

**PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEJUMLAH
SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA
BETON REAKTIF (*REACTIVE POWDER CONCRETE*)**

(Skripsi)

Oleh

Mufidah Aulia Annisa



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2019

ABSTRAK

PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEJUMLAH SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK LENTUR PADA BETON REAKTIF (*REACTIVE POWDER CONCRETE*)

Oleh

MUFIDAH AULIA ANNISA

Kualitas beton dapat ditentukan dari komposisi adukan, jenis bahan, dan cara perawatan. Beton reaktif adalah salah satu jenis beton mutu tinggi yang komposisinya mengandung banyak semen dan bahan sangat halus lainnya serta di rawat dengan cara pemanasan. Abu sekam padi yang mengandung senyawa silika juga berpotensi untuk bahan adukan beton reaktif.

Penelitian ini dilakukan pada variasi prosentase abu sekam sebagai pengganti sejumlah semen (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) dan cara perawatan benda uji prisma 40 x 40 x 160 mm (pemanasan suhu pada 180°, perawatan uap air panas pada 90 °, dan perendaman dalam air). Pengujian kuat lentur pada umur 7 hari dan kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur optimum 16,48 MPa diperoleh dari komposisi 10% abu sekam dan perawatan uap air panas. Kuat tekan optimum juga diperoleh dari perawatan uap air panas, namun pada komposisi 30% abu sekam, yaitu 37,54 MPa umur 7 hari dan 54,44 MPa umur 28 hari. Dengan demikian abu sekam dapat digunakan untuk bahan pengganti sebagian semen dalam komposisi beton reaktif dengan perawatan uap air panas.

Kata kunci : beton mutu tinggi, beton reaktif , *reactive powder concrete*, abu sekam, kuat tekan, kuat lentur.

ABSTRACT

THE EFFECT OF RICE HUSK ASH AS SUBSTITUTION MATERIAL OF CEMENT ON COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF REACTIVE POWDER CONCRETE

By

MUFIDAH AULIA ANNISA

The quality of concrete can be determined by mixture composition, type of material, and treatment method. Reactive powder concrete is one of high quality performance concrete containing a lot of cement and fine powders which needs a heat treatment. Rice husk ash containing silica compounds has a potential to be used in concrete mixtures.

This research was conducted with the percentage variation of rice husk ash instead of cement (0%, 10%, 20%, 30%, and 40%) and the treatments method were applied on prism samples with dimension of 40 x 40 x 160 mm (180° heating temperature, 90 ° steam treatment, and water treatment). The flexural strength test was conducted at 7 days and the compressive strength was tested at 7 days and 28 days.

The test results show that the optimum flexural strength was 16.48 MPa, obtained from the composition of 10% rice husk ash with steam treatment. The optimum compressive strength was also obtained by the steam treatment, but on the composition of 30% rice husk ash, which are 37.54 MPa at 7 days and 54.44 MPa at 28 days. It is concluded that rice husk ash can be used as a substitute for some cement in the composition of reactive powder concrete with steam treatment.

Keywords: reactive powder concrete, rice husk ash, compressive strength, flexural strength.

**PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEJUMLAH
SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA
BETON REAKTIF (*REACTIVE POWDER CONCRETE*)**

Oleh

Mufidah Aulia Annisa

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2019

Judul Skripsi

**: PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN
PENGANTI SEJUMLAH SEMEN TERHADAP
KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA
BETON REAKTIF (*REACTIVE POWDER
CONCRETE*)**

Nama Mahasiswa : **Mufidah Aulia Annisa**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011098

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP 19700430 199703 1 003



Ir. Laskmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.** 

Sekretaris : **Ir. Laskmi Irianti, M.T.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik




Prof. Dr. Suharno, M.Sc.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 Mei 2019**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Mufidah Aulia Annisa
NPM : 1415011098
Prodi/ Jurusan : S1/ Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Universitas Lampung.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Reaktif (Reactive Powder Concrete)*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2019



Mufidah Aulia Annisa

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 15 Februari 1997, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Orang tua bernama, Bapak Drs. Mukhaidori dan Ibu Umi Ipadah, S.Pd.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) ditempuh di TK Yayasan Kereta Api Wanita Tanjung Karang Pusat, Bandar Lampung diselaikan pada tahun 2002. Sekolah Dasar (SD) ditempuh di SD Negeri 3 Gedung Air, Bandar Lampung pada tahun 2002 – 2005, MIN 1 Bandar Lampung pada tahun 2006 – 2008. Sekolah Menengah Pertama (SMP) ditempuh di MTs Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2008 – 2011. Dan Sekolah Menengah Atas (SMA) ditempuh di SMA Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 2011 – 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota departemen penelitian dan pengembangan pada periode 2015-2016 dan sebagai sekretaris divisi penelitian pada periode 2016-2017. Pada tahun 2017 penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Suci Karya Badi Nusa (*Subanus Contractor*) pada Proyek Pembangunan

Jembatan Layang (*fly over*) pada Jalan Teuku Cik Ditiro dan Jalan Pramuka , Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Putra Buyut, Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode I, Januari – Maret 2017. Selama masa perkuliahan penulis diangkat menjadi Asisten Dosen mata kuliah Hidrolika pada semester 6 tahun pelajaran 2016/2017 dan Asisten Praktikum Teknologi Bahan semester 9 tahun pelajaran 2017/2018.

MOTTO HIDUP

“Bisa jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan bisa jadi kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.”

(QS. Al Baqarah: 216)

“Siapa yang membaca Al-Quran, mempelajarinya dan mengamalkannya, maka dipakaikan kepada kedua orang tuanya pada hari kiamat mahkota dari cahaya yang sinarnya bagai sinar matahari, dan dikenakan kepada kedua orang tuanya perhiasan yang nilainya tak tertandingin oleh dunia. “

(HR. Al-Hakim)

“Manfaatkan lima keadaan sebelum datang lima: masa mudamu sebelum masa tuamu, masa sehatmu sebelum masa sakitmu, masa sempitmu sebelum masa sempitmu, masa kayamu sebelum datangnya fakirmu, dan masa hidupmu sebelum datangnya matimu.”

(HR. Al Hakim dan Al Baihaki)

”Be yourself. Because an original is worth more than a copy.”

(Anonim)

“Selalu berusaha dan berikan yang terbaik.”

(Mufidah Aulia Annisa)

PERSEMBAHAN

Ku persembahkan karya tulis ini untuk:

Kedua orang tuaku dan adik-adikku yang telah memberi dukungan moral maupun materi dan banyak berkorban untuk kelulusanku.

Buyut, kakek, dan nenek yang telah mendoakan dan memberi dukungan.

Semua sahabat-sahabatku yang telah memberi banyak motivasi dan selalu ada disaat suka maupun duka.

Serta almamaterku tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Segala puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “*Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Beton Reaktif*” yang merupakan bagian penelitian dari Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D. adalah salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Suharno, M.sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Gatot Eko Susilo, S.T., M.sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung;
3. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Pembimbing Utama, atas kesediaannya memberikan ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ir. Laskmi Irianti, M.T., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T., selaku Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi;
6. Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik;
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, dan Laboratorium Inti Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian;
9. Orang tua terkasih, Bapak Drs. Mukhaidori dan Ibu Umi Ipadah, S.Pd., yang sangat sabar dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil;
10. Kedua adikku tercinta Hartsa Hanifah dan Jihan Jazilah yang turut memberikan semangat dalam menyelesaikan perkuliahan;
11. Teman terbaik seperjuangan Farida, Amel, Asma, Tazkia, Triafini, Mega, Dwi Winda, Tesya, Elisa, Indah, dan Hilda.
12. Saudara-saudara di Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2014 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian;
13. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Mei 2019

Penulis

Mufidah Aulia Annisa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR NOTASI	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Beton	6
2.2 Beton Mutu Tinggi.....	8
2.3 Mortar.....	9
2.3.1. Jenis Mortar.....	10
2.3.2. Sifat-sifat mortar	11
2.3.3. Kuat tekan mortar.....	12
2.3.4. Kuat tarik belah mortar	13
2.3.5. Penyerapan air mortar	13
2.4 Material Beton.....	15
2.4.1. Semen	15
2.4.2. Air	16
2.4.3. Agregat	18
2.4.4. <i>Plasticlisizer</i>	20
2.5 Perawatan Beton.....	30
2.6 Sifat Mekanik pada Beton	34
2.6.1. Kuat Tekan Beton	34
2.5.1. Kuat Tarik Lentur Beton	38
2.7. Beton reaktif	39
2.7.1. Komposisi	40
2.7.2. Proses Pembuatan	41
2.7.3. Sifat Mekanik	42
2.7.4. Aplikasi Konstruksi	43

III. METODE PENELITIAN	46
3.1 Bahan.....	46
3.2 Peralatan	47
3.3 Komposisi Campuran RPC	48
3.4 Variabel Penelitian	49
3.5 Pelaksanaan Penelitian	49
3.6 Analisis Hasil Penelitian	57
3.7 Bagan Alir Penelitian	58
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Material.....	59
4.1.1. Semen	59
4.1.2. Pasir.....	60
4.1.3. Abu Sekam	60
4.2. Peralatan	61
4.3. Pengujian Awal (Uji Coba)	66
4.3.1. Uji Coba Waktu Pengikatan.....	66
4.3.2. Uji Coba Komposisi.....	67
4.4. Komposisi RPCC yang digunakan	71
4.4.1. Kebutuhan Material.....	71
4.4.2. Faktor Air Semen	71
4.5. Pengujian Sampel Penelitian	72
4.5.1. Hasil Pengujian <i>Slump flow</i>	72
4.5.2. Berat Volume Beton.....	74
4.5.3. Kuat Lentur Beton.....	75
4.5.4. Kuat Tekan Beton.....	78
4.5.5. Analisis hubungan kuat tekan dan kuat lentur	83
V. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	86
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN A (Uji Bahan)	92
LAMPIRAN B (<i>Mix Design</i> Campuran Beton)	103
LAMPIRAN C (Hasil Pengujian)	107
LAMPIRAN D (Dokumen Penelitian)	113
LAMPIRAN E (Surat Menyurat)	131

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beberapa Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya	6
2. Gradasi Standar Agregat Halus ASTM C 33	19
3. Gradasi Standar Agregat Kasar ASTM C 33	20
4. Persyaratan Kimia Berdasarkan ASTM C618-92a	22
5. Komposisi dari kaca (%).....	24
6. Komposisi Abu dari Sekam Padi	25
7. Komposisi kandungan kimia semen & abu sekam padi	26
8. Konversi umur beton.....	36
9. Komposisi material RPC dari peneliti terdahulu	41
10. Komposisi beton reaktif per 1 m ³ dalam kg	48
11. Metode perawatan dan umur benda uji	49
12. Hasil pengujian sifat fisik semen	59
13. Hasil pengujian sifat fisik pasir.....	60
14. Hasil pengujian sifat fisik abu sekam	61
15. Komposisi kebutuhan campuran beton per 1 m ³	71
16. Faktor air semen benda uji.....	71
17. Hasil pengukuran nilai <i>slump flow</i>	73
18. Hasil berat volume rerata	74
19. Hasil pengujian kuat lentur beton umur 7 hari.....	76

20. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari	78
21. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari	80
22. Hubungan kuat tekan dan kuat lentur	84
23. Perbandingan nilai kuat tarik lentur dengan kuat tekan.....	84
24. Nilai C yang didapatkan dari f_c' dan f_r pengujian.....	85
25. Hasil pengujian waktu pengikatan semen	93
26. Hasil pengujian gradasi pasir	97
27. Komposisi per 1 m ³ penelitian Helmi et al., 2013	103
28. Komposisi per 1 m ³ benda uji.....	103
29. Volume 1 kali pengadukan	104
30. Volume 1 kali pengadukan untuk benda uji trial	105
31. Perubahan faktor air semen per 1x adukan	105
32. Komposisi campuran beton 1 m ³	105
33. Faktor air <i>powder</i>	106
34. Hasil pengujian beton trial	107
35. Hasil pengujian beton sampel	108
36. Hasil perhitungan pengujian rata-rata berdasarkan rumus ASTM C 78 untuk beton trial	110
37. Hasil perhitungan pengujian rata-rata berdasarkan rumus ASTM C 78 untuk beton sampel	111
38. Hasil pengujian berat volume beton 7 hari	112
39. Hasil pengujian berat volume beton umur 7 hari.....	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Uji <i>slump flow</i>	53
2. Skema pembebanan uji kuat lentur.....	55
3. Bagan alir penelitian	58
4. Oven.....	61
5. Mixer.....	62
6. Cetakan mortar.....	63
7. Kotak uap	64
8. Panci dan selang untuk mengalirkan uap air.....	64
9. <i>Universal Testing Machine</i>	65
10. <i>Compression Testing Machine</i>	65
11. <i>Vibrator</i>	66
12. <i>Slump flow</i> komposisi 0%	67
13. <i>Slump flow</i> kondisi 40% ditambah 250 ml air	68
14. Benda uji dengan kondisi 40% ditambah 250 ml air	69
15. Grafik perubahan faktor air semen kondisi 40%.....	70
16. Grafik faktor air semen benda uji.....	72
17. Hasil pengujian <i>slump flow</i>	72
18. Grafik nilai <i>slump flow</i>	73

19. Grafik berat volume beton	74
20. Grafik kuat lentur beton 7 hari	76
21. Grafik kuat tekan beton 7 hari.....	79
22. Grafik kuat tekan beton 28 hari.....	80
23. Pasir.....	113
24. Semen Tipe I.....	113
25. Elkem <i>Microsilica</i>	113
26. Abu sekam padi.....	114
27. <i>Super Plasticizer</i>	114
28. Air	114
29. Oli	115
30. Mixer.....	115
31. Oven	116
32. Panci.....	116
33. Vibrator	116
34. Timbangan digital	117
35. Satu set saringan.....	117
36. Saringan no.100	117
37. Saringan no. 2.4	118
38. Kuas	118
39. Kotak Uap	118
40. Kompor Mawar	119
41. Tabung gas	119
42. Gelas Ukur	119

43. Papan Uji Slump	120
44. Plat alas uji kuat tekan.....	120
45. Sendok semen	120
46. Termometer	121
47. Cetakan Mortar.....	121
48. Kandungan Zat Organik Pasir	121
49. Pengujian Berat Volume	122
50. Pengujian Waktu Pengikatan Semen	122
51. Penyaringan Abu Sekam.....	122
52. Abu Sekam setelah disaring	123
53. Mencampurkan material.....	123
54. Mencetak benda uji	123
55. Menggetarkan benda uji yang telah dicetak.....	124
56. Melakukan uji <i>slump flow</i>	124
57. Perawatan pemanasan sampel	124
58. Perawatan penguapan sampel	125
59. Pengecekan suhu dalam kotak uap.....	125
60. Perawatan dengan perendaman sampel	125
61. Melakukan pengujian dan pembacaan kekuatan.....	126
62. Alat UTM.....	126
63. Mengatur Alat UTM sesuai dengan standar pengujian.....	127
64. Alat CTM	127
65. Pengujian pada alat CTM.....	128
66. Benda uji setelah dilakukan uji lentur	128

67. Variasi komposisi 0%	129
68. Variasi komposisi 0% + 250 ml air.....	129
69. Variasi komposisi 10% + 250 ml air.....	129
70. Variasi komposisi 20% + 250 ml air.....	130
71. Variasi komposisi 30% + 250 ml air.....	130
72. Variasi komposisi 40% + 250 ml air	130

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang silinder
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Material</i>
BS	= <i>Brithis Standard</i>
CTM	= <i>Compression Testing Machine</i>
L	= Panjang benda uji
MPa	= <i>Mega Pascal</i>
N	= <i>Newton</i>
P	= Beban
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
OPC	= <i>Ordinary Portland Cement</i>
PU	= Pekerjaan Umum
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SP	= <i>Superplasticizer</i>
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
Wc	= Berat volume beton (<i>Weight of Concrete</i>)
fas	= faktor air semen
b	= Lebar benda uji

cm	= <i>Centimeter</i>
h	= Tinggi benda uji
kg	= kilogram
kN	= <i>Kilo Newton</i>
m ³	= Meter kubik
mm	= Milimeter
	= Konstanta (π)
f'c	= Kuat tekan beton (<i>force of compressed</i>)
fr	= Kuat lentur beton (<i>force of ruptured</i>)

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah material yang sudah sering digunakan dalam konstruksi, karena mempunyai kelebihan terhadap tegangan tekan, mudah dibentuk, dirawat, dan dapat digunakan pada berbagai jenis bangunan sipil. Selain itu beton juga dapat dibuat dengan bahan-bahan lokal, oleh karena itu beton sangat sering digunakan.

Teknologi beton terus dikembangkan dengan berbagai macam cara, misalnya dengan penambahan material untuk menghasilkan beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) tercantum dalam SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03) didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Selain dengan penambahan material, beton mutu tinggi juga bisa diperoleh dengan perlakuan perawatan saat proses pengerasan (*treatment curing*) seperti pada *Reactive Powder Concrete* (RPC).

RPC merupakan beton tanpa agregat kasar dan tersusun atas semen, *silica fume*, *quartz powder* dan air. Ciri khas RPC adalah penggunaan kadar semen sangat tinggi, faktor air semen rendah dan tanpa menggunakan agregat kasar.

Penghilangan agregat kasar merupakan kunci untuk mengatur homogenitas antara semen dengan komponen lainnya.

RPC pertama kali dikembangkan tahun 1990 oleh peneliti dari laboratorium Boygues Prancis. Penambahan serat baja mini dan *steam curing* menghasilkan kuat desak yang dicapai 200 MPa serta kuat lentur sampai 50 MPa. (Richard et al. 1995)

Campuran beton reaktif berupa material tambahan mengandung silika, yang diperoleh dari berbagai limbah industri, seperti *fly ash*, *silica fume*, GGBS, dan abu sekam. (Anil et al. 2008; Helmi et al. 2016; n.d.; Richard et al. 1995)

Abu sekam padi mengandung komposisi silika yang sangat tinggi (Kamath, 1998). Kandungan silika dapat membentuk senyawa *xonotlite* yang mengakibatkan kekuatan beton meningkat (Richard et al. 1995). Dengan demikian abu sekam berpotensi untuk digunakan dalam campuran beton, bahkan dapat menggantikan sebagian semen. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu sekam pada keadaan curing yang berbeda-beda terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah pengaruh abu sekam terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton reaktif sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu sekam pada kuat tekan dan kuat lentur beton reaktif yang mengalami perlakuan *curing* berbeda-beda.

1.4. Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain:

- a. Mengembangkan ilmu pengetahuan tentang beton reaktif.
- b. Mengembangkan teknologi beton mutu tinggi dengan memanfaatkan abu sekam.
- c. Memberikan pertimbangan bagi praktisi konstruksi untuk menggunakan beton RPC dilapangan.
- d. Meningkatkan manfaat limbah sekam padi sebagai alternatif dalam campuran beton.
- e. Memberikan bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.5. Batasan Masalah

Masalah dalam penelitian ini dibatasi dengan asumsi dasar sebagai berikut :

- a. Jenis beton mutu tinggi dengan campuran abu sekam.
- b. Variasi penggunaan abu sekam yang digunakan yaitu: 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari jumlah semen.
- c. Variasi perawatan beton yaitu dengan cara merendam di dalam air, dengan dipanaskan, dan dengan di *steam*.

- d. Benda uji berupa balok 40 x 40 x 160 mm untuk uji kuat tarik lentur dan uji kuat tekan.
- e. Pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik lentur dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, tujuan, manfaat , hipotesis, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, deskripsi dari beton reaktif, beton mutu tinggi, dan kegunaannya.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang material dan metode yang digunakan pada penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdiri dari hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah penelitian.

BAB V : SIMPULAN DAN SARAN

Terdiri dari hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir.

LAMPIRAN

Terdiri dari data-data gambar yang mendukung atau hal-hal lain yang dianggap perlu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Menurut SNI 2847:2013 beton (*concrete*) merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Beton memiliki sifat getas (*brittle*) sehingga mempunyai kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Berdasarkan kuat tekan beton, beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis.

Tabel 1. Jenis beton berdasarkan kuat tekannya.

Jenis beton	Kuat tekan
Beton Sederhana	Sampai 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton Pra Tegang	30 – 40 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 – 80 MPa
Beton Kuat tekan Tekan Sangat Tinggi	>80MPa

Sumber : Tjokrodinuljo, 2012

Untuk perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka dibutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton setelah mengeras. Sifat-sifat tersebut antara lain yaitu: (Sebayang, 2000)

- *Durability* (Keawetan)

Merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini diperlukan pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.

- Kuat tekan

Kuat tekan beton ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm^2). Benda uji silinder juga digunakan pada standar ACI sedangkan British Standar benda uji yang digunakan adalah kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai namun perlu dikoreksi terhadap *size effect*.

- Kuat tarik

Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok.

- Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada 25-50% dari kuat tekan beton.

- Rangkak (*Creep*)

Merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu di bawah beban yang dipikul.

- Susut (*Shrinkage*)

Merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.

- Kelecekan (*Workability*)

Workability adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan finishing. Atau merupakan besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

2.2. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi merupakan beton yang mempunyai kuat tekan yang lebih besar dari beton mutu normal. Menurut ACI21.4R-93 (ACI Committee:1996) beton mutu normal adalah beton yang mempunyai nilai kuat tekan kurang dari 41 MPa, beton mutu tinggi adalah beton yang mempunyai batasan minimum untuk nilai kuat tekan 41 MPa atau 6000 psi. Sedangkan menurut SNI Pd-T-04-2004-C beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan yang disyaratkan $f'c$ 40 MPa – 80 MPa berdasarkan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pemakaian beton mutu tinggi dapat memberikan beberapa keuntungan tergantung jenis pemakaiannya antara lain sebagai berikut:

- a. Pada gedung bertingkat.
 - Memperkecil dimensi kolom dan balok sehingga mengurangi berat gedung secara keseluruhan.
 - Memberikan sistem pondasi yang lebih ekonomis sebagai akibat dari berkurangnya berat struktur.
- b. Pada struktur jembatan beton pratekan.
 - Memperkecil lendutan balok jembatan.
 - Mengurangi penggunaan baja pratekan.

- Memperkecil dimensi penampang balok.
- c. Pada beton pracetak, mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu pengangkutan dan pemasangan beton.

Selain memiliki banyak kelebihan, penggunaan beton mutu tinggi pada suatu struktur teknik sipil juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu dari segi pembiayaan, tenaga, dan waktu pelaksanaan konstruksi. Kelemahan penggunaan beton mutu tinggi adalah sebagai berikut:

- Pembuatan beton mutu tinggi memerlukan bahan-bahan dengan mutu yang sangat baik (*high quality*) namun sulit untuk diperoleh pada lokasi pekerjaan dan harga yang relatif lebih mahal.
- Dalam pembuatannya diperlukan ketelitian dan pengawasan yang ketat agar mendapatkan mutu beton sesuai dengan perencanaan.

2.3. Mortar

Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) adalah bahan bangunan terdiri dari agregat halus, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Adukan mortar dibuat kelecikannya cukup baik sehingga mudah dikerjakan (diaduk, dibawa ke tempat pembuatan dengan “uji sebar” dengan alat berupa “meja sebar”). Mortar sebagai bahan bangunan, biasa diukur sifat-sifatnya, misalnya kuat tekan, berat jenis, kuat tarik, daya serap air, kuat rekat dengan bata merah, susutan, dan sebagainya. (Tjokrodinuljo, 2012).

2.3.1. Jenis mortar

Tjokrodimuljo (2012), membagi mortar berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi empat jenis, yaitu mortar lumpur, mortar kapur, mortar semen dan mortar khusus.

1. Mortar lumpur

Mortar lumpur dibuat dari campuran air, tanah liat/lumpur, dan agregat halus. Perbandingan campuran bahan-bahan tersebut harus tepat untuk memperoleh adukan yang kelecakannya baik dan mendapatkan mortar (setelah keras) yang baik pula. Terlalu sedikit pasir menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan. Terlalu banyak pasir menyebabkan adukan kurang dapat melekat dengan baik. Mortar lumpur ini dipakai untuk bahan dinding tembok atau bahan tungku api di pedesaan.

2. Mortar kapur

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Mortar ini biasa dipakai untuk perekat bata merah pada dinding tembok bata, atau perekat antar batu pada pasangan batu.

3. Mortar semen

Mortar semen dibuat dari campuran air, semen *portland*, dan agregat halus dalam perbandingan campuran yang tepat. Perbandingan antara volume

semen dan volume agregat halus berkisar antara 1 : 2 dan 1 : 8. Mortar ini lebih besar dari pada mortar lumpur atau mortar kapur, oleh karena itu biasa dipakai untuk tembok, pilar, kolom, atau bagian bangunan lain yang menahan beban. Karena mortar semen ini lebih rapat air (dibandingkan dengan mortar lain sebelumnya) maka juga dipakai untuk bagian luar bangunan dan atau bagian bangunan yang berada dibawah tanah (terkena air).

4. Mortar khusus

Mortar khusus ini dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar 2 dan 3 di atas dengan tujuan tertentu. Mortar ringan diperoleh dengan menambahkan *asbestos fibres*, *jutes fibres* (serat alami), butir – butir kayu, serbuk gergaji kayu, serbuk kacadan lain sebagainya. Mortar khusus digunakan dengan tujuan dan maksud tertentu, contohnya mortar tahan api diperoleh dengan penambahan serbuk bata merah dengan *aluminous cement*, dengan perbandingan satu *aluminous cement* dan dua serbuk batu api. Mortar ini biasanya dipakai untuk tungku api dan sebagainya.

2.3.2. Sifat-sifat mortar

Menurut Tjokrodinuljo, (2012) mortar yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Murah dan tahan lama.
2. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan).
3. Melekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya.
4. Cepat kering dan mengeras.
5. Tahan terhadap rembesan air.
6. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Pemakaian mortar pada kondisi bangunan tertentu disyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.

2.3.3. Kuat tekan mortar

Kekuatan tekan adalah kemampuan pasta dan mortar menerima gaya tekan persatuan luas. Seperti pada beton, kekuatan pasta dan mortar ditentukan oleh kandungan semen dan faktor air semen dari campuran. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan pasta dan mortar diantaranya adalah faktor air semen, jumlah semen, umur mortar, dan sifat agregat. (Asia, 2014)

1. Faktor air semen (fas)

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran pasta atau mortar. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai fas maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi.

Nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun.

2. Jumlah Semen

Pada mortar dengan fas sama, mortar dengan kandungan semen lebih banyak belum tentu mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang banyak, demikian pula pastinya, menyebabkan kandungan pori lebih banyak dari pada mortar dengan kandungan semen yang lebih

sedikit. Kandungan pori inilah yang mengurangi kekuatan mortar. Jumlah semen dalam mortar mempunyai nilai optimum tertentu yang memberikan kuat tekan tinggi.

3. Umur Mortar

Kekuatan mortar akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur dimana pada umur 28 hari pasta dan mortar akan memperoleh kekuatan yang diinginkan.

4. Sifat Agregat

Sifat agregat yang berpengaruh terhadap kekuatan ialah bentuk, kekasaran permukaan, kekerasan dan ukuran maksimum butir agregat. Bentuk dari agregat akan berpengaruh terhadap *interlocking* antar agregat.

2.3.4. Kuat tarik belah mortar

Kuat tarik belah adalah ukuran kuat tarik belah mortar yang diakibatkan oleh suatu gaya untuk mengetahui batas kuat tarik belah dari benda uji. Benda uji mortar ini setelah keras kemudian diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji ditekan. Nilai kuat tarik yang diperoleh dihitung dari besar beban tarik maksimum (N) dikalikan dua dibagi dengan panjang dan diameter benda uji (mm^2). (Tjokrodinuljo, 2012).

2.3.5. Penyerapan air mortar

Daya serap air adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air. Pori dalam butir agregat mempunyai ukuran dengan variasi cukup besar. Pori-pori tersebar diseluruh butiran, beberapa merupakan pori-pori yang tertutup dalam materi, beberapa yang lain terbuka

terhadap permukaan butiran. Beberapa jenis agregat yang sering dipakai mempunyai volume pori tertutup sekitar 0 % sampai 20 % dari volume butirnya. (Tjokrodimulyo, 2012)

Menurut Tjokrodimuljo, menyatakan bahwa dalam adukan beton atau mortar, air, dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butir-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat.

2.3.6. Tipe mortar

Berdasarkan ASTM C270, *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, mortar untuk adukan pasangan dapat dibedakan atas 5 tipe, yaitu :

1. Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar.

2. Mortar Tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran pembuangan dan *mainhole*.

3. Mortar Tipe N

Tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

4. Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggikan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini sering digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki workabilitas yang baik dan biaya yang ekonomis.

5. Mortar Tipe K

Mortar tipe K memiliki kuat tekan dan kuat lekat lentur yang sangat rendah. Mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kap.

2.4. Material Beton

2.4.1. Semen

Semen portland merupakan material yang paling banyak digunakan dalam pembuatan beton. Berdasarkan SNI 15-2049:2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium

sulfat dan dapat ditambahkan dengan bahan tambahan lain. Semen berfungsi sebagai bahan perekat untuk menyatukan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat dengan proses hidrasi. Semen berfungsi sebagai perekat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya semen portland dibagi menjadi 5 (lima) tipe, yaitu:

- Tipe I, semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut kekuatan awal yang tinggi.
- Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.4.2. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting. Untuk bereaksi dengan semen portland, air diperlukan sekitar 25% - 30% dari berat semen.

Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

- Air harus bersih.
- Kandungan lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.

- Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
- Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter. Kualitas beton akan berkurang jika air mengandung kotoran. Lumpur yang terdapat di dalam air di atas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton.
- Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap (Tjokrodinuljo, 2012).

Berdasarkan SK SNI 03–2847–2002, air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang mengandung oli, asam alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya terdapat logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang mengandung air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C-109).

2.4.3. Agregat

Menurut SNI 2847:2013 agregat (*aggregate*) merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan *slag* tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat agar menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% - 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar. Sifat yang terpenting dari agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang mempunyai pengaruh terhadap ikatan dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan pada musim dingin dan ketahanan terhadap penyusutan. Berdasarkan ukuran butiran, agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat halus

Agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 5 mm. Agregat halus memiliki fungsi yaitu mengisi pori-pori atau celah yang ada di antara agregat kasar, sehingga diharapkan agar

meminimalkan kandungan udara pada beton yang dapat menurunkan kekuatan beton. Berikut merupakan Tabel 2 yaitu gradasi standar agregat halus ASTM C 33.

Tabel 2. Gradasi standar agregat halus ASTM C 33.

Ukuran saringan(mm)	Persentase lolos
No. (9,5)	100
No. 4 (4,75)	95 – 100
No. 8 (2,36)	80 – 100
No. 16 (1,18)	50 - 85
No. 30 (0,6)	25 – 60
No. 50 (0,3)	5 – 30
No. 100 (0,15)	0 – 10
Pan	

Sumber: ASTM C 33

Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 200, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton.

2. Agregat kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5 sampai 40 mm. Besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian. Ukuran agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton. Semakin besar agregat yang digunakan, semakin berkurang kekuatan pada beton, hal ini disebabkan karena ruang antar agregat yang dihasilkan juga semakin besar sehingga kemungkinan adanya rongga udara akan semakin tinggi dan menyebabkan kuat tekan yang kecil.

Tabel 3. Gradasi standar agregat kasar ASTM C 33.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir Lolos		
	37,5 – 4,75	25 – 2,36	9 – 2,36
No.2 (50,0)	100		
No.1 ½ (37,5)	95 – 100	100	
No.1 (25,0)		95 – 100	100
No. ¾ (19,0)	35 – 70		90 – 100
No. ½ (12,5)		25 – 60	
No. (9,5)	10 – 30		20 – 55
No.4 (4,75)	0 -5	10 – 30	0 – 10
No.8 (2,36)	0	0 -5	0 – 5

Sumber: ASTM C 33

2.4.4. *Plasticisizer*

Plasticizer ialah bahan selain unsur pokok beton (semen, air dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Bahan tambahan *plasticizer* digolongkan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan *workability*.

Dengan memberikan bahan tambahan ini kadar air beton dapat dikurangi tanpa kehilangan *workabilitas* (kemudahan pengerjaannya).

Oleh karena itu bahan ini diklasifikasikan secara umum sebagai bahan tambahan untuk mereduksi air.

Bahan tambahan *plasticizer* bermanfaat bila ditambahkan pada beton segar yang ingin dirubah sifatnya karena alasan tertentu, tetapi tidak dapat dimodifikasi dengan merubah proporsi dari komposisi campuran beton normalnya untuk membuat campuranyang kaku menjadi lebih plastis, dimana dibutuhkan kekuatan yang tinggi dalam hubungannya dengan *workabilitas* yang baik.

Berikut merupakan beberapa bahan tambahan *plasticizer* yang sering digunakan dalam campuran beton :

a. Pozzolan

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuk halusya dan dengan adanya air dapat menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodimuljo, 1996). Menurut Gunawan (2000), pozzolan terbagi atas dua jenis sebagai berikut:

1. Pozzolan alam: Bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lahar gunung yang mengandung silika aktif, yang bila bercampur dengan kapur akan terjadi proses sementasi.
2. Pozzolan buatan: Bahan yang terdapat dari sisa pembakaran dari tungku maupun pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika aktif dengan proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), silika fume, dan lain-lain. Pozzolan dapat digunakan sebagai bahan tambah campuran mortar dengan komposisi tertentu. Komposisi yang optimal memberikan dampak baik terhadap mortar, menjadikan mortar mudah diaduk, lebih kedap air, dan kuat tekan mortar menjadi lebih kuat. Pemakaian pozzolan sangat menguntungkan karena menghemat semen, dan mengurangi panas hidrasi yang mengakibatkan retakan serius (Tjokrodimuljo, 1996).

Standar mutu pozolan menurut ASTM C618-92a dibedakan menjadi tiga kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jmlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas pozzolan tersebut adalah :

1. Kelas N : Pozolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan alam yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik atau *pumicite*, dimana bisa diproses melalui pembakaran

atau tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.

2. Kelas C : *Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara.
3. Kelas F : *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara. Menurut Persyaratan Kimia Berdasarkan ASTM C618-92a, kandungan pozzoland dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4. Persyaratan Kimia Berdasarkan ASTM C618-92a

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
Jumlah SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min, %)	70.0	70.0	70.0
SO ₃ (max, %)	4.0	5.0	5.0
Na ₂ O (max, %)	1.5	1.5	1.5
Kadar kelembaban (max, %)	3.0	3.0	3.0
Hilang pijar (max, %)	10.0	6 ^A	12

^A Penggunaan pozzolan kelas F dengan hilang pijar sampai 12 % harus dengan persetujuan dan didukung oleh hasil pengujian laboratorium.

Di dalam proses hidrasi semen selain menghasilkan senyawa CSH, CAH dan CAF yang bersifat sebagai bahan perekat juga menghasilkan kapur yang angka kelarutannya tinggi dan bersifat basa. Dengan adanya pozzolan maka kapur yang timbul akan beraksi membentuk CSH, CAH dan CAF yang mempunyai sifat sebagai bahan perekat. Semen yang mempunyai bahan tambahan pozzolan akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Panas hidrasi akan turun karena dengan adanya tambahan pozzolan kandungan C₃A dalam semen berkurang.
2. Campuran pasta semen pada keadaan konsistensi normal maka faktor air semen akan meningkat dengan adanya pozzolan.

3. Workabilitas dari beton yang memakai semen pozzolan akan lebih baik.
4. Merubah waktu setting.
5. Merubah kekuatan beton.

b. *Silica fume*

Silika fume merupakan salah satu bahan daur ulang berupa limbah kaca yang dapat digunakan dalam campuran beton. Dengan bahan mentah yang banyak dan murah, kaca memiliki ketahanan terhadap abrasi dan ketahanan terhadap cuaca atau serangan kimia yang baik, karena di dalam kaca terdapat kandungan silika yang cukup tinggi. Sehingga kaca juga dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembuat beton.

Silika fume adalah material pozzolan yang sangat halus yang sebagian besar terdiri dari unsur silika, yang dihasilkan dari tanur tinggi sebagai produk sampingan industri metal silikon (ASTM C 1240-93).

Silica fume memiliki warna abu-abu, dengan diameter butiran rata-rata 0,1 μ m, dengan *specific surface* 20000 m^2/kg , seperseratus kali lebih halus daripada semen, berat jenis silika fume 2,2 dan berat volumenya sebesar 200-300 kg/m^3 (Burge, 1988). Silika fume juga mengandung senyawa silikat yang sangat tinggi yaitu sekitar 93 % (Ryan, 1992), senyawa silikat minimum pada silika fume sebesar 85 % (ASTM C 1240-93). Adukan beton yang mengandung silika fume akan membutuhkan air yang lebih banyak yaitu diatas 5 persen daripada beton tanpa silika fume, yang menyebabkan adukan beton lebih kohesif, sehingga tidak menimbulkan segregasi dan secara signifikan mengurangi terjadinya *bleeding* (ACI Committee 234).

Tabel 5. Komposisi dari kaca (%)

Komposisi	<i>Crushed Glass</i>	<i>Glass Powder</i>
SiO ₂	72,61	72,20
Al ₂ O ₃	1,38	1,54
Fe ₂ O ₃	0,48	0,48
CaO	11,70	11,42
MgO	0,56	0,79
Na ₂ O	13,12	12,85
K ₂ O	0,38	0,43
SO ₃	0,09	0,09
L.O.I.	0,22	0,36

Sumber : Fikkriansyah, 2013

Kuat tekan beton yang mengandung silika fume pada umur 3 sampai 28 hari akan lebih besardaripada kuat tekan beton tanpa silika fume, berbeda pada kontribusi silika fume terhadap kuat tekan beton diatas umur 28 hari relatif kecil (*ACI Committee 234*).

Secara fisik silika fume lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO₂ yang tinggi sehingga akan dapat menambah kekuatan beton apabila digunakan sebagai bahan tambahan pada beton. Pemikiran ini sangat beralasan karena secara mekanik silika fume akan mengisi rongga antara butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi.

c. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi. Sekam padi memiliki banyak manfaat dalam industri, (Laksmono et al. 1999), diantaranya sebagai berikut.

- Sumber Silika

Silika dapat diperoleh dengan membakar sekam pada suhu tertentu sehingga dihasilkan abu yang berwarna keputih-putihan yang mengandung silika sebagai komponen utamanya.

- Bahan Bangunan

Sekam dengan kandungan silika (SiO_2) digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, dan campuran pada industri bata merah, seperti cetakan batu bata, batu bata tulis. Hal ini penting untuk membuat berat beton lebih ringan.

Pada pembakaran sekam padi, semua komponen organik diubah menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) dan tinggal abu yang merupakan komponen anorganik (Amaria, 2012). Sekam padi apabila dibakar dengan suhu tinggi ($500\text{-}600^\circ\text{C}$) akan menghasilkan abu silika yang dapat digunakan untuk berbagai proses kimia (Laksono et al. 2007). Sebagian besar abu mengandung silika, sedikit logam oksida, dan karbon residu yang diperoleh dari pembakaran terbuka. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi abu dari sekam padi.

Komponen	% Berat kering
SiO_2	86,9 - 97,3
K_2O	0,58 - 2,50
Na_2O	0,0 - 1,75
CaO	0,20 - 1,50
MgO	0,12 - 1,96
Fe_2O_3	trace - 0,54
P_2O_5	0,20 - 2,85
SO_3	0,10 - 1,13
Cl	trace - 0,42

Sumber: Houston dalam Edi Soenarjo, Djoko S. Damardjati, dan Mahyuddin Syam, 1991

Pembakaran sekam padi dapat menghasilkan silika dalam berbagai bentuk tergantung pada kebutuhan tertentu dengan mengatur suhu pembakaran.

Dengan menggunakan cara pembakaran secara terbuka (seperti di sawah-sawah), maka akan menghasilkan silika bentuk amorf dan biasanya mengandung 86,9–97,80% silika dan 10–15% karbon (Sumaatmadja, 1985).

Tabel memperlihatkan bahwa kandungan silika dalam abu sekam padi lebih tinggi dibanding semen. Berikut merupakan tabel 7 yaitu komposisi kandungan kimia semen & abu sekam padi.

Tabel 7. Komposisi kandungan kimia semen & abu sekam padi

Komposisi kimia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
Semen	15,0	2,56	4,00	1,27	72,2	0,08	0,41	0,29	1,33
Abu sekam padi	96,7	1,01	0,05	0,19	0,49	0,26	0,91	-	4,81

Sumber: Kartini. K, 2011

d. *Fly ash*

Fly ash merupakan salah satu limbah padat yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. *Fly ash* memiliki sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri namun butirannya sangat halus sehingga dapat bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal.

Ada beberapa jenis *fly ash* menurut SNI S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, abu batubara (*fly ash*) digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

- Kelas N

Buangan atau pozzolan alam terkalsinasi yang dipenuhi dengan kebutuhan yang memenuhi syarat yang dapat dipakai sesuai kelasnya, seperti beberapa tanah *diatomaceous*, *opalinse chert* dan serpihan serpihan *tuff* dan debu-debu vulkanik atau *pumicities*, dan bahan-bahan lainnya yang mungkin masih belum terproses oleh kalsinasi; dan berbagai material yang memerlukan kalsinasi untuk memperoleh sifat-sifat yang memuaskan, misalnya beberapa jenis tanah liat dan serpihan-serpihan.

- Kelas F

Pada kelas ini abu batubara diproduksi dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat-syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara jenis ini memiliki sifat *Pozzolanic*.

- Kelas C

Abu batu bara jenis ini diproduksi dari *lignite* atau batubara subitumen yang memenuhi syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batu bara kelas ini, selain memiliki sifat.

Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton memiliki berbagai keuntungan, yaitu :

- Meningkatkan *workability* adukan beton.
- Mengurangi panas hidrasi.
- Mengurangi biaya pekerjaan beton.
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat.
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika.

- Mempertinggi umur beton.
- Mempertinggi kekuatan tekan beton.
- Mempertinggi keawetan beton.
- Mengurangi penyusutan.
- Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

Kelemahan penggunaan *fly ash* pada campuran beton :

- Proses pengerasan dan penambahan kekuatan beton agak lambatakibat reaksi pozzolan dari *fly ash*.
- Pengendalian mutu harus lebih sering dilakukan, karena mutu *fly ash* sangat tergantung pada proses pembakarannya (suhu) dan jenis batu baranya.

e. GGBS

Ground Blast-furnace Slag adalah kerak (*slag*) merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi. Definisi *slag* dalam ASTM C.989 - 99, “*Standard spesification for ground granulated Blast-Furnace Slag for use in concrete and mortars*” adalah produk non-metal berupa material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan, misalnya dengan mencelupkan dalam air. GGBS jika digunakan sebagai campuran beton akan menghasilkan kekuatan sebesar 262 MPa (Anil et al. 2008).

f. Limbah Baja Padat (*Steel slag*)

Slagbesi atau *Steel slag* adalah limbah dari pembuatan baja. *Steel slag* merupakan campuran cairan yang terdiri dari *silica* dan oksida kalsium yang akan ikut mengeras ketika proses pendinginan. Oleh karena itu kandungan silika dalam *steel slag* dapat dimanfaatkan kembali sebagai campuran beton.

Ada beberapa keuntungan penggunaan *steel slag* dalam campuran beton adalah sebagai berikut (Mulyono,2004):

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecendrungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan.
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton.
- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton.
- Mengurangi serangan alkali-silika.
- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu.
- Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton.
- Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume.
- Mengurangi porositas dan serangan klorida.
- Lebih ekonomis.

g. *Fiber*

Serat (*fiber*) merupakan bahan tambah yang berupa serat gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan (ijuk). Penambahan serat ini dimaksudkan agar meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*) sehingga dapat meningkatkan keawetan/durabilitas beton.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan *fiber* ke dalam adukan beton akan menurunkan kelecakan adukan secara cepat sejalan dengan penambahan konsentrasi *fiber* dan aspek ratio *fiber*. Penurunan kelecakan adukan dapat dikurangi dengan penurunan diameter maksimal agregat, peninggian faktor air semen, penambahan semen ataupun pemakaian bahan tambah (Sudarmoko, 1989).

Aspek ratio *fiber* yang tinggi akan menyebabkan *fiber* cenderung untuk menggumpal menjadi suatu bola yang sangat sulit disebar secara merata sebelum dan sesudah proses pengadukan. Adapun kelebihan penggunaan serat dalam campuran beton yaitu sebagai berikut:

- Meningkatkan kuat lentur beton.
- Memperkecil kemungkinan terjadinya segregasi.
- Daktilitas (kemampuan menyerap energi) juga meningkat.
- Tahan benturan.
- Retak-retak yang terjadi dapat direduksi.
- Beton menjadi lebih kaku.
- Meningkatkan kuat tarik, kuat tekan dan kuat desak beton.

2.5. Perawatan Beton

Kekuatan beton tergantung beberapa faktor, seperti proporsi campuran beton maupun kondisi kelembaban tempat beton akan mengeras. Untuk memperoleh kuat tekan dan kuat lentur yang diinginkan maka beton yang masih muda perlu dilakukan proses perawatan (*curing*), dengan tujuan agar proses hidrasi semen berjalan dengan sempurna.

Tujuan dari perawatan adalah untuk mempertahankan agar beton tetap jenuh, dimana pada awalnya telah terisi air sewaktu pasta semen masih segar tetap terisi secara cukup untuk keperluan hidrasi semen (Neville, 1987). Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kelembaban tertentu. Apabila beton cepat mengering maka akan timbul retak pada permukaannya yang menyebabkan kekuatan beton menurun.

Institut Beton Amerika (*American Concrete Institute-ACI*) merekomendasikan jangka waktu minimum curing, proses curing dilakukan minimum hingga mencapai kekuatan 70 % dari kekuatan yang direncanakan. 70 % kekuatan dapat dicapai dengan cepat apabila curing dilakukan pada temperatur yang tinggi dan atau dengan penggunaan bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mempercepat perkembangan kuat tekan.

Komite Institut Beton Amerika merekomendasikan waktu minimum curing sebagai berikut:

1. ASTM C 150 semen tipe I, waktu minimum curing 7 hari
2. ASTM C 150 semen tipe II, waktu minimum curing 10 hari
3. ASTM C 150 semen tipe III, waktu minimum curing 3 hari
4. ASTM C 150 semen tipe IV atau V minimum curing 14 hari
5. ASTM C 595, C 845, C 1157 waktu curing bervariasi

Dalam Diktat Konstruksi Beton I (Pratikto, 2009) disebutkan beberapa cara yang dapat dilakukan untuk perawatan beton, antara lain :

- a. Perawatan perendaman
 - Beton dibasahi dengan air secara terus menerus, misalnya dengan penyiraman air pada beton kolom *pier* jembatan.
 - Beton direndam dalam air biasa digunakan untuk perawatan pada sampel beton di laboratorium.
 - Beton ditutup dengan karung basah yang sering dilakukan pada perawatan beton *rigid pavement*.

b. Perawatan uap

Tujuan utama dari perawatan uap adalah untuk mencapai kekuatan awal beton yang cukup tinggi sehingga kegiatan produksi beton lebih cepat dilaksanakan, demikian pula ruang penyimpanan beton yang dibutuhkan akan lebih kecil, hal ini akan memberikan keuntungan dari segi ekonomi (Neville, 1987). Perawatan uap pada umumnya hanya dilakukan pada beton pracetak. Perawatan uap biasanya dilakukan pada ruangan khusus yang dialiri dengan uap melalui penghubung fleksibel. Siklus perawatan uap ada 4 tahap (Neville, 1987):

1. Tahap pra perawatan selama 2 jam
2. Tahap pemanasan selama 1½ jam
3. Tahap perawatan (temperatur tetap), tergantung waktu
4. Tahap pendinginan selama 1 jam

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan tekanan rendah berlangsung selama 10-12 jam pada suhu 40°-55°C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10-16 jam pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C. Sebelum perawatan dengan penguapan dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam. Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembasahan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

Lamanya perawatan beton (dengan air dan membran) tergantung dari tipe semen yang dipakai. Untuk semen tipe III, lamanya perawatan minimum 3 hari, untuk semen type I lamanya perawatan minimum 7 hari, dan untuk semen tipe IV lamanya perawatan minimum 14 hari.

Pada penelitian Surya Sebayang (2001), menyebutkan bahwa diantara beberapa jenis temperatur dan durasi waktu pemanasan yang digunakan untuk *curing* yaitu 60°, 70°, 80°, dan 90° C dengan durasi 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam, dan 6 jam telah menghasilkan kuat tekan maksimum terjadi pada perawatan uap selama 4 jam adalah pada temperatur 90 °C yaitu sebesar 22,72 MPa.

Secara umum semakin lama perawatan uap akan menyebabkan kuat tekan beton bertambah, hal ini terjadi karena proses hidrasi berlangsung lebih cepat akibat adanya panas. Peningkatan kuat tekan beton terjadi secara drastis sampai lama perawatan 4 jam. Setelah perawatan 4 jam peningkatan kuat tekan berlangsung lebih lambat, bahkan kuat tekan pada temperatur 90 °C setelah 4 jam terjadi penurunan.

c. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Richard *et al.* (1995) mengemukakan bahwa perlakuan panas yang telah dilakukan pada 90 ° C secara substansial mempercepat reaksi pozzolan.

Sedangkan perlakuan panas dengan suhu tinggi yaitu di antara 250 dan 400 °C akan membentuk *hidrat kristal (xonotlite)* yang merupakan senyawa yang mengakibatkan kekuatan beton meningkat.

Tam & Tam, (2010) menyatakan bahwa *tobermorite* terbentuk pada suhu sekitar 150 ° C, sementara *xonotlite* diamati sebagai kristal berbentuk jarum yang terjadi

pada suhu di atas 200 ° C. Pada lebih tinggi suhu, antara 200 dan 250 ° C, panjang rantai C-S-H dapat dimodifikasi dari trimer menjadi pentamer atau hexamer, dengan beberapa dehidroksilasi gel semen karena proses hidrasi dan reaksi pozzolan. Penelitian tentang pengaruh pemanasan dilakukan pada suhu 100° selama 16 jam menghasilkan kuat tekan 116,2 MPa. Pada suhu 100° selama 48 jam menghasilkan 127,2 MPa. Berbeda dari perlakuan pemanasan pada oven dengan suhu 250° selama 16 jam menghasilkan kuat tekan lebih tinggi sebesar 195,3 MPa. Pada suhu 250° selama 48 jam menghasilkan kuat tekan paling optimum yaitu sebesar 200 MPa.

Helmi *et al*, (2016) mengemukakan bahwa kondisi optimal dari pemanasan panas dimulai pada 2 hari setelah pengecoran dengan tingkat 50° C/jam selama 48 jam karena adanya peningkatan pozzolonic dan reaksi hidrasi dan jumlah transformasi kristal. Pada suhu sekitar 180-300° terdapat adanya kemungkinan perubahan gel C-S-H menjadi *xonotlite*.

2.6. Sifat Mekanik pada Beton

2.6.1. Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang akan menyebabkan benda uji beton hancur apabiladibebani gaya tekan tertentu oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f'_c dengan satuan N/mm^2 atau MPa (Mega Pascal). Pengujian kuat tekan beton untuk standar ACI dan SNI dapat dilakukan dengan cara menekan benda uji silinder 150 mm x 300 mm. Namun untuk standar British dapat menggunakan benda uji kubus 150 mm x 150mm. Benda uji yang lebih kecil

dapat juga dipakai akan tetapi harus dikaitkan dengan ukuran agregat maksimum yang akan digunakan. Umumnya ukuran terkecil cetakan minimal 4 kali diameter agregat maksimumnya. Sebelum dilakukannya pengujian maka permukaan tekan benda uji silinder harus diratakan agar tegangan terdistribusi secara merata.

Dalam hal ini permukaan benda uji silinder diratakan dan diberilapisan belerang setebal 1,5 mm – 3 mm pada permukaan tekan benda uji silinder, atau dengan cara menggunakan pasta semen.

Pengujian dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine* dengan kecepatan pembebanan antara 0,15 MPa/detik sampai 0,34 MPa/detik. Kuat tekan silinder beton normal rata-rata 0,83 kali kuat tekan kubus, namun angka sebenarnya tergantung dari mutu beton yang diuji. Semakin tinggi kuat tekan beton maka rasio kuat tekan silinder terhadap kubus akan mendekati satu.

Pengaruh ukuran benda uji (*size effect*) terhadap kuat tekan beton pada beton mutu tinggi sangat kecil dibandingkan dengan beton normal. Menurut SNI 03-6815-2002, pengujian kekuatan beton bertujuan untuk menentukan terpenuhinya spesifikasi kekuatan dan mengukur variabilitas beton. Besarnya variasi kekuatan contoh uji beton tergantung pada mutu material, pencampuran, dan kontrol dalam pengujiannya. Perbedaan kekuatan dapat ditemukan dari dua penyebab utama yang berbeda, yaitu:

- Perbedaan perlakuan terhadap beton.
- Perbedaan dalam kekuatan yang disebabkan oleh perpaduan variasi bahan penyusun campuran beton.

Menurut Kardiyono Tjokrodimuljo (2012), bahwa kuat tekan beton dipengaruhi faktor-faktor antara lain :

1. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksudkan umur di sini dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu semakin lambat, dan laju kenaikan tersebut menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari, sehingga secara umum dianggap tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton ialah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Pada dasarnya konversi beton diperlukan apabila menginginkan kuat tekan beton umur 28 hari dengan cepat. Angka konversi diperlukan untuk mengubah nilai kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, atau 21 hari ke umur 28 hari atau sebaliknya.

Berikut merupakan Tabel 8. Konversi umur beton.

Tabel 8. Konversi umur beton

Umur	Konversi
3 hari	0,46
7 hari	0,70
14 hari	0,88
21 hari	0,96
28 hari	1,00

Umur pengujian yang sering digunakan adalah 7 hari dan 28 hari untuk kuat tekan, atau 14 hari dan 28 hari untuk pengujian kuat lentur. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari karena reaksi dengan air pada campuran beton menghasilkan panas dan mempengaruhi laju pengerasan semen portland.

Tri Calcium Silicate (C_3S), memberikan kontribusi terhadap kuat tekan awal, ini disebabkan karena C_3S dapat mengalami *setting* (pengerasan) dalam beberapa jam. Mayoritas kekuatan yang disebabkan oleh C_3S dicapai pada umur 7 hari.

2. Faktor air semen

Faktor air semen (fas) ialah perbandingan berat antara air dan semen portland di dalam campuran adukan beton. Umumnya, nilai fas pada beton normal berkisar antara 0,40 dan 0,60.

3. Kepadatan beton

Kekuatan beton akan berkurang jika kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti berisi rongga sehingga kuat tekannya berkurang.

4. Jumlah pasta semen

Pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Pasta semen berfungsi secara maksimal jika seluruh pori antar butir agregat terisi penuh dengan pasta semen, serta seluruh permukaan butir agregat terselimuti pasta semen. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat, sehingga rekatan antar butir kurang kuat, dan berakibat kuat tekan beton rendah. Akan tetapi, jika jumlah pasta semen terlalu banyak maka kuat tekan beton lebih didominasi oleh pasta semen, bukan agregat. Karena umumnya kuat tekan pasta semen lebih rendah daripada agregat, maka jika terlalu banyak pasta semen kuat tekan beton menjadi lebih rendah. Pada nilai fas sama, variasi jumlah semen juga menggambarkan variasi jumlah pasta semen.

5. Jenis semen

Masing-masing jenis semen *portland* (termasuk semen *portland pozolan*) mempunyai sifat tertentu, misalnya cepat mengeras, sehingga mempengaruhi pula terhadap kuat tekan betonnya.

6. Sifat agregat

Agregat terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Beberapa sifat agregat yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain :

- a. Kekasaran permukaan, karena permukaan agregat yang kasar dan tidak licin membuat rekatan antara permukaan agregat dan pasta semen lebih kuat daripada permukaan agregat yang halus dan licin.
- b. Bentuk agregat, karena bentuk agregat yang bersudut misalnya pada batu pecah, membuat butir-butir agregat itu sendiri saling mengunci dan sulit digeserkan, berbeda dengan batu kerikil yang bulat.
- c. Kuat tekan agregat, karena sekitar 70% volume beton terisi oleh agregat, sehingga kuat tekan beton didominasi oleh kuat tekan agregat. Jika agregat yang dipakai mempunyai kuat tekan rendah akan diperoleh beton yang kuat tekannya rendah pula.

2.6.2. Kuat Tarik Lentur Beton

Berdasarkan SNI 4431-2011, kuat tarik lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas.

Ada dua jenis pengujian kuat tarik lentur beton, yaitu pengujian sistem satu beban titik (ASTM C 293) dan pengujian sistem dua beban titik (ASTM C78). Pada pengujian sistem satu beban titik, beban sepenuhnya dikerahkan pada bagian tengah benda uji, sedangkan pada pengujian sistem dua beban titik, beban dibagi dua yang dikerahkan masing-masing pada bagian ujung dari sepertiga panjang benda uji bagian tengah. Nilai f_r yang didapat dari pengujian sistem satu beban titik lebih besar dari pengujian sistem dua beban titik.

2.7. Beton reaktif

Reactive powder concrete (RPC) merupakan material beton tipe khusus dari *ultra high performance concrete* (UHPC). Beton bubuk reaktif (RPC) terbuat dari semen portland, mikrosilika (*silica fume*), bubuk kuarsa (*crushed quartz*), pasir (kuarsa atau silika), *superplasticizer*, serat baja mikro dan air, sehingga dapat disebut sebagai “mortar” dengan kandungan pasta semen dan mikrosilika yang sangat tinggi serta rasio air semen (w/c) yang sangat rendah (Dallaire, E., et al. 1998, Bonneau, O., et al., 1997). Optimalisasi struktur-mikro matriks beton RPC menggunakan gradasi material berukuran nano (nm) yang berguna untuk meminimalisir adanya rongga kosong antara butiran/partikel sehingga didapatkan beton yang ultra padat.

Prinsip dasar pembuatan RPC menurut Richard P dan Cheyrezy :

- a. Peniadaan agregat kasar untuk meningkatkan homogenitas beton.
- b. Penggunaan silika fume untuk reaksi pozzolanik.
- c. Penerapan tekanan pada beton segar untuk memperoleh pepadatan terbaik.
- d. Perawatan pemanasan dalam waktu panjang untuk meningkatkan sifat struktur-mikro, mempercepat proses susut dan pengeringan.

- e. Penggunaan faktor air semen ekstrim rendah guna mengurangi jumlah pori-pori dan kapiler sehingga impermeabilitas meningkat yang menghasilkan durabilitas dan kekuatan superior.
- f. Penggunaan *superplastisizer* dalam dosis tinggi guna memperoleh kelecakan (*workability*) yang baik.

2.7.1. Komposisi

- a. Pasir silika / pasir kuarsa

Pasir kuarsa berwarna putih mirip seperti semen, disebut pasir silika karena terdiri atas kristal kristal silika. Pasir ini memiliki struktur heksagonal yang terkrystalisasi. Pasir kuarsa bermanfaat untuk mengikat semen agar menjadi lebih keras.

- b. Semen

Dalam beton RPC biasanya semen dikombinasikan dengan beberapa bahan tambahan agar dapat menghasilkan beton dengan mutu tinggi, salah satunya dengan *silica fume*, *GGBS*, dan lainnya.

- c. Air

Pada pembuatan campuran beton RPC juga diperlukan air agar bereaksi dengan semen portland. Air yang digunakan harus merupakan air bersih dan memenuhi syarat.

- d. *Silica fume*

Menurut standar ASTM.C. 1240,1995: 637-642 *silica fume* adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloybesi silikon (dikenal sebagai gabungan

antara *microsilica* dengan *silica fume*). Untuk membuat beton RPC kandungan silikat sangat diperlukan agar bereaksi dan menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

2.7.2. Proses Pembuatan

a. *Mix Design* Beton

Mix design adalah proses rancangan untuk memilih bahan yang akan dijadikan campuran beton dengan proporsi tertentu sesuai dengan kekuatan yang telah ditentukan dan ekonomis. Komposisi campuran RPC berdasarkan berat material dari beberapa peneliti terdahulu diperlihatkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Komposisi material RPC dari peneliti terdahulu

<i>Constituent</i>	Richard and Cheyrezy (1995)		Matte & Moranville (1999)		Habel, et. al (2006)	Louis (2010)	Tam, at.al (2012)
	Plain	Steel <i>fibers</i> (13 mm)	Steel <i>fibers</i>	Steel <i>fibers</i>	Steel <i>fibers</i> (10 mm)	Steel <i>fibers</i> (13 mm)	Plain
<i>Portland cement</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Silica fume</i>	0,25	0,23	0,25	0,23	0,325	0,26	0,325
<i>Quartz Sand</i>	1,1	1,1	1,1	1,1	1,43	0,7	1,43
<i>Crushed quartz</i>	-	0,39	-	0,39	0,3	-	0,3
<i>Glass quartz</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Superplasticizer</i>	0,01 6	0,01 9	0,01 6	0,01 9	0,018	0,018	0,08 0,025
<i>Steel fibers</i>	-	-	0,17 5	0,17 5	0,275	0,45	0,21 -
<i>Water</i>	0,15	0,17	0,17	0,19	0,2	0,18	0,26 0,265
<i>Pre-setting pressure, Mpa</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Post-setting heat treatment temperature, °C</i>	20	90	20	90	90	20	20 27
<i>Compressive strength, Mpa</i>	170-230				216	168	128 145

Sumber : Alkhaly, 2013

b. Perlakuan yang dilakukan terhadap benda uji antara lain :

- Pengujian berat jenis beton.
- Pengujian kuat tekan beton sesuai Metode *Britishace* tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- Pengujian kuat lentur beton dari benda uji yang telah terbelah kuat tekan.
- Perawatan beton dengan metode curing yang berbeda-beda.

c. Pengujian *Slump Flow Test*

Pengujian *Slump Flow* (ASTM C1611) merupakan pengujian untuk mengukur kemampuan campuran beton dalam mengisi (mengalir) dan kemampuan melalui (untuk campuran stabil, tingginya kemampuan mengalir berbanding lurus dengan kemampuan melalui). Pengujian *slump flow* memiliki persamaan dengan pengujian slump standar (ASTM C143/C143M). Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan *slump cone* di tengah pelat *slump flow* dengan bukaan besar menghadap ke bawah. *Slump flow* adalah diameter dari rata-rata diameter yang diambil dari dua arah. Jika terdapat perbedaan antara dua diameter menandakan tidak meratanya tingkat permukaan. Pada beton SCC mempunyai *slump flow* antara 50 cm sampai 70 cm. Dikarenakan sifat yang cair dari SCC, maka pada saat proses pengisian *slump cone* diharuskan memberikan tekanan ke bawah dengan erat untuk mencegah agar pasta beton tidak mengalir keluar. (Asraar *et. al.* 2016).

2.7.3. Sifat Mekanik

a. Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Kuat tekan dan kinerja RPC sangat tergantung pada bahan baku material, proporsi material, jenis perawatan (*curing*) dan kontrol kualitas keseluruhan produksi. RPC memiliki kuat tekan antara 120 MPa – 800 MPa dengan modulus elastisitas antara 30 GPa – 75 GPa dan kuat tarik lentur berkisar 22 MPa – 141 MPa (Louis, L.M.A., 2010).

b. Durabilitas RPC

RPC memiliki durabilitas ultra tinggi yang dihasilkan dari rendahnya porositas matriks beton. Penetrasi ion klorida rata-rata lebih rendah 25 kali dibanding HPC, absorpsi air rata-rata 4 kali lebih rendah dibanding HPC dan kehilangan bobot akibat penetrasi asam/sulfat rata-rata 2,5 kali lebih rendah dibanding HPC. (Matte, V., and Moranville, M., 1999)

c. *Fatigue*

Fatigue atau kelelahan adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) (σ_u) maupun tegangan luluh (*yield*) material yang diberikan beban konstan.

Terdapat tiga fase dalam perpatahan fatik yaitu :

1. Permulaan retak

Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi dipermukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang.

2. Penyebaran retak

Crack initiation ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.

3. Patah

Perpatahan akan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. *Fatigue* atau kelelahan menurut ASTM (1975) didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya dan pada satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak (*crack*) atau patahan (*fracture*) secara keseluruhan sesudah fluktuasi tertentu.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi kelelahan yaitu tipe pembebanan, putaran, kelembaban lingkungan (korosi), konsentrasi tegangan, suhu, kelelahan bahan, komposisi kimia bahan, tegangan-tegangan sisa, dan tegangan kombinasi. Faktor-faktor yang cenderung mengubah kekuatan lelah pada pengujian ini adalah kelembaban lingkungan (korosi) dan tipe pembebanan sedangkan putaran, suhu, komposisi kimia dan tegangan sisa sebagai variable yang konstan selama pengujian sehingga tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan lelah.

2.7.4. Aplikasi Konstruksi

RPC pertama kali digunakan pada Jembatan *Sherbrooke* pejalan kaki /*bikeway* di Kanada 1997 (P.Y. Blais & M. Couture, 1999), jembatan yang memiliki rentang 60 m tersebut dibangun dengan kekuatan tekan 150 MPa dan tidak menggunakan

tulangan baja. Balok utama jembatan dirawat oleh panas curing pada 90°C untuk dua hari dalam suasana jenuh uap.

Jembatan RPC lainnya telah dikembangkan di seluruh dunia seperti itu sebagai *Sunyudo Footbridge* dengan rentang tunggal 120 m (Seoul, Korea), *Sakata-Mirai Footbridge* tanpa penguatandan lebih ringan sebesar 80% (Sakata, Jepang), *Shepherds Creek Road*. Jembatan dengan panel bekisting *precast* RPC tipis permanen (Australia), dan *Wapello Country Bridge* tanpa penguatan dan digunakan untuk jalan raya di Amerika Serikat. (M. Rebentrost dan B. Cavill, 2011)

Di Indonesia, beton reaktif sudah banyak digunakan dalam kegiatan konstruksi, salah satunya yaitu oleh PT. Wijaya Karya Beton Tbk. (WIKABeton) yang telah memproduksi material beton inovasi berupa *Reactive Powder Concrete* (RPC) yang merupakan hasil penelitian antara WIKABeton dengan Institut Teknologi Bandung (ITB).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) merek Semen Padang Tipe I, didapatkan dari toko bahan bangunan dalam kondisi baik dengan satuan 50 kg/sak.
- Pasir halus yang lolos saringan no.2,4 mm.
- Air yang telah memenuhi persyaratan air bersih di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Abu sekam padi lolos saringan no. 100.
- Elkem *microsilica* adalah butiran silikon yang sangat halus yang digunakan sebagai aditif dalam beton, sebagai lapisan dalam sumur minyak, sebagai pengganti asbes, dalam bahan refraktori, dalam pupuk dan dalam plastik.
- *Superplasticizer* dengan merk PUTOFF PF-01 kemasan 5 Kg produksi PT. Karya Intra Persada. Dengan tipe modifikasi *Sodium-naphthalene-sulfonat*, berupa cairan coklat tua yang berfungsi sebagai aditif untuk beton dengan mengurangi air dalam jumlah besar dan menghasilkan beton mutu tinggi.

3.2. Peralatan

Alat – alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- Satu set saringan

Satu set saringan digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus agar dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat halus.

- Timbangan

Timbangan berkapasitas maksimum 12 kg dan 50 kg digunakan untuk menimbang berat masing-masing komposisi campuran beton, benda ujibetonna dan pemeriksaan seluruh material.

- *Picnometer*

Picnometer digunakan dalam pemeriksaan berat jenis SSD, berat jenis kering, berat jenis jenuh dan penyerapan untuk pasir.

- Bejana silinder

Alat ini digunakan dalam pemeriksaan berat volume pasir.

- Botol *Le Chatelier* (*Le Chatelier Flask* kapasitas 250 mL)

Alat ini digunakan untuk pemeriksaan berat jenis semen.

- Oven

Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan pada saat pengujian material yang membutuhkan kondisi kering. Oven juga sebagai pendukung yang dipakai untuk pengujian daya serap beton dan sebagai perawatan beton dengan metode memanaskan beton selama 8 jam dengan suhu 180° - 200°.

- Alat modifikasi *steam*

Alat ini digunakan untuk perawatan beton dengan metode penguapan dengan suhu 90° dengan tujuan mempercepat proses hidrasi semen.

- Cetakan beton

Cetakan berupa balok berukuran 4 x 4 x 16 cm yang digunakan untuk mencetak benda uji.

- Mesin uji beton

Mesin uji yang digunakan yaitu *Compression Testing Machine* (CTM) yaitu alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan dan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menguji kuat tarik lentur.

- Meja Penggetar

Meja ini berguna sebagai *vibrator*.

- Mixer

Mixer yang digunakan berada di Laboratorium Jalan Raya. Mixer ini digunakan untuk mengaduk campuran beton dengan 2 kali tahapan pengadukan.

3.3. Komposisi Campuran RPC

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan berat material seperti yang sudah dilakukan oleh Helmi *et al.* (2016) dan ditampilkan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Komposisi beton reaktif per 1 m³ dalam kg.

Perbandingan (% berat)		Kode Campuran	Semen	Silika Fume	Abu Sekam	Pasir	Air	SP
Semen	Abu Sekam							
100	0	C1	830	208	0	976	200	55
90	10	C2	747	208	83	976	200	55
80	20	C3	664	208	166	976	200	55
70	30	C4	581	208	249	976	200	55

3.4. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian ini adalah cara perawatan dan umur benda uji seperti terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Metode perawatan dan umur benda uji

Variabel perawatan	Kode benda uji	Variasi abu sekam	Uji kuat lentur	Uji kuat tekan	
			7 hari	7 hari	28 hari
Perendaman dalam air	C1A	0%	3	3	3
	C2A	10%	3	3	3
	C3A	20%	3	3	3
	C4A	30%	3	3	3
Pemanasan dalam oven	C1O	0%	3	3	3
	C2O	10%	3	3	3
	C3O	20%	3	3	3
	C4O	30%	3	3	3
Pemanasan dalam uap panas	C1U	0%	3	3	3
	C2U	10%	3	3	3
	C3U	20%	3	3	3
	C4U	30%	3	3	3
Total			36		

3.5. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung terbagi dalam beberapa tahapan penelitian, yaitu: persiapan bahan dan peralatan, pemeriksaan bahan dan peralatan, perencanaan campuran beton, pembuatan beton, perawatan beton, pengujian beton, dan analisis hasil penelitian.

a. Pengadaan bahan dan peralatan

Mempersiapkan bahan dan peralatan yang diperlukan sebelum penelitian. Bahan-bahan untuk pembuatan beton, antara lain semen, pasir, abu sekam, *admixture* dan air bersih.

b. Pemeriksaan bahan dan peralatan

Bahan dan peralatan akan digunakan dalam penelitian harus dalam kondisi baik dan sesuai standar yang ditetapkan agar dihasilkan beton dengan kualitas yang baik sesuai perencanaan. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan terhadap bahan tersebut. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

1) Semen

Pemeriksaan terhadap semen dilakukan dengan cara:

- Berat jenis semen
- Waktu pengikatan awal dan akhir

2) Agregat halus (Pasir)

Hal-hal yang dapat dilakukan dalam pemeriksaan agregat halus yaitu:

a) Pemeriksaan secara visual, yakni pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras yang bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

b) Pengujian agregat halus, antara lain :

- Kadar air (ASTM C 566).
- Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128).
- Analisis saringan/gradasi agregat halus (ASTM C136).
- Kadar lumpur (ASTM C 117).
- Kandungan zat organik dalam pasir (ASTM C 40).
- Berat volume agregat halus (ASTM C 29/C 29M).

3) Abu sekam

Sebelum menjadi abu, sekam padi sebelumnya dibakar selama 24 jam pada temperatur 600° - 800° (Kartini, K , 2011). Pemeriksaan terhadap abu sekam

dilakukan dengan cara visual yaitu sekam yang berwarna abu-abu gelap. Selain itu dilakukan pula uji kadar air, dan berat volume dari abu sekam.

4) *Silica fume*

Pemeriksaan secara visual terhadap *silica fume* yang akan digunakan.

5) Air

Pemeriksaan secara visual yaitu dengan melihat bahwa air tampak jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau sesuai dengan persyaratan untuk minum.

6) Peralatan

Peralatan yang akan digunakan harus berfungsi dengan baik dan tidak rusak.

c. Perencanaan campuran beton

Pada penelitian ini rencana komposisi campuran beton mutu tinggi (*mix design*) mengacu pada peraturan metode british dengan menggunakan perbandingan dari penelitian sebelumnya. Kuat tekan beton yang direncanakan 100 MPa. *Rice husk ash* (abu dasar) digunakan sebagai bahan pengganti sejumlah semen pada beton mutu tinggi.

d. Pelaksanaan pengecoran campuran beton

Langkah-langkah pembuatan beton, yaitu:

1) Penakaran (Penimbangan) bahan-bahan

Menimbang bahan-bahan untuk pembuatan beton, seperti semen, agregat halus (pasir), abu sekam, dan air serta *superplasticizer* sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan dari hasil rancangan campuran beton (*mix design*). Takaran bahan dapat ditentukan menurut perbandingan berat atau perbandingan volume. Baik penakaran dengan ukuran berat maupun dengan volume, penakaran harus dilakukan dengan cermat. Takaran yang tidak tepat dapat mengakibatkan kualitas

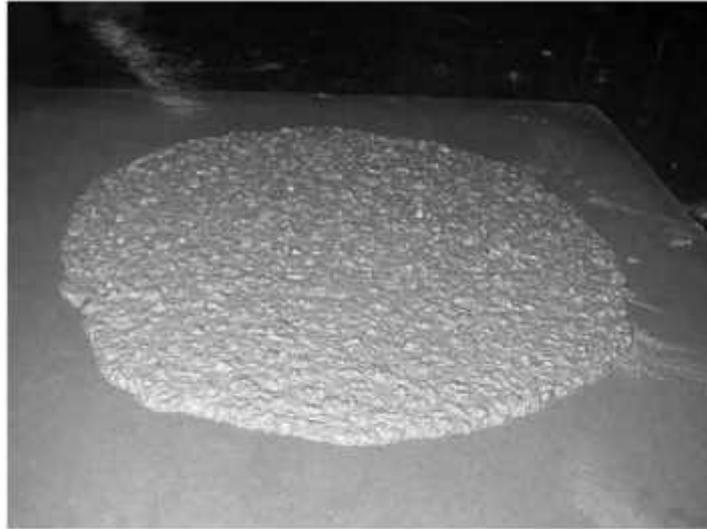
beton yang dihasilkan kurang memenuhi syarat mutu. Terutama takaran yang berkaitan dengan banyaknya air pengaduk, atau banyaknya semen, sebab jika faktor air semen tidak tepat maka akan sangat mempengaruhi kualitas betonnya. Makin besar faktor air semen pada komposisi beton bahan yang sama akan makin kecil kekuatan beton yang dihasilkan.

2) Pengadukan beton

Proses pencampuran antara bahan-bahan dasar beton yaitu diawali dengan memasukkan agregat diputar beberapa menit hingga bahan tercampur rata. Pengadukan dilakukan sedemikian rupa sampai adukan beton benar-benar homogen, warnanya tampak rata, kelecakan cukup (tidak terlalu cair dan tidak terlalu kental), dan tidak tampak adanya pemisah butir (segregasi). Adukan yang homogen akan dapat menghasilkan beton dengan kualitas baik.

3) Pengujian *slump flow test*

ASTM C1611 Slump-Flow Test dapat digunakan untuk menentukan “*filling ability*” baik di laboratorium maupun di lapangan; dan dengan memakai alat ini dapat diperoleh kondisi workabilitas beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 60-75 cm. Kebutuhan nilai *slump flow* untuk pengecoran konstruksi bidang vertikal berbeda dengan bidang horizontal. Kriteria yang umum digunakan untuk menentukan awal workabilitas beton SCC berdasarkan tipe konstruksi, yakni untuk konstruksi vertikal disarankan dengan *slump flow* 65-70 cm, sedangkan untuk konstruksi horizontal dengan *slump flow* 60-65 cm. Berikut merupakan Gambar 1 yang merupakan uji *slump flow*.



Sumber : ASTM C1611

Gambar 1. Uji *Slump Flow*

4) Pencetakan beton

Setelah pengujian *slump flow*, campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan benda uji yang telah dipersiapkan. Proses memasukkan campuran ke dalam cetakan dibagi ke dalam tiga lapisan masing-masing setinggi $1/3$ tinggi cetakan, lalu dilakukan pemadatan.

5) Pemadatan beton

Pertama dilakukan pemadatan dengan menggunakan alat getar internal berupa meja penggetar. Setelah itu, dilakukan pemadatan eksternal dengan cara menggetarkan cetakan beton secara manual, yaitu dengan memukul-mukul sisi luar cetakan beton dengan palu karet secara kontinyu. Hal ini dilakukan agar mendapatkan beton yang tidak berongga (keropos) sehingga mutu beton yang diinginkan tercapai. Setelah selesai dicetak dan dipadatkan, beton dibiarkan selama ± 24 jam dan cetakan dapat dibuka. Setelah itu, beton dapat diangkat, diberi kode sampel, dan diletakkan di area penyimpanan serta perawatan sebelum dilakukan pengujian.

e. Perawatan beton (*Curing*)

Perawatan dibagi menjadi 3 jenis variabel, yaitu dengan perawatan dalam air, pemanasan dengan oven dengan suhu 180° selama 8 jam, dan dengan penguapan dengan alat uap dengan suhu 90 °.

1) Perendaman

Selama proses pengerasan, beton akan mengalami reaksi kimia yaitu proses hidrasi, proses hidrasi membutuhkan air dalam jumlah yang cukup, sehingga dihindari terjadinya penguapan, sebab akan menghentikan proses hidrasi akibat kehilangan air. Penguapan selain menghentikan proses hidrasi juga menyebabkan penyusutan kering secara tepat, yang mengakibatkan beton menjadi retak-retak. Oleh karena itu, dilakukan proses perawatan beton agar permukaannya selalu basah untuk menjaga kelembapan beton dan mencegah penguapan serta penyusutan awal. Perawatan yang teratur dan terjaga akan memperbaiki kualitas beton itu sendiri yaitu membuat beton tahan terhadap reaksi kimia.

Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut:

- Setelah dicetak dan dibiarkan 24 jam selanjutnya cetakan beton balok dibuka, lalu beton tersebut direndam di dalam air.
- Perendaman dilakukan sampai sebelum proses pengujian beton pada umur 7 hari.
- Sebelum beton direndam terlebih dahulu diberi nama pada permukaannya (kode sampel).

Menurut ASTM C 78 dan SNI 4431-2011 kuat tarik lentur beton dengan beban terpusat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_r = \frac{3 P \cdot L}{2 b \cdot h^2}$$

Dimana:

f_r = *force of ruptured* / Kuat lentur (MPa)

P = Beban runtuh (N)

L = Panjang benda uji antar tumpuan (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

h = Tinggi benda uji (mm)

2) Pengujian kuat tekan beton

Uji kuat tekan dilakukan pada 7 hari atau 28 hari menggunakan satu bagian dari dua pecahan prisma yang rusak sesuai dengan BS EN 196-1: 2011 dengan menggunakan alat uji kuat tekan yaitu *Compression Testing Machine* (CTM) sesuai dengan ASTM C 39/C 39M.

Pertama-tama mengambil dan menimbang benda uji beton. Kemudian, meletakkan benda uji pada mesin uji tekan secara sentris kemudian menghidupkan mesin uji dengan kecepatan penambahan beban yang konstan berkisar antara 0,15 -0,34 MPa per detik. Melakukan pembacaan pembebanan pada kondisi beton hancur (dalam satuan kN). Hasil kuat tekan benda uji dicatat saat jarum penunjuk kuat tekan mencapai nilai tertinggi. Berikut ini adalah cara untuk mencari besarnya kuat tekan beton sesuai dengan SNI 03-1974-1990, yaitu dengan menggunakan rumus:

$$f'_{c_k} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f'_{c_k} = kuat tekan kubus (MPa)

P = beban yang dipikul pada saat runtuh (N)

A = luas penampang silinder/kubus (mm)

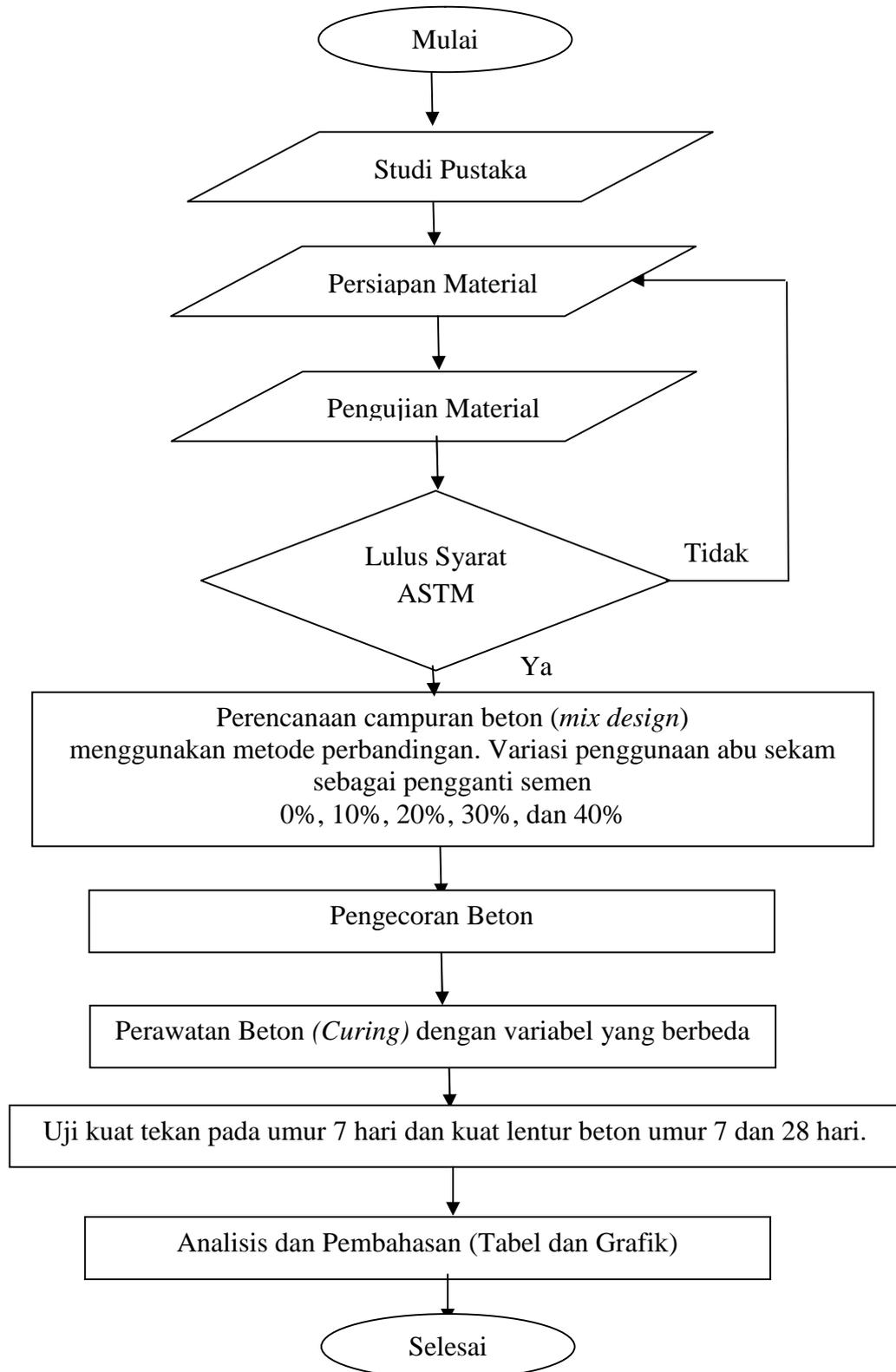
3.6. Analisis Hasil Penelitian

Analisis hasil dari penelitian ini dilakukan dengan cara:

- Menghitung kuat tekan beton, kuat tarik lentur dengan menggunakan rumus yang ada lalu disajikan dalam bentuk tabel.
- Mengetahui ada tidaknya pengaruh dari variabel perawatan beton yang digunakan terhadap hubungan antara perkembangan kekuatan beton pada umur 7 dan 28 hari dengan penggantian sebagian semen dengan *rice husk ash* di dalamnya.
- Mengetahui persentase optimum yang menghasilkan beton RPC dengan kekuatan maksimum.

3.7. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini secara keseluruhan, yaitu:



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi akan meningkatkan kuat tekan :
 - a. Pada perawatan pemanasan dengan oven menghasilkan kuat tekan beton tertinggi terjadi pada beton dengan kadar abu sekam padi 10%, yaitu 49,23 MPa pada umur 7 hari dan sebesar 52.35 MPa pada umur 28 hari.
 - b. Pada perawatan *steam* 30% menghasilkan kuat tekan beton yang optimum yaitu sebesar 37,544 MPa pada umur 7 hari, dan 54,44 MPa pada umur 28 hari.
 - c. Pada perawatan perendaman dalam air menghasilkan kuat tekan optimum pada kondisi 30% yaitu sebesar 34,17 MPa pada umur 7 hari, dan 49,85 MPa pada umur 28 hari.
2. Kuat lentur beton optimal terjadi pada kondisi 10% dengan perawatan metode penguapan yang menghasilkan kuat lentur beton sebesar 16.48 MPa. Pada perawatan pemanasan menghasilkan kuat lentur sebesar 10.83 MPa, sedangkan untuk perawatan perendaman menghasilkan kuat lentur sebesar 10.23 MPa.

3. Perawatan yang paling optimal untuk menghasilkan kuat tekan optimal adalah perawatan dengan metode penguapan pada kondisi 30% . Metode penguapan banyak digunakan untuk perawatan beton pracetak. Dari hasil pengujian kuat lentur, abu sekam padi yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen pada beton berkisar 10% dari berat semen.
4. Konversi kuat tekan ke kuat lentur mortar berdasarkan persamaan ($f_r = 0.7 \sqrt{f_c'}$) tidak lagi berlaku untuk mortar dengan campuran abu sekam. Untuk konversi kuat tekan ke kuat lentur digunakan persamaan ($f_r = 0.546 \sqrt{f_c'}$)

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Pada saat persiapan material sebaiknya dilakukan ketelitian yang tinggi terhadap material yang akan digunakan. Agar proses penelitian tidak terjadi kegagalan pada proses pencampuran material.
2. Pada tahap pengecoran sebaiknya dilakukan dengan menggunakan *mixer* khusus pengaduk mortar sesuai dengan *Brithis Standard* .
3. Pada proses pelaksanaan ada baiknya menggunakan alat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) yang lengkap dikarenakan limbah abu sekam padi merupakan butiran halus yang dapat membahayakan.
4. Perlu ketelitian yang baik saat proses perawatan beton (*curing*) agar kekuatan betonpun terjaga dengan baik.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap variasi kadar optimum abu sekam padi dengan cara memperkecil *range* sehingga mendapatkan kadar optimum yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committe 211. 1993. *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash. Reapproved 1998*, Detroit. 13 hlm.
- ACI Committe 318. 1995. *Building Code Requirements For Reinforced Concrete Institute. Farmington Hills*. 373 hlm.
- ACI Committe 363. 1992. *State of The Art Report on High-Strength Concrete. Reapproved 1997*, Detroit. 55 hlm.
- BS EN 196-1:2005. *Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength*.
- BS EN 196-5:2011. *Methods of testing cement. Part 5: Pozzolanicity test for pozzolanic cement*.
- Alkhaly, Yulius Rief. 2013. *Reactive Powder Concrete dengan sumber silika dan dari limbah bahan organik*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik. Universitas Malikussaleh.
- Amaria. 2012. *Adsorpsi Ion Sianida dalam Larutan Menggunakan Adsorben Hibrida Aminopropil Silika Gel dari Sekam Padi Terimpregnasi*. Jurnal Manusia dan Lingkungan. 19, 1. 56-65.
- Anıl, S., Yazıcı, H., Yig, H., & Baradan, B. (2008). *Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete*, 87, 2401–2407.
- Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02. 2001. *Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken PA*.
- Asia, N. 2014. *Pengaruh Penambahan Natrium Klorida (NaCl) Terhadap Waktu Ikut, Kuat tekan Mortar dan Pasta*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanudin. Makassar.
- ASTM C 1611/C 1611M – 05. *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*.

- Blais, P. Y. & Couture, M. 1999. *Precast, Prestressed Pedestrian Bridge: World's First Reactive Powder Concrete Structure*. PCI Journal, 44(5): 60–71.
- Bonneau, O., Poulin, C., Jr., Dugat, M., Aitcin, P., R. (1996), *Reactive Powder Concretes: From Theory to Practice*, International Concrete Research & Information Portal, ACI, Vol. 18, Issue 4, pp. 47 – 49.
- Dallaire, E., Aitcin, P.C., dan Lachemi, M., (1998) : *High Performance Powder, Author Affiliation*, University of Sherbrooke Source, Civil Engineering (New York), Vol. 68, No.1, Jan, ASCE, Reston, VA, USA, pp. 48 – 51.
- Dardjo Sumaatmadja. (1985). *Sekam Gabah Sebagai Bahan Industri*. Makasar: Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Banjar Baru.
- Edi Soenarjo, Djoko S. Damardjati, dan Mahyuddin Syam. (1991). Padi Buku 3. Bogor: Badan Penelitian dan pengembangan Pertanian
- Fikkriansyah & Tanzil, G., 2013. Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Semen dengan w/c 0,60 dan 0,65". *Teknik Sipil dan Lingkungan*,
- Helmi, M., Hall, M. R., & Rigby, S. P. (2018). *Effect of Pressure and Heat Treatment on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete*. MATEC web of conferences 147.01006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814701006>.
- Helmi, M., Hall, M. R., Stevens, L. A., & Rigby, S. P. (2016). *Effects of high-pressure / temperature curing on reactive powder concrete microstructure formation*. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 105, 554–562. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.147>
- Joddy Arya Laksmono dan Nova Ardiyanto. (1999). *Pengambilan SiO₂ dari Abu Sekam Padi dengan Proses Leaching*. Semarang: Laporan Penelitian, Jurusan Kimia UNDIP
- Kamath, S., & Proctor, A., 1998, *Silica Gel from Rice Hull Ash, Preparation and Characterization*, *Cereal Chemistry*, 75(4), 484 – 487.
- Kartini. K, 2011. RICE HUSK ASH – POZZOLANIC MATERIAL FOR SUSTAINABILITY. Faculty of Civil Engineering Universiti Teknologi MARA 40450 Shah Alam, Selangor Malaysia. Vol. 1 No. 6
- Louis, L.M.A., 2010, *Strength of Reactive Silica Sand Powder Concrete Made of Local Powders*, *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, Vol. 3 No. 3, pp. 234-243.
- Rebentrost, M. B. Cavill, *Reactive Powder Concrete Bridge*, AustRoads Conference, 2006, pp. 1–11.

- Matte, V., and Moranville, M., 1999, *Durability of Reactive Powder Composites: influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes*, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, pp. 1-9.
- Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Neville, A.M. dan Brooke, J.J. 1987. *Concrete Technology*. Longman Scientific & Technical, London.
- Pratikto. 2009. *Diktat Konstruksi Beton I*. Depok :Politeknik Negeri Jakarta
- Qijun Yu., Sawayama, K., Sugita, S., Shoya, M., Isojima, Y., *The reaction between ricehusk ash and Ca(OH)₂ solution and thenature of its product*, *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 29 (1), 1999, pp. 37– 43.
- Ramanuddin, M. Abdian, & Herbudiman, Bernadius. 2010. *Pengaruh Kehalusan Kadar Abu Sekam Padi Pada Kekuatan Beton dengan Kuat Tekan 50 MPa*. Sanur- Bali.
- Richard, P., Cheyrezy, M., Bouygues, S. D., & Quentin, S. (1995). (Refereed) (Received January 5: in final form April 12.1995), *25(7)*, 1501–1511.
- Ryan, W.G. 1992. *Australian Concrete Technology*. Longman Cheshire, Melbourne.
- Sebayang, S. 2001. *Pengaruh Temperatur Perawatan Terhadap Kuat Tekan Abu Terbang Mutu Tinggi*. Prosiding Hasil Penelitian Dosen Unila.
- Sebayang, S. 2003. *Pengaruh Silika Fume terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Perawatan Uap*. Laporan Penelitian. Fakultas Teknik Unila.
- Tam, C. M., Tam, V. W. Y., & Ng, K. M. (2010). *Optimal conditions for producing reactive powder concrete*, *16(10)*, 701–716. <https://doi.org/10.1680/macr.2010.62.10.701>
- SNI 03-1974-1990. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 17 hlm.
- SNI 03-6815-2002. 2002. *Tata Cara Mengevaluasi Hasil Uji Kekuatan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 32 hlm.
- SNI 15-2049:2004. 2004. *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 132 hlm.
- SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 265 hlm.

SNI Pd T-04-2004-C. 2004. *Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung. 13 hlm.

Yazıcı, H., Yardımcı, M. Y., Aydın, S., & Karabulut, A. . (2009). *Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes*. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1223–1231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.003>.