

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *FLY ASH*
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP
KUAT TEKAN BETON PADA *CURING*
AIR LAUT DAN AIR TAWAR**

”Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Bung Hatta”

OLEH :

NAMA : VARLIS JANRAMADANTA
NPM : 1710015211003



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG
2023**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *FLY ASH* SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA *CURING* AIR LAUT DAN AIR TAWAR

Oleh:

Nama : Varlis Janra Madanta

NPM : 1710015211003

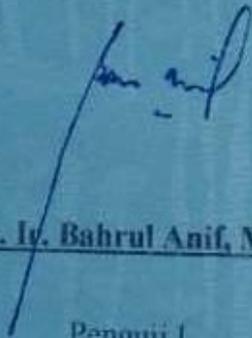
Program Studi : Teknik Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam ujian komprehensif guna mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta – Padang.

Padang, 21 Feb 2023

Menyetujui:

Pembimbing I



(Dr. Ir. Bahrul Anif, M.T)

Penguji I



(Dr. Ir. Lusi Utama, M.T)

Pembimbing II



(Rita Angraini, S.T., M.T)

Penguji II



(Evince Oktarina, S.T., M.T)

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *FLY ASH* SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA *CURING AIR LAUT* DAN AIR TAWAR

Oleh:

Nama : Varlis Janra Madanta

NPM : 1710015211003

Program Studi : Teknik Sipil

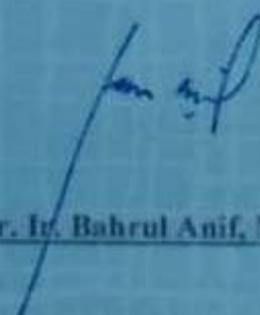
Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam ujian komprehensif guna mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta – Padang.

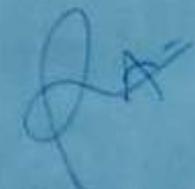
Padang, 21 Feb 2023

Menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II


(Dr. Ir. Bahrul Anif, M.T.)


(Rita Anggraini, S.T., M.T.)

Dekan FTSP

Ketua Program Studi



(Prof. Dr. Ir. H. Nasfryzal Carlo, M.Sc., IPM)


(Indra Khaidir, S.T., M.Sc.)

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *FLY ASH* SEBAGAI SUBSTITUSI
SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA *CURING*
AIR LAUT DAN AIR TAWAR**

Varlis Janra Madanta¹, Bahrul Anif², Rita Angraini³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung
Hatta, Padang

Email: varlisjanramadanta@gmail.com^[1], bahrulanif@bunghatta.ac.id^[2],
rita.anggraini@bunghatta.ac.id^[3]

ABSTRAK

Fly ash merupakan abu batu bara yang dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen karena memiliki sifat fisik dan kimiawinya sama seperti semen dan digunakan dalam pembuatan beton dengan menggunakan *curing* air laut dan air tawar. Tujuan penelitian ini untuk Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *fly ash* sebagai material substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton *curing* air laut dan air tawar. Beton dicetak menggunakan silinder berukuran tinggi 30 cm dengan diameter 15 cm. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton substitusi 0%, 10%, 15%, 20% dengan *curing* air tawar adalah 30,007 Mpa, 36,575 Mpa, 37,481 Mpa, 33,744 Mpa sedangkan dengan *curing* air laut adalah 29,328 Mpa, 34,763 Mpa, 35,839 Mpa, 32,408 Mpa. Jadi *Fly Ash* sebagai substitusi sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 25 % pada substitusi 15 % *Fly ash*. Dan dikarenakan adanya kandungan klorida (cl) sebanyak 63,921% maka pada *curing* air laut terjadi penurunan.

Kata Kunci: Fly Ash, *curing*, Beton.

Pembimbing I



Dr. Ir. Bahrul Anif, M.T

Pembimbing II



Rita Angraini, S.T., M.T

EFFECT OF ADDITION OF FLY ASH WASTE AS A SUBSTITUTION OF CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE IN SEA AND FRESH WATER CURE

Varlis Janra Madanta¹, Bahrul Anif², Rita Anggraini³

Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil Engineering and Planning, Bung Hatta University, Padang

Email: varlisjanramadanta@gmail.com^[1], bahrulanif@bunghatta.ac.id^[2], rita.anggraini@bunghatta.ac.id^[3]

ABSTRACT

Fly ash is coal ash which can be used as a partial substitute for cement because it has the same physical and chemical properties as cement and is used in the manufacture of concrete by using seawater and fresh water curing. The purpose of this study was to determine the effect of using fly ash waste as a partial substitution material for cement on the compressive strength of seawater and fresh water cured concrete. Concrete is printed using a cylinder measuring 30 cm high and 15 cm in diameter. Tests were carried out at the age of 7, 14 and 28 days. The compressive strength test results of substitution concrete 0%, 10%, 15%, 20% with fresh water curing were 30.007 Mpa, 36.575 Mpa, 37.481 Mpa, 33.744 Mpa while with seawater curing were 29.328 Mpa, 34.763 Mpa, 35.839 Mpa, 32.408 Mpa . So Fly Ash as a partial substitution of cement can increase the compressive strength of concrete by 25% in 15% Fly ash substitution. And due to the presence of a chloride (cl) content of 63.921%, the seawater curing decreased.

Keywords: *Fly Ash, curing, Concrete.*

Advisor I



Dr. Ir. Bahrul Anif, M.T

Advisor II



Rita Anggraini, S.T., M.T

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, berkat karuniaNya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Penambahan Limbah Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Curing Air Laut Dan Air Tawar”**. ini ditujukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas Bung Hatta, Padang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

- 1) Allah SWT, karena dengan berkat dan anugerah-Nya saya dapat menyelesaikan Proposal ini.
- 2) Yang teristimewa Ayahanda **“Arlis”** dan Ibunda **“Itasmawati”** tercinta, berkat doa serta kasih sayang yang tulus dan ikhlas memberikan semangat, motivasi, serta dukungan moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Dan kepada kedua saudariku **“Gusdian Silra Anita”** dan **“Leryan Silra Anita”** yang selalu memberi semangat.
- 3) Bapak **Dr. Ir. Bahrul Anif, M.T** selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu **Rita Anggraini, S.T., M.T** selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- 4) Ibu **Dr. Ir. Lusi Utama, M.T** selaku Penguji I dan Ibu **Evince**

Oktarina, S.T., M.T selaku Penguji II yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.

- 5) Bapak **Prof. Dr. Ir.H. Nasfryzal Carlo M.Sc., IPM.** selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta.
- 6) Bapak **Indra Khaidir S.T., M.Sc.**, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Bung Hatta.
- 7) Ibu **Rita Anggraini, S.T., M.T** selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil.
- 8) Kepada orang spesial **Dara Silvana Amalia** yang telah memotivasi dan memberi semangat kepada saya dalam membuat laporan ini.
- 9) Kepada Bapak **Willy** angkatan 87, Bang **Fajar** dan Bang **Wandi** saya ucapkan terimakasih atas arahan dan bimbingan dan masukan selama saya melakukan penelitian di PT.STATIKA MITRA SARANA.
- 10) Kepada **Yudi, Jiro, Dande, Kiwan dan Dicky Chandra** saya ucapkan terima kasih atas pertolongan dalam melakukan penelitian saya sehingga penelitian saya ini dapat diselesaikan dengan baik.
- 11) Rekan-rekan mahasiswa/I **Teknik Sipil Angkatan 2017**, Senior, junior dan berbagai pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per- satu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Padang, 09 Januari 2022

Penulis

VARLIS JANRAMADANTA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.3 Maksud dan Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Beton	6
2.1.1 Sifat-Sifat Beton	6
2.1.2 Material Pembentuk Beton.....	12
2.2 Fly Ash.....	19
2.2.1 Pengertian Fly Ash	19
2.2.2 Perbandingan Fly Ash dan Semen Portland	21
2.2.3 Pemanfaatan <i>Fly Ash</i>	22
2.2.4 High Volume Fly Ash (HVFA).....	24
2.3 Air Laut	25
2.3.1 Komposisi Kimia Air Laut	25
2.3.2 Pengaruh Kimia Air Laut Terhadap Beton.....	26
2.4 Perawatan Beton.....	27

2.4.1 Proses Perawatan (<i>curing</i>).....	29
2.4.2 Jenis Perawatan (<i>curing</i>) beton.....	30
2.5 Perawatan Beton Dengan Air Laut.....	31
2.6 Kuat Tekan Beton	31
2.6.1 Kuat Tekan Beton (<i>fc</i>).....	35
2.6.1.1 Slump	40
2.6.1.2 Faktor Air Semen	40
2.7 Penelitian Sebelumnya	41
BAB III METODE PENELITIAN	44
3.1 Metode Pengujian Bahan.....	44
3.2 Benda Uji	46
3.3 Alat dan Bahan.....	47
3.3.1 Alat	47
3.3.2 Bahan	47
3.3.2.2 Limbah <i>Fly Ash</i>	47
3.4 Prosedur Pembuatan Benda Uji Beton.....	65
3.4.1 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	65
3.4.2 Proses Pembuatan Benda Uji.....	77
3.4.3 Pemeriksaan Nilai Slump Beton	79
3.4.4 Pekerjaan Perawatan (<i>Curing</i>) Beton	81
3.4.5 Pengujian Kuat Tekan Beton	81
3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	82
3.6 Pembahasan dan Analisis.....	84
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN.....	85
4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat.....	85
4.1.1 Hasil Pengujian Kadar Lumpur dan Kadar Air Agregat Halus	85

4.1.2 Hasil Pengujian Kadar Lumpur dan Kadar Air Agregat Kasar	86
4.1.3 Hasil Pengujian Kadar Organik Pada Agregat Halus	87
4.1.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	87
4.1.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	88
4.1.6 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	89
4.1.7 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	90
4.1.8 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus	91
4.1.9 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar	93
4.1.10 Resume Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	95
4.2 Pembahasan Hasil Pengujian Karakteristik Agregat.....	96
4.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	96
4.2.3 Pembahasan Hasil Pengujian Kadar Organik Agregat Halus.....	97
4.2.4 Pembahasan Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	98
4.2.5 Pembahasan Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	99
4.2.6 Pembahasan Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	99
4.2.7 Pembahasan Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	100
4.2.8 Pembahasan Hasil Pengujian Analisa Agregat Halus	101
4.2.9 Pembahasan Hasil Pengujian Analisa Agregat Kasar	101
4.3 Perhitungan Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	102
4.4 Pengukuran Nilai Slump	111
4.4.1 Pemeriksaan Nilai Slump	111
4.4.2 Pembahasan Nilai Slump.....	112
4.6 Hasil Pemeriksaan Kimia Pada Air Laut	112
4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton	113

4.5.2 Hasil pembahasan hasil pengujian kuat tekan beton	124
BAB V PENUTUP	126
5.1 KESIMPULAN	126
5.2 SARAN	127
DAFTAR PUSTAKA	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kuat Desak (Tekan) Beton yang Dikeringkan dalam Udara di Laboratorium Sesudah Perawatan Awal dengan Membasahinya (Murdock dan Brook, 1986).....	29
Gambar 2. 2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Beton	33
Gambar 2. 3 Kerucut Abrams (SNI 1972-2008).....	38
Gambar 2. 4 Jenis-Jenis <i>Slump</i>	39
Gambar 3. 1 Bagan Alir Metode Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji.....	45
Gambar 3. 2 Penentuan Kadar Lumpur dan Kadar Air Agregat Halus Cara Laboratorium	50
Gambar 3. 3 Penentuan Kadar Organik Agregat Halus Cara Laboratorium	51
Gambar 3. 4 Penentuan Berat Jenis Agregat Halus Cara Laboratorium	54
Gambar 3. 5 Penentuan Bobot Isi Agregat Halus Cara Laboratorium	55
Gambar 3. 6 Penentuan Analisa Saringan Agregat Halus Cara Laboratorium.....	57
Gambar 3. 7 Penentuan Kadar Air dan Kadar Lumpur Agregat Kasar Cara Laboratorium	59
Gambar 3. 8 Penentuan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Cara Laboratorium	61
Gambar 3. 9 Penentuan Bobot Isi Agregat Kasar Cara Laboratorium	62
Gambar 3. 10 Penentuan Analisa Saringan Agregat Kasar Cara Laboratorium.....	64
Gambar 3. 11 Proses Penumbukkan Beton Pada Kerucut Abram.....	80
Gambar 3. 12 Pengujian Nilai <i>Slump</i>	81
Gambar 4. 1 Pengukuran Tinggi <i>Slump</i>	112
Gambar 4. 2 Pengujian Kuat Tekan Beton	123
Gambar 4. 3 Pengujian Kuat Tekan Beton	123
Gambar 4. 4 Beton Setelah Uji Kuat Tekan	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya	8
Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya	10
Tabel 2. 3 Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> (ASTM C618, 2003)	20
Tabel 2. 4 Perbandingan Sifat Fisik <i>Fly Ash</i> dan Semen Portland	21
Tabel 2. 5 Perbandingan Sifat Kimiawi <i>Fly Ash</i> dan Semen Portland	22
Tabel 2. 6 Daftar Konversi Benda Uji	33
Tabel 2. 7 Rasio Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur	36
Tabel 2. 8 Faktor Kemudahan Kerja Terhadap Jenis Konstruksi	39
Tabel 2. 9 Nilai <i>Slump</i> Untuk Berbagai Pekerjaan Beton.....	40
Tabel 3. 1 Tabel Jumlah Benda Uji	46
Tabel 3. 2 Gradasi Standar Agregat Halus	57
Tabel 3. 3 Gradasi Standar Agregat Kasar	64
Tabel 3. 4 Perkiraan Kuat Tekan (Mpa) Beton Dengan Faktor Air Semen.....	65
Tabel 3. 5 Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum	67
Tabel 3. 6 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³)	68
Tabel 4. 1 Data Kadar Lumpur Agregat Halus	85
Tabel 4. 2 Data Kadar Air Agregat Halus	85
Tabel 4. 3 Data Kadar Lumpur Agregat Kasar	86
Tabel 4. 4 Data Kadar Air Agregat Kasar	87
Tabel 4. 5 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	88
Tabel 4. 6 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	89
Tabel 4. 7 Data Berat Isi Agregat Halus	90
Tabel 4. 8 Data Berat Isi Agregat Kasar	90
Tabel 4. 9 Data Analisa Saringan Agregat Halus	92
Tabel 4. 10 Data Analisa Saringan Agregat Kasar	94
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus.....	95
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar.....	96
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	96
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	97
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	98

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	99
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	99
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	100
Tabel 4. 19 Nilai Devisiasi Standar Untuk Tingkat Pengendalian Mutu.....	102
Tabel 4. 20 Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum	104
Tabel 4. 21 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³).....	105
Tabel 4. 22 Tabel Perhitungan <i>Mix Design</i>	109
Tabel 4. 23 Kebutuhan 1m ³ Campuran Beton	110
Tabel 4. 24 Kebutuhan Untuk 1 Benda Uji Beton (0.0053 m ³).....	110
Tabel 4. 25 Hasil Pengukuran Nilai Slump	111
Tabel 4. 26 Hasil kandungan air laut	113
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Curing Air Tawar.....	116
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal Curing Air Laut.....	113
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 10 % Limbah <i>fly ash</i> Curing Air Tawar	114
Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 10 % Limbah <i>fly ash</i> Curing Air Laut	115
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15 % limbah <i>fly ash</i> Curing Air Tawar	113
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15 % Limbah <i>fly ash</i> Curing Air laut	118
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 20 % Limbah <i>fly ash</i> Curing Air Tawar	119
Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 20 % Limbah <i>fly ash</i> Curing Air Laut	120

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3. 1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen.....	67
Grafik 3. 2 Grafik Batas Gradasi Pasir Kasar.....	70
Grafik 3. 3 Grafik Batas Gradasi Pasir Sedang	70
Grafik 3. 4 Grafik Batas Gradasi Pasir Agak Halus	71
Grafik 3. 5 Batas Gradasi Pasir Halus	71
Grafik 3. 6 Grafik Batas Gradasi Kerikil Atau Koral Ukuran 10 mm.....	72
Grafik 3. 7 Grafik Batas Gradasi Kerikil Atau Koral Ukuran 20 mm.....	72
Grafik 3. 8 Grafik Batas Gradasi Kerikil Atau Koral Ukuran 40 mm.....	73
Grafik 3. 9 Grafik Persen Pasir Ukuran Butir Maksimum 10 mm	74
Grafik 3. 10 Grafik Persen Pasir Ukuran Butir Maksimum 20 mm	74
Grafik 3. 11 Grafik Persen Pasir Ukuran Butir Maksimum 40 mm	75
Grafik 3. 12 Grafik Hubungan Berat Isi, Kadar Air Bebas dan BJ SSD.....	76
Grafik 4. 1 Grafik Hasil Analisa Saringan Agregat Halus.....	93
Grafik 4. 2 Grafik Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar	95
Grafik 4. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)	103
Grafik 4. 4 Grafik Gradasi Pasir Sedang	106
Grafik 4. 5 Grafik Persen Pasir Ukuran Butir Maksimum 20 mm	106
Grafik 4. 6 Nilai Slump.....	111
Grafik 4. 7 Grafik Rekap Pengujian Kuat Tekan Beton.....	121
Grafik 4. 8 Grafik Rekap Pengujian Kuat Tekan Beton.....	121
Grafik 4. 9 Grafik Kuat Tekan Beton	122
Grafik 4. 10 Grafik Kuat Tekan Beton	123
Grafik 5. 1 Grafik Kuat Tekan Beton.....	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi pembangunan di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat. Di dalam Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian RI Nomor 7 Tahun 2021 tentang Perubahan Daftar Proyek Strategis Nasional, terdapat 208 proyek dan 10 program PSN 2020-2024. Dengan meningkatnya pembangunan konstruksi ini akan meningkatkan permintaan terhadap produksi beton, hal ini dikarenakan beton merupakan material yang paling sering digunakan. Beton dipilih karena banyaknya keunggulan bila dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya. Selain karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, beton juga tidak membutuhkan biaya yang besar serta proses pembuatannya dapat dikatakan mudah. Hal inilah yang menjadi sebab mengapa beton menjadi pilihan pertama sebagai bahan konstruksi. Meningkatnya kebutuhan beton untuk pekerjaan konstruksi dapat menyebabkan produksi salah satu material penyusun beton yaitu semen juga akan mengalami peningkatan semen dalam campuran adukan beton sangat dibutuhkan sebagai perekat material-material lainnya yang dihasilkan dari proses hidrasi semen.

Proses produksi semen mengakibatkan peningkatan emisi gas karbon dioksida (CO₂). Berdasarkan data UNEP, pabrik semen dunia memberikan kontribusi emisi gas rumah kaca sebesar 11,73% dari total 35,8 Gigaton pada tahun 2016 (UNEP, 2017).

Dalam produksi semen tersebut akan melepaskan gas CO₂ ke udara. Untuk mengurangi dampak emisi CO₂ terhadap lingkungan karena produksi semen, maka dapat digunakan bahan material lain dalam campuran adukan beton agar penggunaan semen menjadi berkurang salah satunya dengan menggunakan campuran mineral sebagai pengganti sebagian semen. Ada banyak bahan campuran yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Salah satunya yang dapat digunakan adalah *fly ash*. Adapun salah satu cara untuk mengurangi pemakaian semen dengan menggunakan material substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash* secara signifikan adalah

dengan menggunakan teknologi High Volume *Fly Ash Concrete* (HVFA). HVFA merupakan beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan oleh *fly ash*.

Fly ash bisa digunakan sebagai substitusi sebagian semen karena adanya kemiripan sifat dari *fly ash* dengan semen yaitu sifat fisik dan sifat kimiawinya yang tercantum dalam tabel 2.4 dan 2.5. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya. Menurut ACI Committee 226, *fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili micron) 5 – 27% dengan specific gravity antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. (Setiawati, 2018)

Fly ash merupakan sisa hasil dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik atau dapat dikatakan sebagai limbah batu bara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa FABA (*fly ash* and *bottom ash*) merupakan limbah bahan beracun, berbahaya dan dapat dimanfaatkan. Pada tahun 2021 pemerintah memperkirakan terdapat 17 juta ton FABA yang dihasilkan dan diperkirakan mencapai 49 juta ton pada tahun 2050. Untuk memanfaatkan limbah dari hasil pembakaran batu bara ini, *fly ash* dapat digunakan sebagai material pengganti sebagian semen pada campuran beton. (Ngudiono et al., 2022)

Fly ash sendiri termasuk kedalam jenis bahan pozzolan berbasis silika. Bahan *pozzolan* sendiri memiliki arti bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina yang tidak mempunyai kemampuan mengikat seperti halnya semen akan tetapi ketika dalam bentuk halus dan bereaksi dengan hasil dari proses hidrasi semen akan membuat kualitas campuran adukan beton itu menjadi meningkat. Hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki ukuran yang sangat halus sehingga dapat membuat adukan campuran beton menjadi lebih padat. Oleh karena itu, *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan material pengganti sebagian semen dalam campuran beton sebagai pengisi (*filler*). Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton didapatkan hasil bahwa *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan beton dengan persentase 60 %. Dari beton normal (Setiawati, 2018).

Dalam pembuatan beton, ada hal – hal yang berpengaruh terhadap kekuatan

(*durability*) beton, salah satunya adalah perawatan (*curing*). Perawatan (*curing*) beton yang baik umumnya menggunakan air bersih (air yang tidak mengandung kandungan kimia yang dapat merusak beton). Akan tetapi dalam proses pembuatan bangunan beton di daerah pantai, kontak dengan air laut terkadang tidak dapat dihindari sehingga tentunya akan mempengaruhi kekuatan beton. Di sisi lain keterbatasan pasokan air tawar pun kadang menjadi masalah bagi proyek – proyek yang berada di daerah lepas pantai dan laut. Jarak yang jauh antara lokasi proyek dengan sumber air bersih menyebabkan pasokan air bersih menjadi terhambat, Berdasarkan pengamatan lokasi proyek yang ada di sekitaran pantai terkadang proses *curing* dengan air laut pun dimungkinkan, sambil menunggu pasokan air bersih tiba di lokasi proyek. Selain itu, air laut terdiri dari campuran 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam, bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut (Idris et al., 2018). Berdasarkan hal tersebut memungkinkan air laut sebagai alternative curing (perawatan) pada beton.

Oleh karna itu banyaknya penelitian menggunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dan *curing* air laut, mendorong penulis untuk meneliti *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dengan persentase sibtitusi yang berbeda yaitu sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% dan memakai perawatan air tawar dan air laut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *fly ash* pada beton terhadap kuat tekan beton curing air laut?
2. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *fly ash* pada beton terhadap kuat tekan beton curing air tawar?
3. Berapa besar persentase penambahan limbah *fly ash* untuk mendapatkan kuat tekan beton maksimum?

1.3 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar pengaruh limbah *Fly Ash* terhadap campuran beton baik itu secara kualitas maupun kuat tekan terhadap beton itu sendiri dengan curing air laut dan air tawar.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *fly ash* sebagai material substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton *curing* air tawar.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah *fly ash* sebagai material substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton *curing* air laut.
3. Mengetahui komposisi terbaik dari kuat tekan beton dengan menggunakan material eksperimen.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Mutu beton yang direncanakan adalah 25 Mpa.
2. Benda uji yang dipakai yaitu beton dengan bentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Curing menggunakan air laut dan air tawar.
4. Bahan material yang digunakan adalah :
 - a. Semen Type I produksi dari PT.Semen Padang.
 - b. Agregat kasar berasal dari batu pecah Alahan Panjang.
 - c. Agregat halus berasal dari Padang Sawah.
 - d. Air bersih berasal dari PT.Statika Mitra Sarana.
5. Limbah *fly ash* diambil dari PLTU Ombilin Sawahlunto.
6. Variasi *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen sebanyak 4 varian yaitu 0% *fly ash*, 10 % *fly ash*, 15 % *fly ash*, dan 20 % *fly ash*.
7. Dengan durasi pengujian perawatan beton 7 hari, 14 hari, 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengurangi pemakaian semen pada campuran beton.
2. Untuk mengetahui seberapa efisien limbah *fly ash* untuk bahan campuran beton.

3. Sebagai referensi bagi peneliti lain tentang pengaruh penggunaan limbah *fly ash* terhadap kuat tekan beton.
4. Mendapatkan beton yang lebih murah.
5. Untuk mendapatkan mutu beton yang lebih baik lagi.
6. Meminimalisir dampak kerusakan lingkungan akibat limbah *fly ash* yang tidak berguna.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi V bab. Secara garis besar sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini akan di bahas tentang latar belakang pemilihan judul, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dibahas mengenai landasan teori dan dasar – dasar dari pelaksanaan penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab menjelaskan Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian dimulai dari waktu dan tempat pelaksanaan, metode pengambilan data, bahan dan peralatan yang digunakan serta prosedur penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai pengujian material penyusun beton, pembuatan benda uji, serta pengujian kuat tekan terhadap curing air laut dan air tawar.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini merupakan bab terakhir dari penelitian yang berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil yang telah diteliti oleh penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2013 beton adalah campuran semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan.

2.1.1 Sifat-Sifat Beton

Sifat penting yang perlu diketahui pada beton segar (adukan beton yang belum mengeras) menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2002) antara lain:

2.1.1.1 Keleccakan Beton Segar

Keleccakan yaitu kekentalan beton segar, antara cair dan padat. Pada beton segar penting dipelajari karena merupakan ukuran kemudahan pekerjaan (*workability*) yaitu mudah dipadatkan dan mudah dialirkan.

Secara umum, dapat dikatakan bahwa biasanya semakin encer beton segar maka semakin mudah beton segar tersebut dikerjakan. Untuk mengukur tingkat keleccakan (cair atau kental) beton segar telah banyak cara yang dapat dilakukan, salah satu cara tersebut ialah cara uji *slump*. Cara ini sangat populer karena alatnya sederhana dan mudah mengerjakannya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keleccakan beton segar antara lain:

1. Jumlah air.

Makin banyak air yang dipakai maka makin encer beton segar.

2. Jumlah pasta (semen dan air).

Makin banyak pasta makin encer beton segar. Penambahan pasta (dengan FAS tetap) biasanya dilakukan agar adukan bertambah encer namun nilai FAS (berat air dibagi berat semen) tetap, sehingga kuat tekan betonnya tidak

turun. Oleh karena itu, maka penambahan jumlah pasta dengan FAS tetap lebih baik dari pada penambahan air yang merubah FAS.

3. Gradasi agregat (campuran agregat halus dan agregat kasar).

Bila gradasi campuran agregat halus dan agregat kasar mengikuti gradasi agregat campuran yang disarankan oleh standar (Perencanaan Campuran dan Pengendalian Mutu Beton, 1994) maka adukan beton akan mempunyai gradasi agregat campuran selalu memenuhi standar.

4. Bentuk butiran agregat.

Pemakaian butir-butir batuan yang bulat (kerikil) tampak lebih encer sehingga lebih mudah dikerjakan dari pada butir agregat yang bersudut (batu pecah/ split)

5. Besar butir maksimum agregat .

Besar butir maksimum agregat umumnya sebesar 40 mm atau 20 mm. Namun jika perlu (kondisi khusus) terpaksa harus dipakai maksimum 10 mm, dan khusus untuk beton massa boleh dipakai maksimum 75 mm atau 150 mm. Pemakaian butir maksimum agregat yang lebih besar tampak lebih encer sehingga lebih mudah dikerjakan dari pada butir maksimum yang lebih kecil.

2.1.1.2 Pemisahan Agregat Kasar Dari Campuran (*Segregation*)

Pemisahan agregat kasar ini tidak dikehendaki karena menjadikan beton tidak homogen. Kecenderungan pemisahan agregat ini dapat dikurangi dengan:

1. Memperbanyak pemakaian semen *Portland*
2. Mengurangi jumlah air
3. Memperkecil ukuran maksimum butir agregat kasar
4. Menggunakan agregat kasar yang bidang permukaannya lebih halus
5. Memperkecil tinggi jatuh adukan saat penuangan (kurang dari 1 meter)

2.1.1.3 Pemisahan Air Dari Campuran (*Bleeding*)

Setelah beton segar dituang dalam cetakan dan dipadatkan, maka beton segar dibiarkan mengeras. Selama beberapa menit sesudah dipadatkan, ada kecenderungan air campuran dalam beton segar untuk naik ke atas (memisahkan diri), ke permukaan beton segar. Peristiwa ini disebut *bleeding*. Pemisahan air ini tidak diinginkan karena air naik ke atas sambil membawa semen dan butir-butir

halus pasir, yang pada akhirnya setelah beton mengeras akan tampak sebagai lapisan selaput tipis. Lapisan tipis ini akan menghalangi retakan antara beton di bawahnya dan lapisan beton di atasnya jika dilakukan pengecoran berikutnya. Pada dinding beton yang dipakai untuk menahan air misalnya dinding basement, lapisan ini akan menjadi tempat lewatnya air (bocor)

Kecenderungan pemisahan air ini dapat dikurangi dengan cara-cara berikut:

1. Memberikan lebih banyak semen *Portland*
2. Menggunakan air sedikit mungkin
3. Menggunakan lebih banyak butiran Agregat halus.

2.1.1.4 Kekuatan Beton

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat lain juga baik (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

Tabel 2. 1 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (Mpa)
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 sangat tinggi	> 80 Mpa

(Sumber: SNI 2008)

Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton antara lain:

1. Umur beton

Kuat tekan beton bertambah tinggi dengan bertambahnya umur (sejak beton dicetak). Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, semakin melambat setelah berumur 28 hari, sehingga secara umum dianggap tidak naik lagi

setelah umur 28 hari (standar kuat tekan beton jika tidak disebutkan umur secara khusus).

2. Faktor air semen (FAS)

Faktor air semen ialah perbandingan berat antara air dan semen *Portland* di dalam campuran adukan beton. Dalam praktek, nilai faktor air semen berkisar antara 0,40 – 0,60. Semakin tinggi mutu beton yang hendak dicapai, semakin rendah nilai faktor air semen yang digunakan, sedangkan di lain pihak untuk menambah daya kelecakan (*workability*) diperlukan nilai faktor air semen yang tinggi. Nilai di bawah 0,40 meningkatkan kuat tekan beton, tetapi menurunkan daya kelecakan, sedangkan nilai di atas 0,60 akan menyebabkan kuat tekan beton rendah.

3. Kepadatan Beton

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

4. Jumlah pasta semen dan jenis semen yang digunakan

Pasta semen berfungsi merekatkan butir-butir agregat dan akan berfungsi secara maksimal apabila seluruh permukaan agregat terselimuti pasta semen. Akan tetapi, jika jumlah pasta semen terlalu banyak maka kuat tekan beton didominasi oleh pasta semen yang memiliki kuat tekan lebih rendah dari agregat, sehingga kuat tekan beton menjadi lebih rendah.

5. Jenis semen

Semen *Portland* untuk pembuatan beton terdiri beberapa jenis. Masing-masing jenis semen *Portland* mempunyai sifat tertentu, misalnya cepat mengeras, dan sebagainya, sehingga mempengaruhi pula terhadap kuat tekan betonnya.

6. Sifat agregat

Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton, antara lain:

- a. Kekasaran permukaan, karena permukaan agregat yang kasar dan tidak licin membuat daya rekat antara permukaan agregat dan pasta semen lebih kuat dari pada permukaan agregat yang halus dan licin.
- b. Bentuk agregat, karena bentuk agregat yang bersudut seperti split, membuat butir-butir saling mengunci, berbeda dengan kerikil yang bulat.

Maka, beton yang dibuat dari batu pecah lebih kuat daripada beton yang dibuat dari kerikil.

- c. Kuat tekan agregat, karena 70% volume beton terisi oleh agregat, jika kuat tekan agregat rendah akan diperoleh kuat tekan beton yang rendah pula.

2.1.1.5 Berat Jenis

Berat jenis agregat ialah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume yang sama (maka tanpa satuan) menurut (SNI 1970, 2008). Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat berkurang dari 2,0.

Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1,00	Non Struktur
Beton ringan	1,00 - 2,00	Struktur Ringan
Beton Normal	2,30 - 2,40	Struktur
Beton Berat	>3,00	Perisai sinar X

(Sumber: SNI 2008)

2.1.1.6 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dari pada volume beton sewaktu masih lunak (beton segar), Karena pada waktu mengeras mengalami sedikit susut karena peristiwa penguapan air. Bagian yang susut adalah pastinya, karena agregat tidak berubah volume. Oleh karena itu semakin banyak pastinya semakin banyak susut betonnya. Sedangkan pasta itu sendiri semakin besar faktor air semennya semakin besar susutnya.

2.1.1.7 Kerapatan Air

Pada bagian tertentu sering beton diharapkan dapat rapat air (kedap air) agar tidak bocor, misalnya pelat atap, dinding *basement*, tandon air, kolam renang

dan sebagainya. Pembuatan beton kedap air (Badan Standardisasi Nasional, 2002) dapat diusahakan dengan cara:

1. Menambah butiran pasir halus (yaitu semen dan pasir yang lebih kecil dari 0,30 mm) sampai sekitar 400 – 520 kg per meter kubik beton.
2. Faktor air semen maksimum 0,45 – 0,50 (tergantung kedap air tawar, atau air payau/air laut)
3. Memakai jenis semen *Portland* tertentu (tergantung kedap air tawar, atau air payau/air laut).

2.1.1.8 Kekurangan dan Kelebihan Beton

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton juga dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata-mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus, umpamanya di ekspose agregat. Selain tahan terhadap serangan api seperti yang telah disebutkan diatas, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

A. Kelebihan

1. Dapat dibentuk dengan mudah sesuai kebutuhan konstruksi.
2. Mampu memikul beban yang berat.
3. Tahan terhadap temperatur tinggi.
4. Biaya pemeliharaan yang kecil.

B. Kekurangan

1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
3. Berat & memiliki daya tarik rendah.
4. Daya pantul suara yang besar.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen Portland dan bahan aditive atau admixture) sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencanaan tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

2.1.2 Material Pembentuk Beton

2.1.2.1 Semen Portland

Portland Cement (PC) atau sering disebut dengan semen merupakan serbuk halus yang didapatkan dari hasil penggilingan klinker (gumpalan atau nodul) yang diperoleh dari hasil pembakaran suatu campuran yang baik dan secara merata antara kapur dengan bahan-bahan yang mengandung alumunia, silika dan oksida besi, dengan tambahan batu gips dalam takaran tertentu. (wikipedia, 2018)

Fungsi semen dalam pembuatan beton yaitu sebagai pengikat antara butir-butir agregat hingga membentuk massa yang padat dan mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat. Semen merupakan bahan yang berperan sangat penting dalam pencampuran beton, walaupun hanya sebagai pengikat antar butir agregat, maka dari itu semen yang akan digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan kekuatan rencana maupun spesifikasi teknis yang akan diterapkan. (Mulyono, 2004)

Tipe semen untuk membangun gedung tentu akan berbeda material semen yang akan digunakan pada proyek pembuatan sumur bumi, begitu juga semen yang akan digunakan pada proyek yang akan dilaksanakan di daerah lepas pantai maupun tengah laut (Neville dan Brook, 1987). Dan berikut merupakan beberapa jenis, tipe, kegunaan, dan karakter yang dimiliki oleh semen yang terdapat di pasaran maupun hanya bisa dibeli melalui pemesanan khusus (Lamudi, 2016) :

1) Jenis semen biasa (berwarna abu-abu)

a. Semen Portland Tipe I

Merupakan jenis semen yang paling sering dipakai masyarakat dan paling banyak beredar di pasaran. Jenis semen ini cocok untuk konstruksi yang tidak mensyaratkan untuk hidrasi panas maupun kuat tekan awal yang tinggi. Kegunaan semen portland tipe I ini adalah untuk pembangunan area perumahan, gedung, maupun jalan raya dengan karakteristik daerah yang jauh dari laut atau jauh dari daerah sulfat tinggi.

b. Semen Portland Tipe II

Merupakan jenis semen yang cocok digunakan untuk daerah dengan kadar sulfat dan hidrasi panas yang bersifat sedang, seperti pada daerah pinggir laut, rawa, bendungan saluran irigasi maupun saluran drainase.

c. Semen Portland Tipe III

Merupakan jenis semen portland yang memiliki nilai kuat tekan yang tinggi setelah proses pengikatan terjadi. Sering digunakan untuk proyek pembangunan gedung, jalan bebas hambatan, maupun bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

d. Semen Portland Tipe IV

Merupakan jenis semen yang penggunaannya membutuhkan panas hidrasi rendah.

e. Semen Portland Tipe V

Merupakan jenis semen yang digunakan untuk pembangunan pada daerah dengan kadar sulfat tinggi (lebih dari 0,2%).

2) Jenis semen campur

a. Portland Composite Cement (PCC)

Merupakan jenis semen yang umum digunakan selain semen portland tipe I, semen ini lebih mudah dikerjakan, tahan air, tahan sulfat, dan tidak mudah retak.

b. Super Portland Pozzolan Composite Cement (PPC) Semen PPC

merupakan sebagai kontruksi beton untuk daerah sulfat, tahan hidras panas sedang serta pekerjaan pemasangan dan plesteran.

c. Special Blended Cemeny (SBC)

Merupakan semen spesial yang dibuat untuk pembangunan jembatan Suramadu yang kontruksinya berdiri diatas laut.

d. Super Masonry Cement (SMC)

Merupakan bahan baku untuk pembuatan hollow brick, genteng beton, tegel maupun pavin block.

e. Oil Well Cement (OWC) Class G-HSR (High Sulfate Resistance)

Sesuai dengan namanya, semen ini dibuat khusus untuk pembangunan sumur bumi yang harus memiliki ketahanan terhadap kadar sulfat tinggi.

f. Semen Thang Long PCB40

Merupakan semen yang memiliki daya tahan tinggi terhadap sulfat sesuai untuk konstruksi bawah tanah dan air.

g. Semen Thang Long PC50

Merupakan semen yang banyak digunakan untuk pembangunan proyek-proyek rumit yang memerlukan semen berspesifikasi tinggi.

- 3) Semen putih Kegunaan semen putih diaplikasikan untuk pembuatan lapisan keramik hingga dekorasi eksterior dan interior gedung.
- 4) Semen acian / Mortar TR30 Kelebihan semen ini adalah memiliki daya rekat tinggi dan hasil acian memiliki permukaan yang halus, tidak mudah terkelupas dan retak-retak.

Semen dapat dikatakan layak untuk dipakai sebagai bahan pencampuran beton apabila telah memenuhi persyaratan berikut (Lamudi, 2016):

- 1) Semen belum kadaluarsa, dengan tanda semen masih hangat.
- 2) Belum ada penggumpalan pada semen.
- 3) Semen masih bereaksi, yaitu apabila digenggam dengan tangan maka akan jatuh berhamburan ketika diremas.

2.1.2.2 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu bahan penting, karena air yang bereaksi dengan semen akan menjadi perekat antara butir-butir agregat. Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan menurunnya nilai kuat tekan beton. Selain itu, ketika beton dituangkan ke dalam cetakan, kelebihan air akan membuat air yang bereaksi dengan semen akan berkumpul pada bagian atas beton sehingga akan menyebabkan bleeding pada beton, yaitu berkumpulnya air beserta semen pada bagian atas beton, yang menyebabkan kurangnya daya rekat antar agregat pada lapisan bawah beton, area dengan daya rekat yang kurang menyebabkan area tersebut lemah terhadap beban. (Tjokrodimuljo, 2007)

Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan

menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Dalam campuran beton, air menyebabkan terjadinya proses hidrasi bersama semen. Air dalam takaran yang pas akan menyebabkan mudahnya dalam proses pengerjaannya. Jumlah air yang berlebih akan menyebabkan penurunan kekuatan beton. Tetapi air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi pada beton menjadi tidak merata. (Mulyono, 2004)

Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini (Tjokrodinuljo, 2007)

1. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
2. Tidak mengandung organik (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.

2.1.2.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 2007). Agregat yang akan dipakai untuk campuran beton harus memiliki gradasi sedemikian rupa agar tidak terdapat rongga-rongga pada beton, karena jika terdapat rongga pada beton, akan menyebabkan beton menjadi rapuh dan menurunnya kekuatan beton. Agregat dengan ukuran yang bervariasi berguna untuk memadatkan massa beton, membentuknya menjadi agregat berukuran kecil akan berperan mengisi ruang kosong diantara agregat berukuran besar.

Menurut SNI-15-1991-03, agregat diartikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil dan batu pecah yang digunakan bersamaan dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolis atau adukan. Dalam struktur beton biasanya terdapat agregat dengan jumlah kurang lebih 70 % – 75 % dari volume beton yang telah mengeras.

Berdasarkan ukurannya, jenis agregat terbagi atas :

1. Agregat halus dengan diameter 0 – 5 mm sering disebut pasir, yang

dibedakan menjadi :

Pasir halus : \emptyset 0 – 1 mm

Pasir kasar : \emptyset 1 – 5 mm

2. Agregat kasar, diameter \geq 5 mm, biasanya berukuran antara 5 – 40 mm yang disebut kerikil.

Jenis-jenis agregat berdasarkan ukuran secara lebih rinci adalah sebagai berikut :

1. Agregat Halus

Menurut SNI-15-1991-03, Agregat halus atau sering disebut dengan pasir alam adalah hasil dari disintegrasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu maupun hasil dari alam yang terdapat di aliran sungai yang mempunyai ukuran butir kecil dari 5 mm atau lolos saringan no. 4.

Secara umum, agregat halus yang sering dipakai untuk bahan dasar pembentuk beton adalah pasir yang berasal dari alam seperti dari aliran sungai, karena pasir yang berasal dari industri pemecah batu umumnya tidak cocok untuk pembuatan beton disebabkan mengandung partikel yang terlalu halus yang terbawa ketika pembuatannya.

Syarat-syarat berikut harus dipenuhi oleh agregat halus menurut spesifikasi bahan bangunan bagian A (SK SNI S-04-1989-F) :

- a. Harus memiliki indeks kekasaran $\pm 2,2$ dan memiliki bentuk yang tajam dan keras pada butir-butirnya. Agregat halus harus bersifat kekal, maksudnya agregat halus tidak rusak atau hancur ketika dipengaruhi oleh cuaca seperti hujan maupun terik matahari.
- b. Bagian yang hancur hanya boleh maksimal 12% jika diuji menggunakan larutan Natrium Sulfat, dan hanya boleh hancur maksimal 10% jika diuji dengan larutan Magnesium Sulfat.
- c. Kandungan lumpur pada agregat halus (ditentukan terhadap berat kering) tidak boleh lebih besar dari 5%, kalau lebih dari 5% agregat halus harus dicuci sebelum digunakan.
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik yang terlalu banyak, dapat dilakukan pengecekan menggunakan percobaan warna dari Abrams-Harder. Warna cairan tidak boleh lebih gelap dari pembanding

jika direndam menggunakan larutan NaOH 3%.

- e. Susunan dari butir-butir agregat halus harus memiliki modulus kehalusan pada rentang 1,5-3,8 dan memiliki gradasi butirbutir yang beraneka ragam. Jika diayak dengan susunan ukuran saringan yang ditentukan, gradasi dari agregat halus harus masuk kedalam salah satu zona diantara zona 1,2,3 atau 4 yang harus memenuhi persyaratan :
agregat yang tertahan saringan 4,8 mm maksimum 2% dari berat total,
agregat yang tertahan saringan 1,2 mm maksimum 10% dari berat total,
agregat yang tertahan saringan 0,3 mm maksimum 15% dari berat agregat total.
- f. Hasil reaksi pasir dengan alkali harus negatif apabila digunakan untuk beton dengan keawetan tinggi.
- g. Pasir laut tidak dapat digunakan untuk semua mutu beton, kecuali ada petunjuk khusus dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang teruji.

Susunan agregat halus lebih penting dibandingkan susunan besar butiran agregat kasar, karena campuran dari agregat halus, semen dan air akan menjadi mortar yang akan mengisi rongga-rongga yang tidak dapat diisi oleh agregat kasar sehingga beton yang dihasilkan menjadi halus dan rata.

Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit akan menyebabkan kerusakan sebagai berikut :

- a. Terjadi segregasi pada beton yang disebabkan mortar tidak dapat mengisi rongga-rongga yang disisakan oleh agregat kasar.
- b. Menyebabkan terjadinya under sanded yaitu peristiwa kekurangan pasir pada beton.
- c. Adonan beton akan sulit untuk dikerjakan yang dapat menyebabkan terjadinya sarang kerikil, dimana kerikil terlalu banyak daripada agregat halus.
- d. Pada saat finishing akan menghasilkan permukaan yang kasar pada beton.
- e. Beton menjadi tidak awet

Selain masalah yang ditimbulkan oleh pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit, pemakaian agregat halus yang terlalu banyak juga akan menimbulkan masalah sebagai berikut :

- a. Terjadi over sanded, atau kelebihan pasir pada beton.
- b. Diperlukan semen yang banyak untuk mengimbangi agregat kasar dan halus agar target mutu beton tercapai.
- c. Campuran menjadi tidak ekonomis.
- d. Beton akan menunjukkan gejala susut yang lebih besar.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar atau yang sering disebut dengan kerikil adalah batuan yang dihasilkan secara alami atau berupa batu yang dipecah dengan ukuran 5-40 mm.

Syarat-syarat agregat kasar untuk pencampuran beton :

- a. Agregat berupa butiran keras dan tidak berpori.
- b. Butiran agregat kasar tidak hancur atau pecah karena pengaruh suhu seperti terik matahari atau hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat reaktif alkali, karena dapat merusak beton.
- d. Kadar lumpur pada agregat tidak boleh lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci sebelum digunakan.

Jenis agregat kasar yang sering dipergunakan dalam pencampuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Kerikil alami, kerikil alami berasal dari proses alam di aliran sungai, air yang mengalir di sungai menyebabkan pengikisan pada dasar maupun tepi sungai sehingga terbentuklah kerikil secara alami. Kerikil yang berasal dari alam memberikan kemudahan dalam proses pengerjaannya akan tetapi memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, karena kerikil memiliki permukaan yang cenderung halus dan licin.
- b. Batu pecah alami, batu pecah didapatkan dari pemecahan batuan cadas, sedimen, batu dari gunung api atau batu jenis metamorf yang didapatkan secara langsung atau digali terlebih dahulu. Batu pecah mampu memberikan kekuatan yang lebih tinggi pada beton, tetapi penggunaan

- batu pecah kurang memberikan kemudahan dalam proses pengecoran.
- c. Agregat kasar buatan, biasanya seperti shale atau slag bertujuan untuk pembuatan beton ringan.
 - d. Agregat berbobot berat dan untuk pelindung nuklir, seperti barit, limonit dan baja pecah.

2.2 Fly Ash

2.2.1 Pengertian Fly Ash

Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Abu terbang mempunyai titik lebur sekitar 1300 °C dan mempunyai kerapatan massa (densitas) antara 2.0-2.5 g/cm³.

Fly ash merupakan bahan penambah (*filler*) yang berguna untuk memperbaiki sifat-sifat beton. *Fly ash* juga dikelompokkan sebagai bahan pozolan, nama pozolan berasal dari nama kota di Italy (Pozzouli) yang menghasilkan bahan perekat alami (Sugiyanto, dkk, 2000).

Adapun karakteristik *Fly ash* diantaranya:

1. Karakteristik Fisik

Fly ash merupakan limbah pembakaran batubara yang terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat dan berongga. Berdasarkan ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang mempunyai butiran yang sangat halus, yaitu lolos saringan No. 325 (45 mili micron) 5-27% dan memiliki kadar air sebesar 4%. *Fly ash* memiliki massa jenis berkisar antara 540 - 860 kg/m³ dalam kondisi *loose*, dan dalam kondisi dipadatkan dengan penggetaran berkisar antara 1.120 - 1500 kg/m³.

Menurut penelitian Inas Liana Ria (2014), berat jenis *fly ash* sebesar 2,22. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- 1) Berwarna abu-abu kehitaman.
- 2) Ukuran butir berkisar antara 0,005-0,074 mm

2. Karakteristik Kimia

Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya,

Komponen utama dari *fly ash* adalah batubara yang berasal dari

pembangkit listrik adalah silikat (SiO_2) \pm 52,00%, alumina (Al_2O_3) \pm 31,86%, besi oksida (Fe_2O_3) \pm 4,89%, dan magnesium (MgO) \pm 4,66% sisanya adalah karbon, kalsium, dan belerang.

Dalam SK SNI S-15-1990-F, spesifikasi *fly ash* sebagai bahan tambahan untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis *fly ash*, yaitu:

- 1) *Fly ash* kelas F, adalah hasil dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu 1560°C. Abu terbang ini mempunyai sifat pozolan.
- 2) *Fly ash* kelas N, adalah hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah diatone, shale, tuft, dan batu apung
- 3) *Fly ash* kelas C, adalah hasil dari pembakaran lignit atau batubara dengan kadar karbon sekitar 60%, yang mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10%.

Kandungan kimia yang terdapat pada *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 3 Kandungan Kimia *Fly Ash* (ASTM C618, 2003)

Senyawa Kimia	F	N	C
(SiO_2) + (Al_2O_3) + (Fe_2O_3), minimum %	70	70	50
(SO_3), maksimum %	4	5	5
Kadar Air, maksimum %	3	3	3
Kehilangan panas, maksimum %	10	6	6
(Na_2O), maksimum %	1,5	1,5	1,5

(NGUDIYONO et al., 2022)

Pada umumnya, penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen terbatas pada fly ash tipe F. Fly ash tersebut dapat menggantikan semen sampai 30% berat semen yang digunakan. Campuran beton dengan menggunakan fly ash kelas F memiliki ikatan lebih baik daripada menggunakan fly ash kelas C dikarenakan fly ash tipe C dihasilkan dari pembakaran batubara muda, sedangkan

fly ash tipe F dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit dan fly ash tipe C memiliki karakteristik ringan dan berwarna lebih terang dari *fly ash* tipe F (Standar ASTM C 618).

2.2.2. Perbandingan Fly Ash dan Semen Portland

Penggunaan material *fly ash* pada campuran beton didasari pada sifat material ini yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Kemiripan ini dapat ditinjau dari 2 sifat utama, yaitu sifat fisik dan sifat kimiawi.

Berikut perbandingan *fly ash* dengan semen Portland ditinjau dari dari dua kemiripan, yaitu sifat fisik dan sifat kimiawi.

1. Perbandingan Sifat Fisik

Fly ash dan semen memiliki kemiripan dalam sifat fisik yang dapat ditinjau dalam beberapa variabel, untuk lebih jelasnya perbandingan sifat fisik *fly ash* dan semen portland dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2. 4 Perbandingan Sifat Fisik Fly Ash dan Semen Portland

Variabel pembanding	fly ash	semen portlan
Kehalusan butir	5-27% lolos saringan 45 mili micron	80% lolos saringan 44 mili micron
berat jenis	2,15-2,8 g/cm ³	3,15g/cm ³
waktu pengikatan awal	423 menit	60-120 menit
spesific gravity	2,15-2,6	3,15
Suhu pengikatan	24-27 ⁰ C	35 ⁰ C

(Setiawati, 2018)

2. Perbandingan Sifat Kimiawi

Fly ash dan semen portland sama-sama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Keempat unsur tersebut merupakan unsur pokok pada kedua material tersebut dikarenakan unsur tersebut mempengaruhi fungsi dari