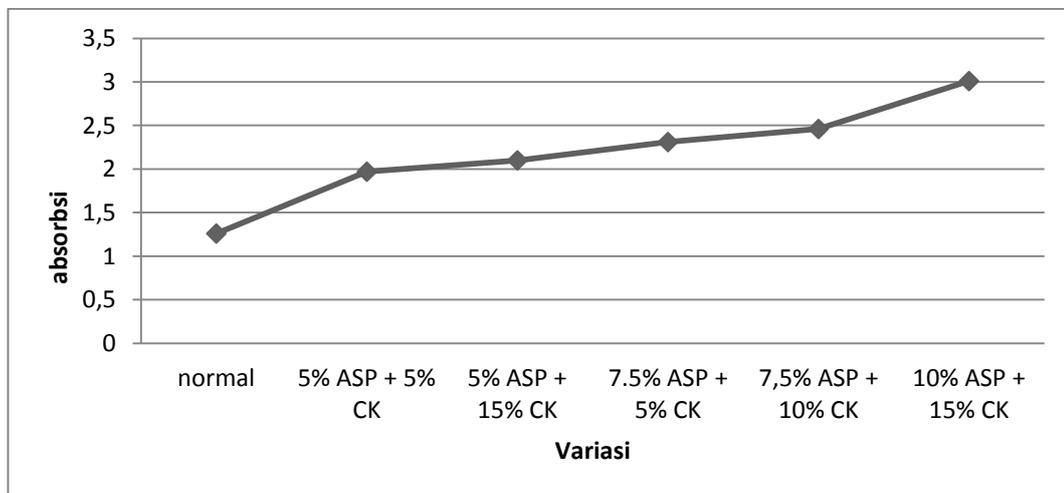
Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	7178	7326	148	2,06
2	7145	7391	246	3,44
3	7078	7323	245	3,46
4	7066	7183	117	1,65
5	7134	7255	121	1,70
Rata-rata				2,46

Tabel 4.20: Absorpsi beton variasi 10% ASP + 15% CK.

Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	7208	7402	194	2,69
2	7156	7389	233	3,26
3	7187	7451	264	3,67
4	6988	7222	234	3,35
5	7253	7434	181	2,49
Rata-rata				3,01

Tabel 4.21: Absorpsi beton variasi 5% ASP + 15% CK.

Banyak Benda Uji	Berat Kering Benda Uji (kg)	Berat Basah Benda Uji (kg)	Daya Serap Air	Absorpsi %
1	7216	7430	214	2,96
2	7178	7296	118	1,64
3	7189	7311	122	1,70
4	7045	7225	180	2,55
5	7289	7408	119	1,65
Rata-rata				2,1



Gambar 4.7: Grafik nilai absorpsi.

4.6 Pembahasan

Apabila kita membandingkan antara nilai kuat tekan akhir beton normal dengan beton yang menggunakan *fillerI*, maka dapat kita lihat adanya penurunan nilai kuat tekan pada beton.

Persentase penurunannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini

- ❖ Penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri

Variasi 5% ASP + 5% CK

Besar nilai penurunan

$$= \frac{38,38-38,44}{38,44} \times 10 = 0,16 \%$$

- ❖ Penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri

Variasi 7,5% ASP +5% CK

Besar nilai penurunan

$$= \frac{38,3-38,44}{38,44} \times 100 = 0,36 \%$$

- ❖ Penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri

Variasi 7,5% ASP + 10% CK

Besar nilai penurunan

$$= \frac{37,66-38,44}{38,44} \times 100 = 2,03\%$$

- ❖ Penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri

Variasi 10% ASP + 15% CK

Besar nilai penurunan

$$= \frac{37,50-38,44}{38,44} \times 100 = 2,44 \%$$

- ❖ Penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri

Variasi 5% ASP + 15% CK

Besar nilai penurunan

$$= \frac{37,18-38,44}{38,44} \times 100 = 3,28 \%$$

Akibat penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri yang semakin banyak maka nilai kuat tekan yang di peroleh akan semakin rendah.

Akibat penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri terhadap nilai absorpsi beton normal dengan variasi.

❖ Variasi 5% ASP + 5% CK

Besar nilai kenaikan absorpsi

$$= 1,97 - 1,26 = 0,71\%$$

❖ Variasi 7,5% ASP + 5% CK

Besar nilai penurunan

$$= 2,31 - 1,26 = 1,05\%$$

❖ Variasi 7,5% ASP + 10% CK

Besar nilai penurunan

$$= 2,46 - 1,26 = 1,2\%$$

❖ Variasi 10% ASP + 15% CK

Besar nilai penurunan

$$= 3,01 - 1,26 = 1,75\%$$

❖ Variasi 5% ASP + 15% CK

Besar nilai penurunan

$$= 2,1 - 1,26 = 0,84\%$$

Akibat penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri maka nilai absorpsi semakin besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh penambahan abu sekam padi dan cangkang kemiri mengalami penurunan nilai kuat tekan secara signifikan dan mengalami kenaikan pada nilai absorpsinya. Dengan demikian diketahui bahwa pencampuran abu sekam padi dan cangkang kemiri tidak dapat digunakan, terkecuali tidak pencampuran tersebut tidak melebihi persentase 5% ASP + 5% CK, 7,5% ASP + 10% CK dan 7,5% ASP + 5% CK.
2. Abu sekam padi yang memiliki komponen semen dengan persentase rendah mampu digunakan untuk bahan pengganti semen sebagian. Namun cangkang kemiri tidak dapat digunakan untuk bahan pengganti agregat kasar yang mampu menahan beban yang terlalu berat. Untuk pencampuran kedua limbah ini untuk mendapat hasil yang maksimal dapat diteliti dengan cara yang lain seperti mencoba cangkang kemiri sebagai bahan pengganti agregat halus.

5.2 Saran

1. Cangkang kemiri sebaiknya tidak digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam pembuatan beton.
2. Abu sekam padi baik digunakan dalam campuran beton karena mampu dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen dan menambah nilai kuat tekan.
3. Kombinasi antara limbah abu sekam padi dengan material lain juga dapat dipertimbangkan guna memperoleh hasil yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, Annual Books of ASTM Standards. (1991) : *Concrete And Aggregates*, Vol.04.02 Construction, Philadelphia-USA
- Bakri. (2009)*Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai Scm Untuk Pembuatan Komposit Semen*.Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin: Makasar.
- Haitami, G. (2011)*Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Elastisitas dan Pola Penyebaran Retak Pada Beton*. Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Hafni, J dan Ermiyanti. (2006)*Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Beton*. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Isaac, O & Manasseh, J. (2009) *Suitability of Periwinkle Shell as Partial Replacement for River Gravel in Concrete*. Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara: Medan
- Pujo, A & Purwono, R. (2010)*Pengendalian Mutu Beton*. Itspress Surabaya.
- Mulyono, T. (2003)*Teknologi Beton*. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Murdock, L.J & Brook K.M. (1986)*Bahan dan Praktek Beton*. Penerbit: Erlangga, Jakarta.
- Nugraha, P& Antoni. (2007)*Teknologi Beton*. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- RPTO, ICS 93.010. Tentang “*Rancangan Pedoman Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Bidang Sumber Daya Air*”
- Sagel, R., Kole, P., & Kusuma, G. (1993)*Pedoman Pengerjaan Beton*. Penerbit Erlangga: Jakarta
- SNI. 03-1974 (1990). Tentang “*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*”.
- SK SNI 02-2491 (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standar Nasional.
- Swamy, R.N. (1986)*Cement Replacement Materials*. Surrey University Press, London.
- SNI. 1972(2008) Tentang “*Cara Uji Slump Beton*”.
- SNI. 4817 (2008). Tentang “*Spesifikasi Lembaran Bahan Penutup Untuk Perawatan Beton*”.

LAMPIRAN

Tabel L1: Satu Set Saringan Agregat Kasar.

Nomor Saringan	Ukuran Lubang		Keterangan
	Mm	Inchi	
-	76,20	3	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 2 (diameter agregat antara ukuran 100 mm – 19 mm) Berat minimum contoh: 35 kg
-	63,50	2,5	
-	50,80	2	
-	37,50	1,5	
-	25,00	1	
-	50,80	2	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 467 (diameter agregat antara ukuran 50 mm – 4,76 mm) Berat minimum contoh: 20 kg
-	37,50	1,5	
-	25,00	1	
-	19,10	$\frac{3}{4}$	
-	12,50	$\frac{1}{2}$	
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
-	4,76	-	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 67 (diameter agregat antara ukuran 25 mm – 2,38 mm) Berat minimum contoh: 10 kg
-	25,00	1	
-	19,10	$\frac{3}{4}$	
-	12,50	$\frac{1}{2}$	
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
No. 4	4,76	-	
No. 8	2,38	-	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 8 (diameter agregat antara ukuran 100 mm – 19 mm) Berat minimum contoh: 2,5 kg
-	12,50	$\frac{1}{2}$	
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
No.4	4,76	-	
No.8	2,38	-	
No.16	1,19	-	

Tabel L2: Satu Set Saringan Agregat Halus.

Nomor saringan	Ukuran		Keterangan
	Mm	Inchi	
-	9,50	3/8	Satu set saringan untuk agregat halus (pasir) Berat minimum:500 gram
No.4	4,76	-	
No.8	2,38	-	
No.16	1,19	-	
No.30	0,59	-	
No.50	0,297	-	
No.100	0,149	-	
No.200	0,075	-	

Tabel L3: Perbandingan kekuatan beton berbagai umur (hari).

Umur Beton	Faktor	Umur Beton	Faktor
3	0,400	23	0,964
4	0,463	24	0,971
5	0,525	25	0,979
6	0,588	26	0,986
7	0,650	27	0,993
8	0,683	28	1,000
9	0,718	35	1,023
10	0,749	36	1,026
11	0,781	45	1,055
12	0,814	46	1,058
13	0,847	50	1,071
14	0,880	51	1,074
15	0,890	55	1,087
16	0,900	56	1,090
17	0,910	65	1,119
18	0,920	66	1,123

19	0,930	90	1.200
20	0,940	350	1,342
21	0,950	360	1,347
22	0,957	365	1,350

Tabel L4: Perbandingan kekuatan beton pada beberapa beberapa benda uji.

Benda Uji	Perbandingan Kekuatan Tekan Beton
Kubus 15 x 15 x 15 cm	1,00
Kubus 20 x 20 x 20 cm	0,95
Silinder Ø 15 x 30 cm	0,83

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN BERLANGSUNG DI
LABORATORIUM BETON PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA



Gambar L1: Material agregat kasar yang akan digunakan.



Gambar L2: Material agregat halus yang akan digunakan.



Gambar L3: Semen Padang Tipe 1 PPC.



Gambar L4: Abu Sekam.



Gambar L5 : Cangkang Kemiri.



Gambar L6: Proses pencampuran agregat.



Gambar L7: Hasil pengujian slump test.



Gambar L8: Proses perendaman benda uji.



Gambar L9: Benda uji yang sedang dijemur.



Gambar L10: Beton Sebelum di kuat tekan.



Gambar L11: Hasil proses uji tekan pada beton.