



**PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP SIFAT
MEKANIK BETON *INTEGRAL WATERPROOFING***

***THE EFFECT OF THE ADDITION OF FLY ASH ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF INTEGRAL
WATERPROOFING CONCRETE***

SKRIPSI

Oleh

**Mochammad Roziqin
NIM 161910301047**

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP SIFAT
MEKANIK BETON *INTEGRAL WATERPROOFING***

***THE EFFECT OF THE ADDITION OF FLY ASH ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF INTEGRAL
WATERPROOFING CONCRETE***

SKRIPSI

diajukan guna untuk menyelesaikan tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Mochammad Roziqin
NIM 161910301047

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu Hj. Sri Wahyu sianah dan Bapak H.Akhmad yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun serta doa dan motivasinya;
2. Kakak saya, M. Firman Nulkhaq yang selalu mendoakan serta memberikan semangat dan motivasinya;
3. Guru – guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Rismawati Tri Kalasworojati yang senantiasa selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat supaya skripsi ini bisa terselesaikan;
5. Seluruh personil Profit Band, LDC band yang selalu memberikan semangat dan motivasinya;
6. Teman – Teman Teknik Sipil 2016 yang selalu memberikan semangat dan kemudahan selama pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“ ... dan aku menyerahkan urusaanku kepada Allah. Sungguh, Allah Maha Melihat akan hamba-hambaNya.”

(QS. Ghafir 40:44)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah 94:6)

“Talk Less, Do More”

(Amy Poehler)

“Plan, Do, Check, Act”

(W. Edwards Deming)

“Tidak ada sakit yang berkesan kecuali sebuah perjuangan”

(Mochammad Roziqin)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mochammad Roziqin

NIM : 161910301047

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* terhadap Sifat Mekanik Beton *Integral Waterproofing*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas kabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 19 Juni 2020

Yang menyatakan,

Mochammad Roziqin
NIM. 161910301047

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP SIFAT
MEKANIK BETON *INTEGRAL WATERPROOFING***

Oleh

Mochammad Roziqin

NIM. 161910301047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.

PENGESAHAN

Tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* terhadap Sifat Mekanik Beton *Integral Waterproofing*” telah di uji dan di sahkan pada:

Hari : Jum’at

Tanggal : 19 Juni 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP. 19731015 199802 1 001

Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.
NIP. 19661228 199903 1 002

Tim Penguji :

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

Ahmad Hasanuddin, S.T., M.T.
NIP. 19710327 199803 1 003

Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.
NIP. 760016772

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

RINGKASAN

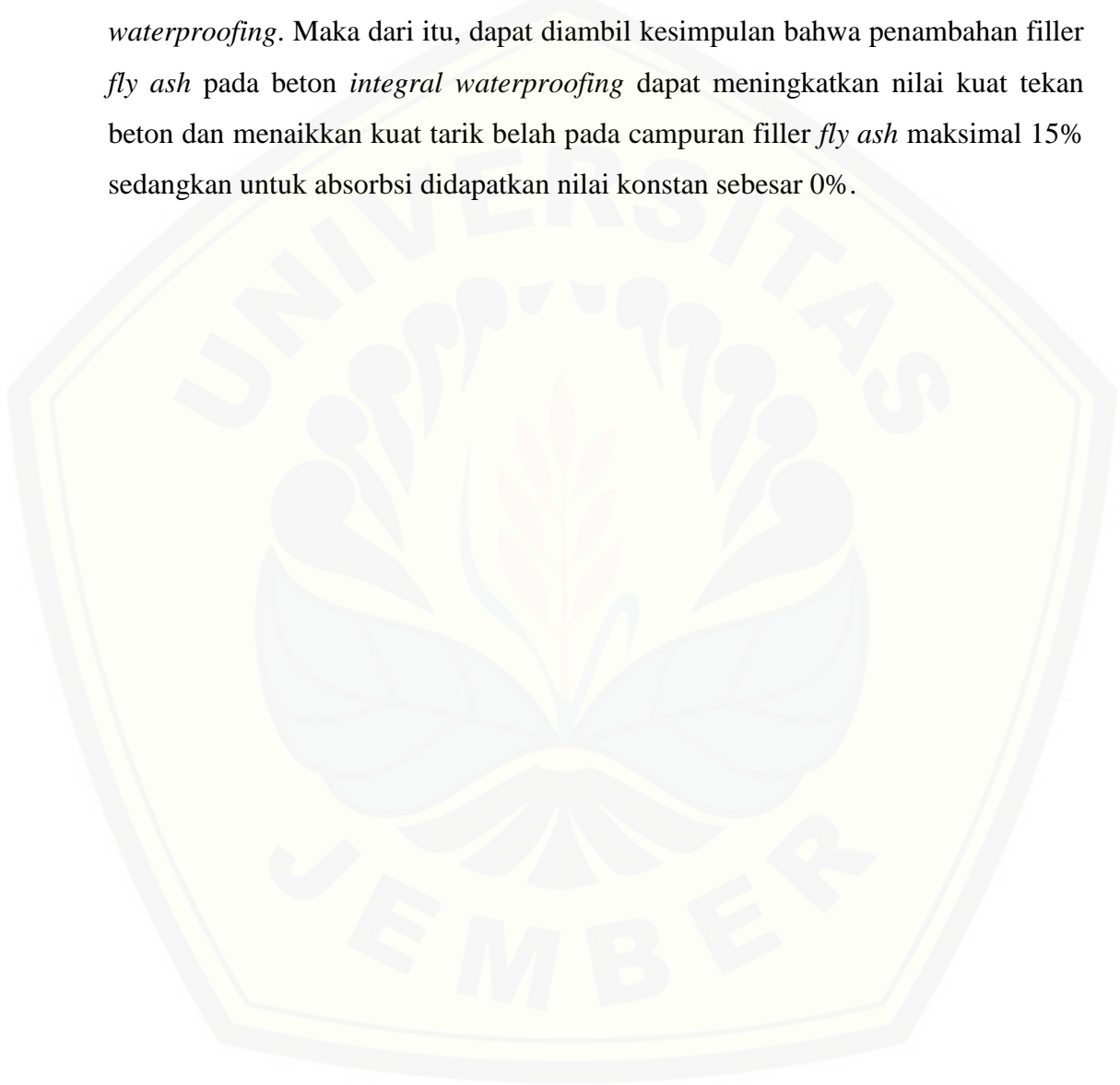
Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Sifat Mekanik Beton *Integral Waterproofing*; Mochammad Roziqin, 161910301047; 2020: 74 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Beton merupakan komponen yang terdapat pada struktur atas maupun struktur bawah untuk menopang beban-beban pada suatu bangunan. Pada beberapa kondisi, beton juga harus memiliki ketahanan terhadap air sehingga perlu adanya bahan tambah atau *admixture* pada campuran beton untuk membuat sifat beton menjadi lebih *watertight* atau kedap terhadap air. Salah satu metode yang sering dijumpai pada pelaksanaan proyek konstruksi adalah dengan penambahan *Integral Waterproofing*. *Integral waterproofing* yang umum digunakan adalah berupa cairan yang dirancang sedemikian rupa sehingga dapat bereaksi dengan semen pada campuran beton kemudian membentuk jaringan-jaringan yang terdapat pada pori-pori kecil dalam adukan beton dan menutup pori-pori tersebut sehingga beton tersebut menjadi *watertight* atau kedap terhadap air setelah mengeras.

Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran \emptyset 15 cm x 30 cm. Beton *integral waterproofing* akan ditambah dengan material *fly ash* dikarenakan menurut beberapa penelitian terdahulu penambahan cairan *integral waterproofing* dapat menurunkan nilai kuat tekan beton sedangkan penggunaan *fly ash* sebagai filler dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton. Komposisi yang digunakan pada penelitian ini adalah penambahan cairan *integral waterproofing* sebesar 1,5% dengan variasi filler *fly ash* sebesar 0%, 5%, 10% dan 15%. Pada setiap komposisi campuran dilakukan beberapa pengujian meliputi slump test abrams, uji kuat tekan beton, uji modulus elastisitas beton, uji kuat tarik belah beton dan uji absorpsi atau resapan air terhadap beton *integral waterproofing*.

Hasil yang didapatkan dalam pengujian ini menunjukkan bahwa nilai slump test abrams didapat sebesar 10 cm, 10 cm, 12 cm dan 12 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pengujian beton *integral waterproofing* telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Untuk pengujian kuat tekan beton didapatkan nilai kuat tekan optimum

pada variasi *waterproofing* 1,5% dan filler *fly ash* sebesar 15% dengan nilai kuat tekan sebesar 43,33 MPa dan nilai modulus elastisitas sebesar 24298,18 MPa. Adapun hasil uji kuat tarik belah didapatkan nilai yang paling optimal ada pada variasi *waterproofing* 1,5% dan filler *fly ash* sebesar 15% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 3,11 MPa dan pada pengujian *absorpsi* atau resapan air didapat hasil yang konstan sebesar 0% untuk seluruh variasi campuran beton *integral waterproofing*. Maka dari itu, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan filler *fly ash* pada beton *integral waterproofing* dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dan menaikkan kuat tarik belah pada campuran filler *fly ash* maksimal 15% sedangkan untuk absorpsi didapatkan nilai konstan sebesar 0%.



SUMMARY

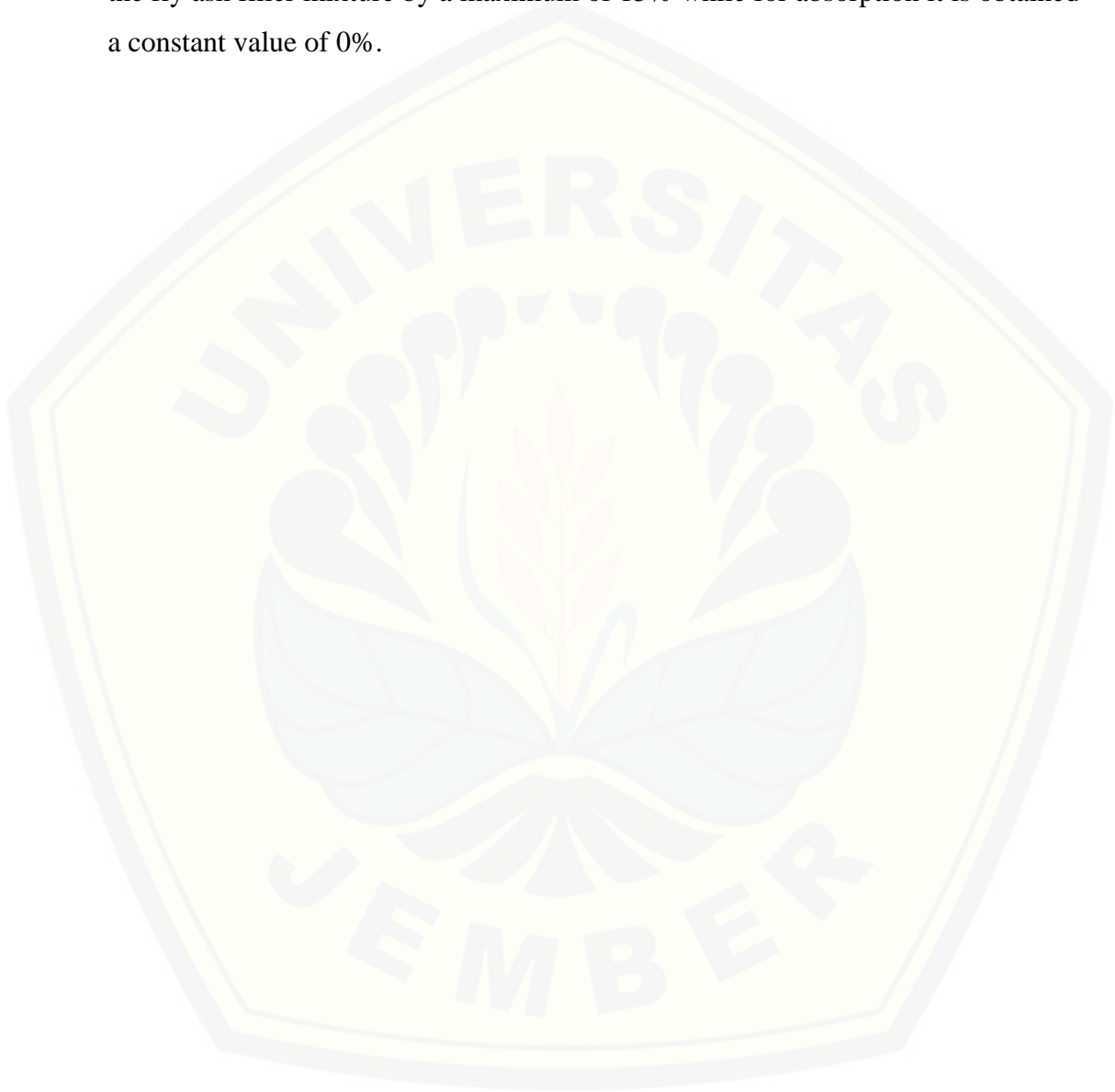
The Effect Of The Addition Of Fly Ash On The Mechanical Properties Of Integral Waterproofing Concrete ; Mochammad Roziqin, 161910301047; 2020: 74 pages ; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Concrete is a component contained in the structure of the upper and lower structure to support the loads on a building. In some conditions, concrete must also have resistance to water so that the need for added material or admixture in the concrete mixture to make the concrete properties become more watertight or waterproof. One of method is used in the implementation of construction projects is the addition of Integral Waterproofing. Integral waterproofing is liquid that designed can react with cement in a concrete mixture and this forms tissue is found in small pores in the concrete mixture and closes the pores so the concrete becomes waterproof after hardening.

In this research, the test object used is a cylinder with a size of \varnothing 15 cm x 30 cm. Concrete integral waterproofing will be added with fly ash material because according to some previous studies the addition of integral waterproofing liquid can reduce the compressive strength of concrete while using fly ash as a filler can increase the compressive strength of concrete. The composition used in this study was the addition of 1.5% waterproof integral liquid with filler fly ash variation of 0%, 5%, 10% and 15%. In each mixture composition, several tests were carried out are slump test abrams, concrete compressive strength test, concrete modulus elasticity test, concrete tensile strength test and absorption or water absorption test for integral waterproofing concrete.

The results obtained in this test show that the value of slump test abrams is 10 cm, 10 cm, 12 cm and 12 cm. This shows that the integral waterproofing concrete test has met the specified requirements. For testing the compressive strength of concrete, the optimum compressive strength value is 1.5% waterproofing and 15% fly ash filler with compressive strength of 43.33 MPa and modulus of elasticity of 24298.18 MPa. The split tensile strength test results obtained the most optimal value is in the waterproofing variation of 1.5% and

filler fly ash by 15% with a split tensile strength value of 3,11 MPa and in testing the absorption or water absorption constant results obtained by 0% for all variations of integral waterproofing concrete mixes. Therefore, it can be concluded that the addition of fly ash filler in integral waterproofing concrete can increase the compressive strength of concrete and increase the tensile strength of the fly ash filler mixture by a maximum of 15% while for absorption it is obtained a constant value of 0%.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* terhadap Sifat Mekanik Beton *Integral Waterproofing*”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dwi Nurtanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Ir Krisnamurti, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota, Ahmad Hasanuddin, S.T., M.T. Penguji Utama, Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T. Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan masukan dalam penulisan tugas akhir ini;
4. M. Farid Maruf, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik pada Semester 1, Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik pada Semester 2-6, Dr. Ir. Krisnamurti, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik pada Semester 7-8, yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Moch. Akir selaku Teknisi Laboratorium Struktur yang telah membimbing selama penulis melakukan penelitian di Laboratorium;
6. Bapak maupun Ibu Dosen Teknik Sipil Universitas Jember beserta jajarannya yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Ibunda Hj. Sri Wahyu sianah dan Ayahanda H.Akhmad yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun, doa dan motivasinya;
8. Kakakku M.Firman Nulkhaq yang selalu memberikan semangat dan motivasinya;

9. Rismawati Tri Kalasworojati yang senantiasa selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat supaya skripsi ini bisa terselesaikan;
10. Tim penelitian struktur beton yang mau bersusah payah dan berjuang bersama di laboratorium struktur demi mewujudkan gelar S.T;
11. Tim Logawa JBR, Tim Logawa Satoe Enam, Tim JAR ReadyMix. Tim Karya Logawa Construction, Tim Mada Logawa Construction yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang berharga serta mengajarkan arti sebuah perjuangan hingga pada akhirnya tercapainya sebuah prestasi;
12. Keluarga Biji Besi, Teknik Sipil 2016 yang telah memberikan semangat serta motivasinya selama penulis melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menerima segala bentuk kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap , semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Jember, 19 Juni 2020

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton.....	5
2.2 Material Penyusun Beton	6
2.2.1 Agregat Kasar	6
2.2.2 Agregat Halus	6
2.2.3 Semen Portland (PC)	7
2.2.4 Air	8
2.3 Fly ash	8
2.4 Sifat Mekanik Beton	9
2.4.1 Sifat Mekanik Tekan Beton	10
2.4.2 Sifat Mekanik Modulus Elastisitas Beton.....	10
2.4.3 Sifat Mekanik Kuat Tarik Belah Beton	12
2.4.4 Sifat Mekanik Rangkak	12

2.4.5 Sifat Mekanik Susut	13
2.5 Karakteristik Beton Segar (<i>Fresh Concrete</i>)	13
2.6 Porositas Beton	13
2.7 Waterproofing	15
2.7.1 <i>Waterproofing admixtures</i>	15
2.7.2 Macam – Macam <i>Waterproofing</i>	15
2.8 Waterproofing damdex	16
2.9 Penelitian Terdahulu	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Pelaksanaan Penelitian	24
3.2 Teknik Pengumpulan Data	24
3.3 Alat dan Bahan.....	24
3.3.1 Alat	24
3.3.2 Bahan	25
3.4 Variabel Penelitian.....	26
3.5 Benda Uji	27
3.6 Standar Pengujian	28
3.7 Metode Pengujian Material	29
3.7.1 Agregat halus.....	29
3.7.2 Agregat kasar.....	32
3.8 <i>Mix Design</i>	34
3.9 Metode Pembuatan Benda Uji.....	35
3.10 Diagram Alir.....	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Pengujian Material	40
4.1.1 Agregat Halus.....	40
4.1.2 Agregat Kasar.....	45
4.1.3 Semen	50
4.1.4 <i>Fly Ash</i>	51
4.2 Hasil <i>Trial</i> Beton <i>Integral Waterproofing</i> Umur 7 Hari	52
4.2.1 Pengujian Slump <i>Trial</i>	53
4.2.2 Hasil <i>Trial</i> Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i>	53

4.2.3 Hasil <i>Trial</i> Absorpsi Beton <i>Integral Waterproofing</i>	56
4.2.4 Penentuan Proporsi Penelitian	57
4.3 Mix Design	57
4.4 Pengujian Beton <i>Integral Waterproofing</i>.....	58
4.4.1 Pengujian Slump	59
4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i>	61
4.4.3 Pengujian Modulus Elastisitas Beton <i>Integral Waterproofing</i>	63
4.4.4 Hasil Kuat Tarik Belah Beton <i>Integral Waterproofing</i>	69
4.4.5 Hasil Absorpsi Beton <i>Integral Waterproofing</i>	71
BAB 5. PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

2.1 Kandungan Kimia <i>Fly ash</i>	9
2.2 Hasil kuat tekan beton <i>integral waterproofing</i>	18
2.3 Penurunan serapan air 7 hari	21
2.4 Penurunan serapan air 14 hari	21
2.5 Penurunan serapan air 28 hari	21
2.6 Nilai kuat tekan mortar 7 hari	22
2.7 Nilai kuat tekan mortar 14 hari	22
2.8 Nilai kuat tekan mortar 28 hari	22
3.1 Waktu pelaksanaan penelitian.....	24
3.2 Rencana penelitian	28
3.3 Standar pengujian.....	28
3.4 Batas gradasi agregat halus	31
3.5 Ketentuan minimum semen untuk beton bertulang kedap air.....	35
4.1 Zona Gradasi Pasir atau Agregat Halus	40
4.2 Hasil Analisa Saringan Pasir atau Agregat Halus	41
4.3 Hasil Pengujian Kelembaban Pasir atau Agregat Halus	42
4.4 Hasil Pengujian Air Resapan Pasir atau Agregat Halus.....	43
4.5 Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir atau Agregat Halus.....	44
4.6 Hasil Pengujian Berat Volume Pasir Lumajang.....	44
4.7 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Pasir Lumajang	45
4.8 Batas Gradasi Agregat Kasar atau Kerikil	46
4.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar atau Kerikil.....	46
4.10 Hasil Pengujian Kelembaban Kerikil atau Agregat Kasar.	48
4.11 Hasil Pengujian Air Resapan Kerikil atau Agregat Kasar.....	48
4.12 Hasil Pengujian Berat Jenis Kerikil atau Agregat Kasar	49
4.13 Hasil Pengujian Berat Volume Kerikil	49
4.14 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Kerikil.....	50
4.15 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen PPC merk Semen Gresik	51
4.16 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	51
4.17 Hasil Pengujian Berat Volume <i>fly ash</i>	52

4.18	Nilai Slump <i>Trial</i>	53
4.19	Hasil nilai kuat tekan beton integral waterproofing umur 28 hari.....	53
4.20	Hasil nilai kuat tekan beton integral waterproofing umur 28 hari.....	54
4.21	Hasil <i>Trial</i> kuat tekan beton integral waterproofing.....	54
4.22	Hasil <i>Trial</i> Uji Absorpsi Beton <i>Integral Waterproofing</i>	56
4.23	Perencanaan Proporsi Campuran Beton per m ³	57
4.24	Hasil Perhitungan Kebutuhan Material per Silinder.....	58
4.25	Hasil Perhitungan Kebutuhan Material pada Tiap Variasi Campuran.....	58
4.26	Hasil Pengujian Slump Kerucut Abrams.....	59
4.27	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i> 7 Hari..	61
4.28	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i> 28 Hari	62
4.29	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	65
4.30	Nilai Tegangan – Regangan Berdasarkan Perhitungan Laboratorium	67
4.31	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari	69
4.32	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	70
4.33	Hasil Pengujian Absorpsi	72

DAFTAR GAMBAR

2.1	<i>Damdex</i>	16
2.2	Grafik Hasil pengujian kuat tekan	17
2.3	Grafik Perbandingan hasil kuat tekan beton normal dan beton <i>integral</i>	18
2.4	Grafik Hubungan kuat tekan beton dengan variasi <i>fly ash</i>	20
2.5	Grafik Hasil kuat tekan <i>integral water repellent concrete</i>	23
2.6	Grafik <i>Chloride profiles measured in neat concrete and integral water repellent concrete</i>	23
3.1	Gambar model benda uji silinder beton	27
4.1	Grafik Gradasi Pasir atau Agregat Halus Zona 2.....	41
4.2	Grafik Gradasi Kerikil atau Agregat Kasar (Maksimum 20 mm)	47
4.3	Grafik Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i> tanpa <i>fly ash</i>	55
4.4	Grafik Rata-Rata Hasil <i>Trial</i> Absorpsi Beton <i>Integral Waterproofing</i>	56
4.5	Pengujian Slump Kerucut Abrams.....	59
4.6	Grafik Hasil Uji Slump Abrams	60
4.7	Proses Penimbangan Benda Uji Silinder 15x30 cm	61
4.8	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i> 7 Hari	62
4.9	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Integral Waterproofing</i> 28 Hari	63
4.10	Grafik Hasil Pengujian Tegangan-Regangan Beton	64
4.11	Grafik Hubungan Variasi <i>Fly Ash</i> dengan Modulus Elastisitas Beton <i>Integral Waterproofing</i>	65
4.12	Dokumentasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton	66
4.13	Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay-Krishnan pada Proporsi D	68
4.14	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari	70
4.15	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Pengujian Material	78
Lampiran B. Perhitungan Mix Design	89
Lampiran C. Dokumentasi Proses Pembuatan Benda Uji.....	95
Lampiran D. Dokumentasi Pengujian Beton Umur 7 Hari	98
Lampiran E. Dokumentasi Pengujian Beton Umur 28 Hari	102
Lampiran F. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Beton <i>Integral Waterproofing</i>	106
Lampiran G. Grafik Tegangan- Regangan Beton <i>Integral Waterproofing</i>	110
Lampiran H. Grafik Modulus Elastisitas Beton <i>Integral Waterproofing</i>	111
Lampiran I. Tabel Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay Krishnan	112
Lampiran J. Grafik Hubungan Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay – Krishnan	116

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia lambat laun semakin meningkat. Beton sebagai komponen utama dalam sebuah konstruksi bangunan memiliki peranan penting dalam pembangunan proyek konstruksi. Beton adalah campuran agregat halus, agregat kasar, semen, air dan atau tidak menggunakan bahan tambah pembentuk massa padat. (SNI 03-2834-2000). Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan beton dilapangan yaitu kualitas material, proses pencampuran, proses pengecoran sampai dengan pemadatan. Selain digunakan pada struktur atas, beton juga memiliki peran penting pada struktur bawah seperti pondasi, basement, dan lain-lain.

Pada beberapa kondisi, beton juga dituntut memiliki ketahanan terhadap air, karena dalam proses pelaksanaannya tidak sedikit pekerja yang mengabaikan prosedur kerja sehingga dapat mengakibatkan struktur bawah tanah seperti dinding atau lantai basement mengalami kebocoran, hal ini memerlukan biaya yang cukup tinggi untuk memperbaikinya. Menurut I Made Jaya,(2010). Metode yang sering digunakan dalam mengatasi kebocoran ini adalah dengan memberikan lapisan kedap air atau *waterproofing* pada permukaan lantai atau dinding tersebut. *Waterproofing* yang sering digunakan di lapangan adalah *waterproofing coating* dan *Waterproofing* membran. Namun sejalan dengan berjalannya waktu, lapisan *waterproofing* tersebut akan mengalami kerusakan sehingga air dapat melewati pori-pori atau celah pada bagian yang rusak dan kembali mengalami kebocoran. Oleh karena itu, perbaikan yang dilakukan selain pada bagian luar, bagian dalam pun juga harus dilakukan yaitu pada beton itu sendiri.

Seiring dengan berkembangnya zaman, pengembangan ilmu teknologi beton pun tak terhindarkan. Hal ini dibuktikan dengan berbagai inovasi yang telah diciptakan salah satunya yaitu Beton *Integral Waterproofing*. *Integral Waterproofing* diciptakan atas dasar sifat beton dalam kondisi normal tidak bersifat kedap terhadap penetrasi air sehingga dalam fabrikasi beton dibutuhkan suatu bahan tambah (*admixture*) ke dalam adukan beton yang dapat menciptakan beton kedap air (*watertight concrete*).

Namun, menurut penelitian Jaya, I Made, dkk. (2017) menjelaskan bahwa beton normal memiliki kuat tekan 29,77 Mpa sedangkan penambahan *integral waterproofing (merguss normal)* sebesar 0,7% memiliki kuat tekan sebesar 27,50 Mpa. Muhammad, Zakiru Nasari. (2017) dalam tesisnya memberikan pernyataan bahwa metode *integral waterproofing* dapat menurunkan kuat tekan beton. Riyandi, Muhammad (2016) menyatakan bahwa kuat tekan beton normal memiliki hasil jauh lebih baik daripada kuat tekan beton *integral*.

Tampubolon, Fernando (2012) penambahan *Integral Waterproofing (damdex)* sebesar 0%, 0,5% 1% 1,5% dan 2% dapat menurunkan nilai kuat tekan beton dengan nilai sebesar 20,46 MPa, 15,36 MPa, 15,15 MPa, 15,14 MPa, 14,41 MPa, 14,74 Mpa. Selain itu, berdasarkan hasil trial peneliti pada proporsi *Integral Waterproofing (damdex)* sebesar 0%, 1% dan 1,5% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 27,57 MPa, 25,49 MPa, 22,06 MPa. Maka dari itu, penentuan proporsi *waterproofing (damdex)* digunakan 1,5% dikarenakan memiliki nilai kuat tekan yang paling rendah.

Penggunaan *fly ash* atau abu terbang sebagai bahan tambah (*filler*) dengan prosentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dapat meningkatkan kuat tekan beton secara berturut-turut yaitu sebesar 32,27 Mpa, 33,91 Mpa, 35,32 Mpa, 36,17 Mpa, 36,80 Mpa, 37,25 Mpa. (Suarnita, I Wayan, 2011). Penggunaan material *fly ash* didasari atas sifat dasar *fly ash* yang hampir mirip dengan semen dan dapat menutup pori-pori beton sehingga meningkatkan kuat tekan beton *integral waterproofing*. Menurut Mira Setiawati, (2018), Kemiripan sifat ini dapat ditinjau secara fisik dan kimiawi. Menurut ACI committe 226, ditinjau dari sifat fisik bahwa *fly ash* memiliki karakteristik yang sangat halus yaitu lolos ayakan ukuran 45 mili micron atau ayakan no. 325 sebesar 5-27% dengan *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan memiliki warna abu-abu kehitaman. Sifat kimia yang dimiliki oleh *fly ash* yaitu memiliki kandungan silika hingga 80%. Maka dari itu, dengan adanya kemiripan sifat *fly ash* terhadap semen maka dapat menjadikan *fly ash* sebagai *filler* pada campuran beton *integral waterproofing*.

1.2 Rumusan Masalah

Agar penelitian ini jelas tujuannya maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap penambahan *fly ash* pada beton *integral waterproofing* ?
2. Bagaimana pengaruh kuat tarik belah terhadap penambahan *fly ash* pada beton *integral waterproofing*?
3. Bagaimana pengaruh absorpsi atau resapan air terhadap penambahan *fly ash* pada beton *integral waterproofing* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui hasil kuat tekan dan modulus elastisitas beton *integral waterproofing* dengan penambahan *fly ash*.
2. Untuk mengetahui hasil kuat tarik belah beton *integral waterproofing* dengan penambahan *fly ash*.
3. Untuk mengetahui absorpsi atau resapan air beton *integral waterproofing* dengan penambahan *fly ash*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi dan mengoptimalkan pemanfaatan limbah *fly ash* yang selama ini masih belum banyak digunakan dalam pengembangan teknologi dan komposisi campuran beton.
2. Dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu dan pengetahuan tentang material yang digunakan pada beton *integral waterproofing*
3. Memberikan informasi kepada para akademisi dan industri konstruksi beton bahwa *fly ash* dapat digunakan dalam campuran beton integral.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Supaya penelitian ini berjalan dengan lancar maka diperlukan batasan-batasan masalah penelitian agar apa yang dianalisa sesuai dengan rencana. Diantaranya yaitu :

1. Pada penelitian ini pengujian beton untuk kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan absorpsi atau resapan air.
2. Pecampuran atau *mixing* dan uji beton dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Jember.
3. Agregat kasar yang digunakan berupa kerikil atau batu pecah ukuran maksimal 20 milimeter.
4. Jenis agregat halus adalah pasir lumajang.
5. Semen yang digunakan adalah tipe PPC (*Portland Pozzolan Cement*)
6. Material *fly ash* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu tipe F yang berasal dari sisa pembakaran batubara di PLTU Paiton (Jawa Timur)
7. Presentase penambahan *waterproofing integral damdex* sebesar 1,5% dari berat semen total.
8. Komposisi penambahan campuran *fly ash* yaitu 5%, 10%, 15% dari total penggunaan semen.
9. Umur pengujian tiap sampel benda uji beton selama 7 dan 28 hari, khusus untuk absorpsi dan modulus elastisitas hanya dilakukan pengujian pada usia 28 hari.
10. Metode curing yang dilakukan dengan cara direndam kedalam air sampai pada umur pengujian yang telah direncanakan.
11. Bekisting untuk benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan lebar 15 cm.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran agregat halus, agregat kasar, semen, air dan atau tidak menggunakan bahan tambah pembentuk massa padat. (SNI 03-2834-2000). Sifat beton memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan diantaranya adalah sebagai berikut (Tjokrodimulyo,1996) :

a. Kelebihan Beton

1. Beton dapat memikul gaya aksial atau tekan dengan baik dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang menyebabkan terjadinya korosi dan pembusukan.
2. Adonan beton dapat dicetak berdasarkan dengan keinginan dan cetakan beton dapat digunakan berkali-kali sehingga dapat menekan biaya yang berlebih.
3. Adonan beton segar juga dapat disemprotkan atau diisikan (*injection*) pada retakan beton untuk proses *repair*
4. Adonan beton segar juga dapat disalurkan pada tempat yang sulit dijangkai dengan menggunakan *concrete pump*
5. Beton yang telah mengeras juga dapat menahan panas sehingga menjadi tahan terhadap kebakaran sehingga tidak membutuhkan perawatan yang mahal.

b. Kekurangan Beton

1. Beton tidak kuat menahan gaya tarik sehingga mudah sekali untuk mengalami retakan. Maka dari itu, perlu ditambahkan tulangan untuk memperkuat gaya tariknya.
2. Perlunya diberikan *expansion joint* pada beton supaya meminimalisir terjadinya retakan akibat perubahan suhu.
3. Perlu pekerjaan yang lebih teliti supaya menghasilkan beton kedap terhadap air dengan baik.
4. Sifat beton tidak daktil (getas) oleh karena itu perlu dihitung dan diteliti pada perencanaannya supaya setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi daktil.

2.2 Material Penyusun Beton

Pemilihan bahan material pembentuk beton dapat mempengaruhi hasil kualitas dari beton, maka dari itu perlu dilakukan pemilihan yang tepat untuk komposisi beton yang akan dicampur.

2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil yang mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm dan didapatkan dari hasil desintegrasi alami yang berasal dari batu (SNI 03-2834-2000). Menurut Departemen Pekerjaan Umum tahun 1982, agregat kasar atau kerikil harus memiliki beberapa kriteria fisik diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Syarat fisik

1. Besaran agregat maksimum tidak lebih dari $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau antara tulangan dengan bekisting, tidak lebih dari $\frac{1}{3}$ tebal plat dan $\frac{1}{5}$ jarak terkecil bidang samping cetakan.
2. Didapatkan nilai kurang dari 16% pada bagian hancur yang lolos ayakan ukuran 2 mm pada saat diuji dengan bejana rudeloff.
3. Didapatkan nilai kurang dari 27% berat ketika diuji dengan Los Angeles.
4. Kandungan lumpur pada agregat harus kurang dari 1%.
5. Pada syarat beton mutu tinggi, bagian agregat yang memanjang dan pipih maksimum 20% berat.

b. Syarat kimia

1. Didapatkan nilai kehancuran maksimal 12% ketika diuji terhadap Na_2SO_4 .
2. Kemampuan bereaksi terhadap alkali harus negatif sehingga tidak berbahaya.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang memiliki butir maksimal 5 milimeter dan berasal dari pasir alam yang terjadi dari hasil desintegrasi alamiah oleh batu atau pasir yang diproduksi oleh perusahaan industri pemecah batu. (SNI 03-2834-2000). Butiran pasir maksimal 5% untuk ukuran yang lebih kecil dari 0,063 milimeter. (Departemen Pekerjaan Umum, 1982).

2.2.3 Semen Portland (PC)

Semen portland merupakan perekat hidraulik dapat bereaksi ketika dicampur dengan air yang terbuat dari senyawa silikat kalsium dan bahan tambah gypsum. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, semen portland dapat dibagi menjadi lima yaitu :

- a. Semen Portland tipe I, digunakan secara umum dan tidak memiliki persyaratan khusus.
- b. Semen Portland tipe II, digunakan pada lingkungan yang memiliki kandungan kalor hidrasi menengah dan sulfat.
- c. Semen Portland tipe III, digunakan ketika diperlukannya kekuatan yang tinggi diwaktu awal.
- d. Semen Portland tipe IV, digunakan ketika kondisi lingkungan memiliki panas hidrasi yang rendah.
- e. Semen Portland tipe V, digunakan pada kondisi lingkungan yang memiliki kandungan sulfat.

Selain itu, jenis semen lain juga dibagi menjadi beberapa kelompok diantaranya yaitu :

- a. Semen PPC merupakan semen dengan komposisi dari campuran homogen semen portland dengan bahan yang mempunyai sifat pozolan. Reaksi pengikatan dengan campuran semen PPC akan terjadi lebih lama akan tetapi dapat memudahkan proses pengerjaannya. Selain itu, kuat tekan beton pada usia awal akan lebih rendah dan pada umur lama akan semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan masih terdapat reaksi kimia dari semen PPC diantaranya yaitu silika aktif pozolan dan Ca(OH)_2 yang kemudian membentuk senyawa CSH.
- b. Semen PCC adalah bahan pengikat hidrolisis dari komposisi antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain seperti pozzolan, senyawa silika, batu kapur dengan kadar total 6-35% dari masa semen portland komposit. (SNI 15-7064-2004).
- c. Semen OPC

2.2.4 Air

Air merupakan pereaksi semen dari serbuk mortar didalam beton (proses hidrasi). Selain itu, air berfungsi untuk membuat beton menjadi lecah (workable) (Nugraha.P, Antoni, 2007).

2.3 Fly Ash

Fly ash (abu terbang) adalah *admixture* atau bahan tambah yang dapat memperbaiki sifat beton. Penggunaan abu terbang sebagai *filler* atau bahan tambah dapat membuat workability menjadi meningkat, lebih padat dan dapat tahan dari serangan kimia. (Maryoto, Agus. 2009). *Fly ash* atau abu terbang dapat diklasifikasikan sebagai pozzolan, istilah pozzolan tersebut dari negara Italy (Pozzuoli) yang menciptakan bahan perekat alamiah (Sugiyanto, dkk, 2000).

a. Karakteristik fisik

1. Memiliki ukuran partikel tidak lebih besar dari 0,075 mm dan mempunyai nilai kerapatan antara 2100 sampai dengan 3000 kg/m³. Menurut Inas Luana Ria, 2014. BJ abu terbang atau *fly ash* adalah sebesar 2,22.
2. Memiliki warna coklat kekuning-kuningan
3. Ukurannya berkisar diantara 0,005-0,074 mm.

Berdasarkan ASTM C-618, *fly ash* diklasifikasikan menjadi dua yaitu :

- a. Tipe F merupakan sisa dari pembakaran batu bara pada jenis antrasit atau bituminous,
- b. Tipe C merupakan sisa dari pembakaran batu bara pada jenis lignite atau subituminous.

Sedangkan menurut SK SNI S-15-1990-F, abu terbang atau *fly ash* yang digunakan pada campuran beton ada tiga yaitu :

- a. Tipe F, berasal dari sisa pembakaran batubara pada jenis antrasit dan bituminous pada suhu 1560°C
- b. Tipe N, berarasl dari klasinasi oleh pozzolan alam.
- c. Tipe C, merupakan hasil pembakaran dengan kadar karbon 60% yang dilakukan pada lignit atau batu bara. *Fly ash* atau abu terbang tersebut memiliki kadar kapur diatas 10% yang hampir sama dengan semen.

Pada campuran beton, *fly ash* tipe F memiliki ikatan lebih baik dikarenakan tipe C dihasilkan dari hasil pembakaran batu bara yang relatif sebentar dan memiliki warna lebih terang daripada abu terbang tipe F dan lebih ringan. (Standar ASTM C.618).

Tabel 2.1 Kandungan Kimia *Fly Ash*

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis N
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70	50
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	5	5
Kadar Air, Maksimum %	3	3
Kehilangan Panas, Maksimum %	6	6

Sumber: Tri Mulyono, 2003

Fly ash pada campuran beton memiliki beberapa kelebihan yaitu diantaranya adalah sebagai berikut :

- Mempermudah proses pengerjaan pada beton (*workability*)
- Mereduksi panas dari hidrasi semen.
- Meningkatkan durability terhadap lingkungan yang memiliki kandungan sulfat
- Meningkatkan durability terhadap reaksi alkali dan silika.
- Dapat meningkatkan usia beton.
- Dapat meningkatkan kuat tekan beton.
- Dapat meningkatkan durability pada beton.
- Mereduksi penyusutan.
- Mereduksi resapan air dan porositas beton.

Selain itu, *fly ash* juga memiliki kelemahan terhadap campuran beton :

- Pengerasan dan hasil kekuatan tekan maksimal pada beton harus membutuhkan waktu yang lebih lama karena reaksi pozzolan dari *fly ash*
- Perlu dilakukan *Quality control* secara berkala karena kualitas *fly ash* ditentukan dari proses pembakarannya (suhu) dan jenis batu baranya.

2.4 Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton dapat diklasifikasikan menjadi 2 diantaranya yaitu :

- Sifat jangka pendek

Sifat jangka pendek ini meliputi kuat tekan beton, modulus elastisitas dan kuat tarik beton.

b. Sifat jangka panjang

Sifat jangka panjang ini meliputi *creep* dan susut.

2.4.1 Sifat Mekanik Tekan Beton

Kuat tekan beton dapat menjadi kriteria atau parameter terhadap ketahanan beton. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton dalam menahan atau menerima gaya aksial tekan persatuan luas dimana dapat ditulis dalam rumus :

$$F_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

F_c : Nilai kekuatan tekan beton (megapascal)

P : Beban aksial maksimum (Newton)

A : Luasan alas benda uji (mm^2)

Prosedur dalam pelaksanaan pengujian kuat tekan beton sebagai berikut :

- a. Benda uji diletakkan pada alat uji kuat tekan beton secara simetris.
- b. Alat uji kuat tekan dijalankan dengan beban konstan 2-4 kg/m^2 per detik.
- c. Benda uji diuji pembebanan sampai dengan runtuh dan kemudian dicatat beban maksimumnya.

2.4.2 Sifat Mekanik Modulus Elastisitas Beton

Nilai modulus elastisitas beton sangat bervariasi sehingga beton tidak memiliki nilai modulus elastisitas yang pasti. Faktor yang mempengaruhi nilai dari modulus elastisitas diantaranya yaitu kuat tekan, usia dan karakteristik beton, jenis pembebanan pada beton dan *mix design*.

Modulus elastisitas atau *modulus young* adalah rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan dibawah batas proporsional material (SNI 2847-2019).

Menurut ASTM C 469, nilai ditetapkannya modulus elastisitas terjadi pada saat rasio atau nilai tegangan mencapai 40% dari tegangan runtuh terhadap regangan yang sesuai dengan tegangan pada kondisi tersebut.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- E = Modulus elastisitas beton (Mpa)
- σ_2 = Tegangan 40 % dari tegangan runtuh (Mpa)
- σ_1 = Tegangan pada nilai kurva regangan ε_1 (Mpa)
- ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada σ_2
- $\varepsilon_1 = 0,00005$

Untuk nilai koreksi hasil perhitungan laboratorium dapat digunakan rumus perhitungan modulus elastisitas menurut ACI 363 R – 92 tentang “*State of the Art Report on High-Strength Concrete*” untuk beton dengan nilai kuat tekan 21 MPa < ... < 83 MPa adalah sebagai berikut :

$$E_c = 3320 \sqrt{f'_{c'}} + 6900 \text{ MPa} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- E_c = Modulus elastisitas beton
- $f'_{c'}$ = Kuat tekan beton.

Menurut Kmiecik.P, dkk (2011) menyatakan bahwa nilai tegangan pada titik singgung dan kurva tegangan-regangan pada perilaku struktur non linier dapat dihitung dengan nilai regangan hasil uji laboratorium. Perhitungan hubungan tegangan dan regangan dapat menggunakan persamaan dari Madrid Parabola dan Desay and Krishnan untuk menentukan nilai tegangan pada titik singgung (tangen point), sedangkan rumus perhitungan modulus elastisitas diambil dari beberapa standart. Adapun persamaan hubungan tegangan – regangan untuk perilaku struktur non linier adalah sebagai berikut :

1. Persamaan Madrid Parabola

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \right) \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- σ_c = Tegangan Beton
- E_c = Modulus Elastisitas Beton
- ε_c = Regangan Beton
- $\varepsilon_{c1} = 0,7 (F_{cm})^{0,31}$

2. Persamaan *Desay and Krishnan*

$$\sigma_c = \frac{E_c \varepsilon_c}{1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}\right)^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- σ_c = Tegangan Beton
- E_c = Modulus Elastisitas Beton
- ε_c = Regangan Beton
- ε_{c1} = $0,7 (F_{cm})^{0,31}$

2.4.3 Sifat Mekanik Kuat Tarik Belah Beton

Menurut SNI 2491-2014, kekuatan tarik belah digunakan dalam mendesain elemen struktur beton untuk mengevaluasi tahanan geser beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari tulangan. Selain itu, kekuat tarik belah pada umumnya lebih besar dari kekuatan tarik langsung dan lebih rendah dari kekuatan lentur (*modulus of repture*).

Besaran dari kuat tarik belah beton dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- F_{ct} : Kuat tarik belah pada beton (MPa)
- P : Beban uji tarik maksimum (N)
- L : Panjang benda uji silinder (mm)
- D : Diameter benda uji silinder (mm)

Prosedur dalam pengujian kuat tarik belah beton adalah sebagai berikut :

- a. Benda uji diberi tanda garis tengah
- b. Benda uji diletakkan pada posisi dengan mengacu pada garis tengah.
- c. Beban diberikan secara menerus dengan kecepatan konstan antara 0,7-1,4 MPa per menit sampai benda uji hancur.

2.4.4 Sifat Mekanik Rangkak

Rangkak (*creep*) merupakan perubahan bentuk pada beton secara permanen yang diakibatkan oleh beban tetap yang terus bekerja.

2.4.5 Sifat Mekanik Susut

Susut adalah berubahnya berat isi beton yang dikarenakan hilangnya uap air secara signifikan ketika terjadi penguapan pada beton.

2.5 Karakteristik Beton Segar (*Fresh Concrete*)

Karakteristik beton segar masih berbentuk cairan atau adonan. Adapun yang berhubungan dengan sifat fisik adonan beton segar adalah sebagai berikut :

1. *Workability*

Workability beton adalah parameter untuk menentukan kemudahan pencampuran beton sampai dengan pemadatan pada saat proses *mixing*.

Hal-hal yang dapat mempengaruhi *workability* yaitu :

- a. Banyaknya penggunaan air
- b. Penggunaan semen pada campuran beton yang diiringi penambahan air guna mendapatkan nilai FAS konstan atau tetap.
- c. Zona gradasi pada campuran agregat.
- d. Penggunaan butir maksimum agregat kasar.
- e. Penggunaan banyaknya agregat halus.

2. Bleeding

Bleeding atau kondisi dimana air kecenderungan meningkat permukaan yang terjadi pada campuran beton yang telah dituangkan kedalam bekisting untuk proses pemadatan. Proses terjadinya bleeding dapat diatasi, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Menambahkan semen lebih.
- b. Mengurangi penggunaan air.
- c. Pasir yang digunakan lebih banyak.

3. Segregasi

Segregasi adalah kondisi dimana seluruh elemen campuran beton memisahkan diri dari campuran adukan beton. Penyebab terjadinya segregasi ini bisa ditimbulkan oleh jumlah semen yang rendah, kadar air terlalu tinggi, kurangnya agregat halus.

2.6 Porositas Beton

Beton merupakan benda padat yang memiliki pori sehingga dapat berpengaruh terhadap kuat tekan beton dan mudah menyerap air. (Maryoto, Agus.

2014). Porositas beton merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda. Nilai porositas beton memiliki hubungan langsung dengan sifat mekanik beton yang meliputi kekedapan, keawetan dan kuat tekan beton. Semakin kecil nilai w/c ratio, maka pori-pori kapiler pada semen akan semakin baik (semakin kecil). Menurut Retno Anggraini, (2008). Nilai porositas beton dapat meningkat, hal tersebut disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar yang diakibatkan dari pemuai material pengisi beton dan penguapan air. Uji porositas beton didasarkan pada *British Standart 1881, Part 122* (2011) tentang *method for determination of water absorption beton integral waterproofing*. Adapun langkah - langkah pengujian *water absorbtion* beton *integral waterproofing* adalah sebagai berikut :

- a. Siapkan benda uji berbentuk silinder ukuran dia.15 dan tinggi 30 cm umur 24 hari untuk pengujian absorpsi pada umur 28 hari
- b. Jumlah beton minimum 2 buah
- c. Oven beton selama 3 hari dengan temperatur $\pm 105^{\circ}\text{C}$
- d. Setelah dioven selama 3 hari kemudian beton didiamkan dalam udara bebas selama 1 hari
- e. Kemudian timbang berat kering beton dan kemudian catat.
- f. Setelah itu rendam beton selama 30 menit dengan permukaan beton harus terendam 2,5 cm dari atas permukaan air.
- g. Terakhir, angkat beton kemudian timbang berat basah dan catat.

Adapun rumus untuk menghitung besarnya resapan air sebagai berikut :

$$\text{Absorption after immersion (\%)} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

A : Berat sampel kondisi basah setelah direndam (gram)

B : Berat sampel kondisi kering (gram)

Kualitas beton baik untuk nilai absorpsi jika kurang dari 3%, rata-rata untuk 3-5% dan jelek diatas 5%. (*British Standart 1881 - 122 : 2011*)

Menurut SNI 03-2914-1992, Ketentuan minimum beton bertulang kedap air yang harus dipenuhi apabila diuji dengan cara perendaman dalam air adalah sebagai berikut :

- a. Apabila direndam dalam waktu 10+0,5 menit, Resapan (*absorbtion*) maksimum 2,5% terhadap berat beton kering oven.
- b. Apabila direndam dalam waktu 24 jam, resapan maksimum 6,5% terhadap berat beton kering oven.

2.7 Waterproofing

2.7.1 Waterproofing admixtures

Waterproofing adalah senyawa kimia yang digunakan untuk mengurangi resapan air dan *permeability* pada beton (Nugraha, Paul, dkk. 2007). Menurut Neville (1996) bahan tambah kepad air memiliki beberapa aksi tetapi efek yang paling menonjol adalah membuat beton menjadi *hydrophobic* (Menolak Air). Selanjutnya, menurut Hewlet (1996) menyatakan bahwa senyawa kimia ini dapat mengurangi resapan air beton normal dan membuat beton menjadi lebih kedap terhadap air. Komposisi *waterproofing admixtures* biasanya terdiri dari *silikat, blast furnace slag, pozzolan, bettonite, talk. Water-repellent* bisa mengurangi efek gaya kapiler dan kerennanya mengurangi derajat kejenuhan beton. Agen *water-repellent* adalah kalsium stearat, butyl stearat, sabun-sabun lain, emulsi minyak, dan sebagainya. (Nugraha, Paul, dkk. 2007)

2.7.2 Macam-macam waterproofing

Waterproofing biasa dikenal sebagai lapisan yang memiliki ketahanan terhadap rembesan air yang terdapat pada atap dag beton, Steward Treatment Plant atau STP, Ground Water Tank atau GWT, dinding basement dan lainnya. Macam-macam *waterproofing* adalah sebagai berikut :

- a. *Waterproofing membrane*, merupakan tipe waterproofing yang menggunakan lembaran yang terbuat dari bahan monomer kimia, etilena, propilena yang dicampur karet. Biasanya digunakan untuk struktur dak atau atap beton. Lembaran membran disusun sesuai dengan keperluan seluruh permukaan struktur yang dilindungi
- b. *Waterproofing Coating*, merupakan tipe waterproofing yang digunakan untuk melindungi permukaan dinding, bak, tanki dan juga dapat dipergunakan untuk permukaan kayu.

- c. *Waterproofing integral*, merupakan modifikasi dalam bidang waterproofer. *Waterproofing integral* dikembangkan karena sifat beton yang tidak dapat menahan terhadap resapan atau tekanan air sehingga dibutuhkan bahan tambah yang berguna untuk membuat sifat beton menjadi lebih *watertight* atau kedap terhadap air. Adapun jenis-jenis dari cairan integral adalah sebagai berikut :
1. Cairan integral yang dapat meningkatkan slump beton dan mengandung plasticiser yang terdapat sistem hidrofobik atau zat yang tidak dapat larut dengan air sehingga beton menjadi lebih padat dan kedap air.
 2. Integral Kristalisasi adalah sistem hidrofilik yang menggunakan campuran tambah mutu tinggi dan memiliki kemudahan dalam aplikasi beton dan memiliki fungsi waterproofing dan melindungi beton dari korosi.

2.8 *Waterproofing “Damdex”*

Damdex adalah cairan kimia yang berfungsi sebagai bahan tambah (*additive*) dalam campuran beton yang dapat membuat beton menjadi tahan terhadap rembesan air atau kedap air.



Gambar 2.1 *Damdex*

Damdex memiliki kegunaan sebagai berikut :

- a. Meningkatkan kualitas beton sampai dengan 12%
- b. Membuat beton menjadi tahan bocor.
- c. Tidak menyebabkan korosi untuk tulangan besi pada beton.
- d. Mempercepat pengerasan beton hingga 50%

Dosis yang dianjurkan untuk *Damdex* adalah 0,5-2% dari total berat semen.

2.9 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang beton *waterproofing integral*, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Antara Beton Normal dan Beton *Integral Waterproofing*

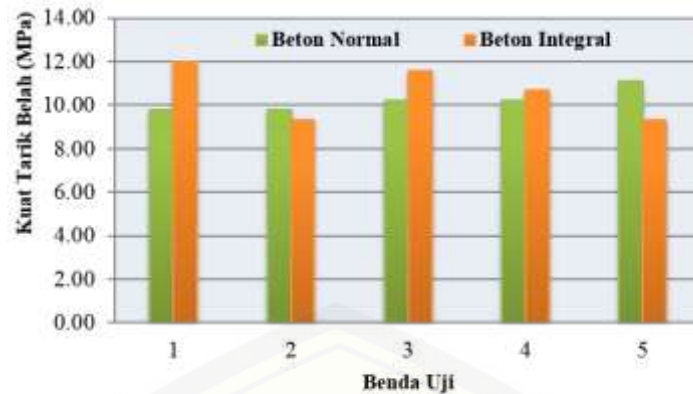
Hasil analisis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Hasil pengujian dan perhitungan nilai kuat tekan karakteristik beton, dapat diketahui beton normal memiliki kekuatan lebih besar dibandingkan dengan beton *waterproofing integral* (*Merguss Normal*). Untuk beton normal nilai $f'c = 29.77$ Mpa sedangkan untuk beton *waterproofing integral* nilai $f'c = 27.50$ Mpa. Dengan demikian penambahan *waterproofing integral* dalam kasus ini memberikan dampak negatif pada mutu beton dan nilai kuat tekan beton hasil penambahan *waterproofing integral* hasilnya dibawah kuat tekan beton normal.



Gambar 2.2 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan
Sumber : I Made Jaya, 2017.

- Berdasarkan hasil perhitungan nilai kuat tarik belah rata-rata pada beton, dapat dilihat untuk beton normal nilai kuat tarik belah (f_{ct}) = 10.22 Mpa sedangkan untuk beton integral nilai $f_{ct} = 10.58$ Mpa. Terjadi peningkatan sebesar 3,52% pada kuat tarik beton integral terhadap nilai kuat tarik beton normal.



Gambar 2.3 Grafik perbandingan hasil kuat tarik beton normal dan beton integral
Sumber: I Made Jaya, 2017.

2. Pengaruh Penambahan *Waterproofing Integral* Terhadap Mutu Beton

Dari penelitian ini didapat kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penggunaan *waterproofing integral* dengan merk damdex dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada seluruh usia pengamatan beton.

Tabel 2.2 Hasil kuat tekan beton *waterproofing integral*

Proporsi <i>waterproofing integral</i> (%)	Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari	Presentase Penurunan (%)
0	251.3 kg/cm ²	-
0,5	188.6 kg/cm ²	-33.24
1	186 kg/cm ²	-35.1
1,5	177 kg/cm ²	-41.97
2	181 kg/cm ²	-38.83

Sumber : Fernando Tampubolon, 2012.

- b. Beton normal memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton *integral waterproofing*

3. Studi Eksperimental Absorpsi, Pra dan Pasca Bakar terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas Beton Menggunakan Damdex (*Waterproofing*) sebanyak 2% dan Penambahan *Crumb Rubber* sebagai Filler dengan Presentase 5%;5,5%;6%

Berdasarkan penelitian tersebut didapat kesimpulan sebagai berikut :

- a. Hasil pengujian kuat tekan beton normal pra bakar berbentuk silinder ukuran 7,5 x 15 cm umur 28 hari sebesar 25.08 Mpa

- b. Beton kedap air pra bakar dengan penambahan damdex 2% dan *crumb rubber* dengan presentase 5%,5,5%,6% secara berturut-turut sebagai berikut 23.52 Mpa, 23.66 Mpa, 29.88 Mpa
- c. Hasil pengujian kuat tekan beton normal pasca bakar sebesar 18.05 Mpa
- d. Beton kedap air pasca bakar dengan penambahan damdex 2% dan *crumb rubber* dengan presentase 5%,5,5%,6% secara berturut-turut sebagai berikut 15.52 Mpa, 16.49 Mpa, 16.97 Mpa.
- e. Pengujian absorpsi beton normal setelah direndam selama 15 menit sebesar 1,97% sedangkan perendaman selama 24 jam didapat hasil sebesar 3.51%
- f. Pengujian absorpsi beton kedap air setelah direndam selama 15 menit dengan penambahan damdex 2% dan *crumb rubber* presentase 5%,5,5%,6% didapat hasil secara berturut-turut yaitu 0.903%, 0.823%, 0.772% sedangkan setelah direndam 24 jam didapat hasil sebesar 2.60% ,2.55% ,2.29%
- g. Nilai kekuatan tekan maksimal terdapat pada proporsi campuran damdex 2% dan *crumb rubber* sebesar 6% dengan kondisi pra bakar dengan nilai kuat tekan 29,88 Mpa.
- h. Diketahui juga bahwa pembakaran akan membuat pori yang ada pada beton membesar sehingga akan membuat rendah kuat tekan beton dan membuat daya serap terhadap airnya meningkat.

4. Kuat Tekan Beton Dengan Aditif *Fly Ash* Ex. PLTU MPANAU TAVAELI

Dari hasil analisis penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan yaitu :

- a. Penambahan material *fly ash* sebagai *filler* pada umur 28 hari dengan variasi 5% didapat rata-rata kuat tekan sebesar 33.9137 Mpa, variasi 10% sebesar 35.3291 Mpa, variasi 15% sebesar 36.1783 Mpa, variasi 20% sebesar 36.8011 Mpa dan variasi 25% sebesar 37.2541 Mpa atau mengalami peningkatan terhadap beton normal.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Kuat tekan beton dengan variasi *fly ash*

Sumber : I Wayan Sunartia, 2011.

- b. Penggunaan abu terbang sebagai *filler* memberikan dampak peningkatan terhadap kuat tekan.

5. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air pada Mortar.

Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa :

- Penambahan abu terbang dengan presentase 5%,10%,15% dan 20% dari berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan mortar.
- Penambahan abu terbang dapat membuat mortar menjadi lebih kedap air, ini dikarenakan abu terbang difungsikan sebagai filler.
- Kondisi yang paling optimum dari penggantian semen dengan abu terbang baik ditinjau dari kuat tekan dan resapan air terjadi pada presentase 15%.

6. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air Pada Mortar

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Terjadi penurunan resapan air pada usia pengamatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari

Tabel 2.3 Penurunan serapan air 7 hari

Prosentase abu terbang	Resapan efektif (%)	Penurunan resapan (%)
0%	2,76	0
5%	2,36	14,75
10%	2,33	15,75
15%	2,3	16,67
20%	2,33	15,82
30%	2,51	9,3

Tabel 2.4 Penurunan serapan air 14 hari

Prosentase abu terbang	Resapan efektif (%)	Penurunan resapan (%)
0%	2,47	0
5%	2,23	9,98
10%	2,15	12,98
15%	2,12	14,26
20%	2,13	13,82
30%	2,41	2,62

Tabel 2.5 Penurunan serapan air 28 hari

Prosentase abu terbang	Resapan efektif (%)	Penurunan resapan (%)
0%	2,17	0
5%	2,01	7,52
10%	1,98	8,57
15%	1,67	23,07
20%	1,73	20,39
30%	2,13	1,95

- b. Terjadi kenaikan kuat tekan hingga prosentase penambahan abu terbang sebesar 15% pada usia pengamatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari

Tabel 2.6 Nilai Kuat Tekan Mortar 7 Hari

Prosentase abu terbang	Kuat Tekan Hancur (kg/cm²)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
0%	248,4	0
5%	261,6	5,31
10%	306,4	23,35
15%	332	33,66
20%	319,2	28,5
30%	240	-3,38

Tabel 2.7 Nilai Kuat Tekan Mortar 14 Hari

Prosentase abu terbang	Kuat Tekan Hancur (kg/cm²)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
0%	304,8	0
5%	310,4	1,84
10%	331,20	8,66
15%	367,20	20,47
20%	349,60	14,7
30%	285,60	-6,3

Tabel 2.8 Nilai Kuat Tekan Mortar 28 Hari

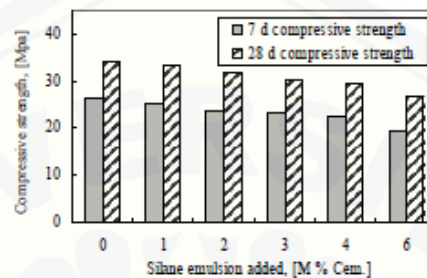
Prosentase abu terbang	Kuat Tekan Hancur (kg/cm²)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
0%	333,6	0
5%	344,4	3,12
10%	366,40	9,83
15%	420	25,9
20%	396,69	18,71
30%	316,80	-5,04

7. Persiapan dan Karakteristik Bahan Integral Berbasis Semen Anti Air (*Preparation and Characteristics of Integral Water Repellent Cement-based Materials*)

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa :

- Kuat tekan beton berkurang sekitar 10% pada penambahan emulsi silan sebesar 3% dibandingkan dengan beton normal.

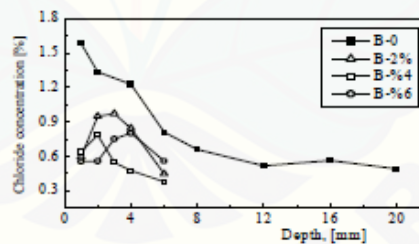
Results and Discussion



Gambar 2.5 Grafik Hasil kuat tekan *integral water repellent concrete* pada usia 7 dan 28 hari

Sumber : Peng Zang, dkk. 2011

- Beton anti air yang terintegrasi juga dapat mengurangi penetrasi klorida secara significant (*chloride permeability test*). Dengan cara ini dapat memperpanjang umur struktur beton bertulang dilingkungan agresif.



Gambar 2.6 *Chloride Profiles Measured In Neat Concrete and Integral Water Repellent Concrete*

Sumber : Peng Zang, dkk. 2011.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian tentang pengaruh penambahan *fly ash* terhadap sifat mekanik beton *integral waterproofing* dilakukan pada bulan Januari-April 2020. Proses pencampuran (*mixing*) dan uji beton dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan penelitian

No	Nama Kegiatan	Bulan ke 1				Bulan ke 2				Bulan ke 3				Bulan ke 4			
		Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengumpulan Bahan	■															
2	Pengujian Material					■											
3	<i>Mix Design</i>									■							
4	Pengecoran Beton									■							
5	Curing benda uji									■				■			
6	Pengujian benda uji													■			
7	Analisis data dan pembahasan													■			

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode penelitian dengan cara mendapatkan data primer secara langsung melalui pengujian benda uji dari berbagai komposisi campuran di laboratorium. Untuk menunjang penelitian ini dilakukan suatu metode pendekatan dengan mengumpulkan data dari penelitian sebelumnya (Data Sekunder) dengan permasalahan yang berkaitan

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Timbangan
- b. Mesin *shieve shaker*
- c. Oven

- d. Satu set ayakan (standar ASTM)
- e. Sikat kuningan
- f. Gelas ukur
- g. Picnometer
- h. *Micrometer scrup*
- i. Neraca *mounting table*
- j. Keranjang kawat ukuran 3,55 mm (No.6)
- k. Bag air
- l. *Slump test*
- m. Penggaris
- n. Palu
- o. Loyang
- p. Bak
- q. Sekop
- r. Rojokan.
- s. Jangka sorong
- t. Kerucut abrams.
- u. Cetakan silinder beton ukuran diameter 15 x 30 cm
- v. Mesin pencampur bahan (mixer/molen)
- w. *Universal Testing Machine*

3.3.2 Bahan

Bahan yang dipakai untuk penelitian ini meliputi :

- a. Agregat halus

Agregat halus atau pasir yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir lumajang

- b. Agregat kasar

Agregat kasar atau kerikil yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu pecah

- c. Semen

Semen yang digunakan yaitu semen tipe PPC (*Portland Pozzolan Cement*)

- d. Air

Air yang digunakan adalah air sumur biasa yang berasal dari Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

e. *Waterproofing integral*

Waterproofing integral yang digunakan adalah merk *DAMDEX*

f. *Fly ash*

Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Paiton, Jawa Timur.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel merupakan sesuatu yang menjadi objek pengamatan penelitian, sering juga disebut sebagai faktor yang berperan dalam penelitian atau gejala yang akan diteliti. Variabel dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu :

a. Variabel bebas (Independen)

Variabel bebas merupakan variabel yang menyebabkan munculnya variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi komposisi material penyusun beton *Integral Waterproofing* dan ukuran butir agregat, yaitu :

1. Komposisi material beton *waterproofing integral* dengan *fly ash*
2. FAS
3. Ukuran agregat maksimum
4. Tipe semen
5. Jumlah minimum semen tipe PPC sebesar 380kg/m^3
6. Curing benda uji
7. Umur benda uji

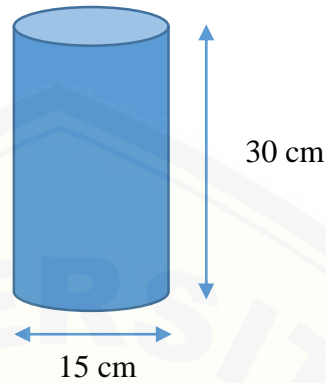
b. Variabel terikat (Dependen)

Variabel terikat merupakan variabel yang menjadi akibat atau muncul akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Slump
2. Kuat tekan
3. Kuat tarik belah
4. Modulus Elastisitas beton
5. Absorpsi

3.5 Benda Uji

Pengujian beton *waterproofing integral* terdiri dari kuat tekan dan kuat tarik belah. Untuk pengujian beton ini diperlukan bentuk benda uji sebagai berikut :



Gambar 3.1 Model benda uji silinder beton

- Ukuran silinder beton \varnothing 15 cm x 30 cm
- Silinder ukuran \varnothing 15 cm x 30 cm digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
- Nilai kuat tekan diambil rata-rata dari 3 silinder dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 30 cm (SNI 03-1974-2011)
- Nilai Modulus Elastisitas diambil dari salah satu sample pada setiap proporsi dari silinder dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 30 cm (ASTM C469)
- Nilai kuat tarik belah beton diambil rata-rata dari 3 silinder dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 30 cm (SNI 03-2491-2012)
- Nilai absorpsi beton diambil rata-rata dari 3 silinder dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 30 cm (*BS 1881 Part 122*)
- Silinder beton yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak 15 buah untuk setiap proporsi campuran, dan dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah pada usia 7 dan 28 hari.
- Sedangkan untuk pengujian absorpsi atau penyerapan air dan modulus elastisitas hanya diuji pada usia 28 hari.

Penelitian ini dibuat dengan memproporsikan beberapa campuran beton *waterproofing integral* menggunakan *fly ash* sebagai *filler*. Adapun rencana penelitian akan dilaksanakan sebagaimana pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Rencana Penelitian

No.	Proporsi campuran	Kuat Tekan					Absorpsi dan Modulus Elastisitas		Total
		Hari ke -		Hari ke -		Hari ke -			
		7	28	7	28				
1.	1,5% Damdex	3	3	3	3	3		15	
2.	1,5% Damdex + 5% Fly Ash	3	3	3	3	3		15	
3.	1,5% Damdex + 10% Fly Ash	3	3	3	3	3		15	
4.	1,5% Damdex + 15% Fly Ash	3	3	3	3	3		15	
Total Benda Uji Seluruhnya								60	

Penggunaan proporsi *waterproofing* sebanyak 1,5% didasarkan atas hasil dari trial atau uji coba peneliti untuk proporsi 0% ; 1% ; 1,5% dan penelitian terdahulu dengan proporsi 0% ; 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2%. Pada proporsi sebanyak 1,5% didapat nilai kuat tekan rendah sehingga peneliti akan menambahkan filler *fly ash* supaya dapat menaikkan kuat tekan beton dan membuat beton menjadi lebih padat sehingga didapat nilai absorpsi yang maksimal.

Pada proses pencampuran beton *integral* dilakukan 3 kali pengecoran pada setiap komposisi campuran dikarenakan keterbatasan volume dari molen atau *mixer* yang akan digunakan sebagai alat pencampuran bahan.

3.6 Standar Pengujian

Standar pengujian pada penelitian ini mengacu pada standart yang berlaku. Berikut beberapa standar yang digunakan akan disajikan pada tabel 3.3 :

Tabel 3.3 Standar Pengujian

No.	Nama Pengujian	Standart Pengujian
1.	Analisa saringan agregat halus	SNI ASTM C 136-2012
2.	Analisa saringan agregat kasar	SNI 1968-1990

3.	Berat jenis dan air resapan agregat halus	ASTM 128-78
4.	Berat jenis dan air resapan agregat kasar	SNI 03-1969-2016
5.	Kelembaban agregat halus dan kasar	ASTM 566-89
6.	Berat volume agregat halus dan kasar	SNI 03-4804-1998
7.	Kadar lumpur agregat halus dan kasar	ASTM C-33
8.	Modulus kehalusan	SII 0052-80
9.	Uji kuat tekan beton	SNI 03-1974-2011
10.	Uji kuat tarik belah beton	SNI 03-2491-2014
11.	Perhitungan modulus elastisitas	ASTM C469
12.	Uji absorpsi atau resapan air	BS 1881-122-2011

3.7 Metode Pengujian Material

Pengujian material ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik atau kelayakan bahan agregat yang akan digunakan dan yang akan direncanakan dalam *mix design*. Uji bahan material dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar yang didasarkan pada peraturan atau standart yang berlaku

3.7.1 Agregat halus

a. Berat volume

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Takaran berbentuk silinder
- Rojokan
- Pasir lumajang keadaan kering

2. Perhitungan

$$BV = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

W1 = Berat Silinder (gram)

W2 = Berat silinder dengan pasir (gram)

V = Volume silinder (cm³)

BV = Berat Volume (gram/cm³)

b. Berat Jenis

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Picnometer
- Oven
- Pasir lumajang pada kondisi SSD (terendam selama 24 jam)

2. Perhitungan

$$BJ \text{ Pasir} = \frac{W_1}{W_3 + W_1 - W_2} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

W1 = Berat pasir SSD (gram)

W2 = Berat picnometer + air + pasir (gram)

W3 = Berat picnometer + air (gram)

c. Kelembaban pasir

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Oven
- Loyang
- Pasir lumajang dalam keadaan asli

2. Perhitungan

$$KP = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

KP = Kelembaban pasir (%)

W1 = Berat pasir asli (gram)

W2 = Berat pasir oven (gram)

d. Air resapan pasir

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Pasir kondisi SSD
- Oven
- Loyang

2. Perhitungan

$$KAR = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana :

- KAR = Kadar Air Resapan (%)
 W1 = Berat pasir SSD (gram)
 W2 = Berat pasir oven (gram)

e. Kadar lumpur

1. Alat dan material

- Gelas ukur dari tabung kaca
- Agregat halus
- Air

2. Perhitungan

$$KL = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana :

- KL = Kadar Lumpur (%)
 V1 = Tinggi pasir (ml)
 V2 = Tinggi lumpur (ml)

f. Analisa saringan

1. Alat dan material

- Ayakan ASTM 1 set
- Timbangan analitis
- Alat penggetar listrik (*shieve shaker*)
- Pasir lumajang dalam keadaan kering oven

2. Kontrol perhitungan

Tabel 3.4 Batas gradasi agregat halus

Nomor	Lubang ayakan (mm)	Persen berat yang lewat ayakan			
		1	2	3	4
4	4.76	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2.38	60-100	75-100	85-100	95-100
16	1.19	30-70	55-90	75-100	90-100

30	0.59	15-35	34-59	60-79	80-100
50	0.297	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0.149	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 03-2843-2000

3.7.2 Agregat kasar

a. Berat volume kerikil

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Takaran silinder
- Alat perojok
- Kerikil kering

2. Perhitungan

$$BV = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana :

W1 = Berat Silinder (gram)

W2 = Berat silinder + kerikil (gram)

V = Volume silinder (cm³)

BV = Berat Volume (gram/cm³)

b. Berat jenis kerikil

1. Alat dan material

- Timbangan
- Kontainer
- Mounting table
- Keranjang sample
- Kerikil dalam kondisi SSD
- Air

2. Perhitungan

$$BJ \text{ Pasir} = \frac{w_1}{w_1 - w_2} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana :

W1 = Berat kerikil di udara (gram)

W2 = Berat kerikil di air (gram)

c. Kelembaban kerikil

1. Alat dan material

- Timbangan analitis
- Oven
- Loyang
- Kerikil/batu pecahan dalam keadaan asli

2. Perhitungan

$$KK = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana :

KP = Kelembaban kerikil (%)

W1 = Berat kerikil asli (gram)

W2 = Berat kerikil oven (gram)

d. Air resapan kerikil

1. Alat dan material

- Timbangan
- Oven
- Kerikil dalam kondisi SSD

2. Perhitungan

$$KAR = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (3.9)$$

Dimana :

KAR = Kadar Air Resapan (%)

W1 = Berat kerikil SSD (gram)

W2 = Berat kerikil oven (gram)

e. Kadar lumpur

1. Alat dan material

- Kerikil dengan berat 500 gram
- Ayakan no. 200
- Ayakan ukuran 38,1 mm
- Nampan pencuci
- Oven
- Timabgan analitis

2. Perhitungan

$$KL = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

KL = Kadar Lumpur (%)

V1 = Berat kerikil eksisting kering oven (gram)

V2 = Berat kerikil bersih kering oven (gram)

f. Analisa saringan

1. Alat dan bahan

- Timbangan
- Satu set ayakan ASTM
- *Shieve shaker*
- Kerikil atau batu pecah dalam keadaan kering oven

2. Perhitungan

Persentase benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan adalah :

$$\frac{\text{Berat komulatif kerikil uji tertahan}}{\text{Berat total kerikil setelah disaring}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.11)$$

3.8 Mix Design

Dalam penelitian ini *Mix Design* didasarkan pada SNI 03-2834-2000 tentang “Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal”. Adapun kebutuhan semen minimum khusus beton bertulang kepad air sesuai pada tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Ketentuan minimum untuk beton bertulang kepad air

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Faktor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran nominal maksimum agregat 40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air tawar	0.50	Tipe – V	280	300
	Air payau	0.45	Tipe I + Pozzolan (15-40%) atau semen Portland Pozzolan	340	380
		0.50	Tipe II atau Tipe V		
		0.45	Tipe II atau Tipe V		
Air laut					

Sumber : SNI 03-2834-2000

3.9 Metode Pembuatan Benda Uji

Tahapan dalam pembuatan beton adalah sebagai berikut :

a. Tahap I : Alat dan Bahan Material Dipersiapkan

Tahap ini adalah tahap persiapan seluruh alat dan bahan material penelitian yang akan digunakan pada beton *waterproofing integral* yang berupa semen, pasir, kerikil, *fly ash*, air dan *DAMDEX*

b. Tahap II : Uji Bahan Material

Tahap ini merupakan tahap pengujian bahan material agregat halus dan agregat kasar sebelum digunakan sebagai bahan campuran beton *waterproofing integral*.

Tahap ini meliputi :

1. Berat jenis
2. Kelembaban

3. Air resapan
4. Berat volume
5. Gradasi zona
6. Kadar lumpur
7. Modulus kehalusan

c. Tahap III : Perencanaan Campuran Pada Beton *Integral Waterproofing*

Tahap ini merupakan tahapan perencanaan komposisi campuran beton (*Mix Design*). Perencanaan *Mix Design* didasarkan pada SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal dan SNI 03-2914-1992 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

d. Tahap IV : Proses Pembuatan Beton *Integral Waterproofing*

Benda uji yang digunakan pada tahapan ini adalah silinder yang memiliki ukuran diameter 15 centimeter dan tinggi 30 centimeter. Tahapan ini meliputi :

1. Mixing beton *integral waterproofing*
2. Uji slump abrams
3. Perletakkan kedalam cetakan atau bekisting
4. Pelepasan beton dari cetalakn atau bekisting

e. Tahap V : Perawatan Beton

Tahap ini merupakan lanjutan dari pelepasan benda uji dari bekisting. Curing atau perawatan pada beton dilakukan selama umur yang telah direncanakan dengan cara direndam dan kemudian dilakukan uji kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah beton, dan absorpsi atau penyerapan air terhadap beton. Proses perendaman ini dilakukan untuk menjaga kualitas beton.

f. Tahap VI : Pengujian Beton

Setelah dilakukan perawatan beton, beton diangkat satu hari sebelum dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan , modulus dan kuat tarik belah pada umur 7 dan 28 hari.

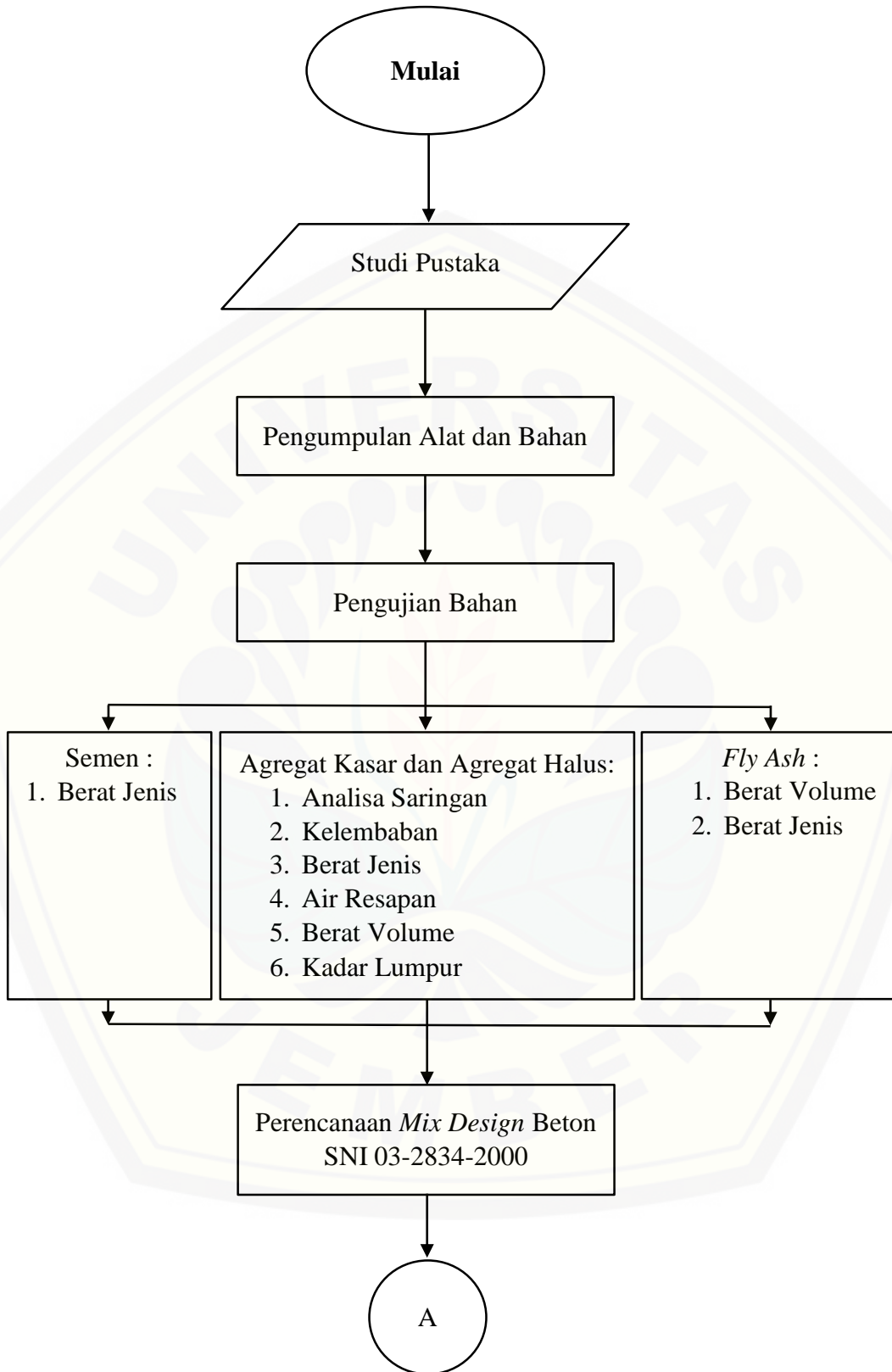
Khusus untuk pengujian absorpsi, beton diangkat pada usia 24 hari dan kemudian dilakukan proses pengovenan dengan suhu tertentu selama 3 hari selanjutnya didiamkan di udara bebas selama 1 hari.

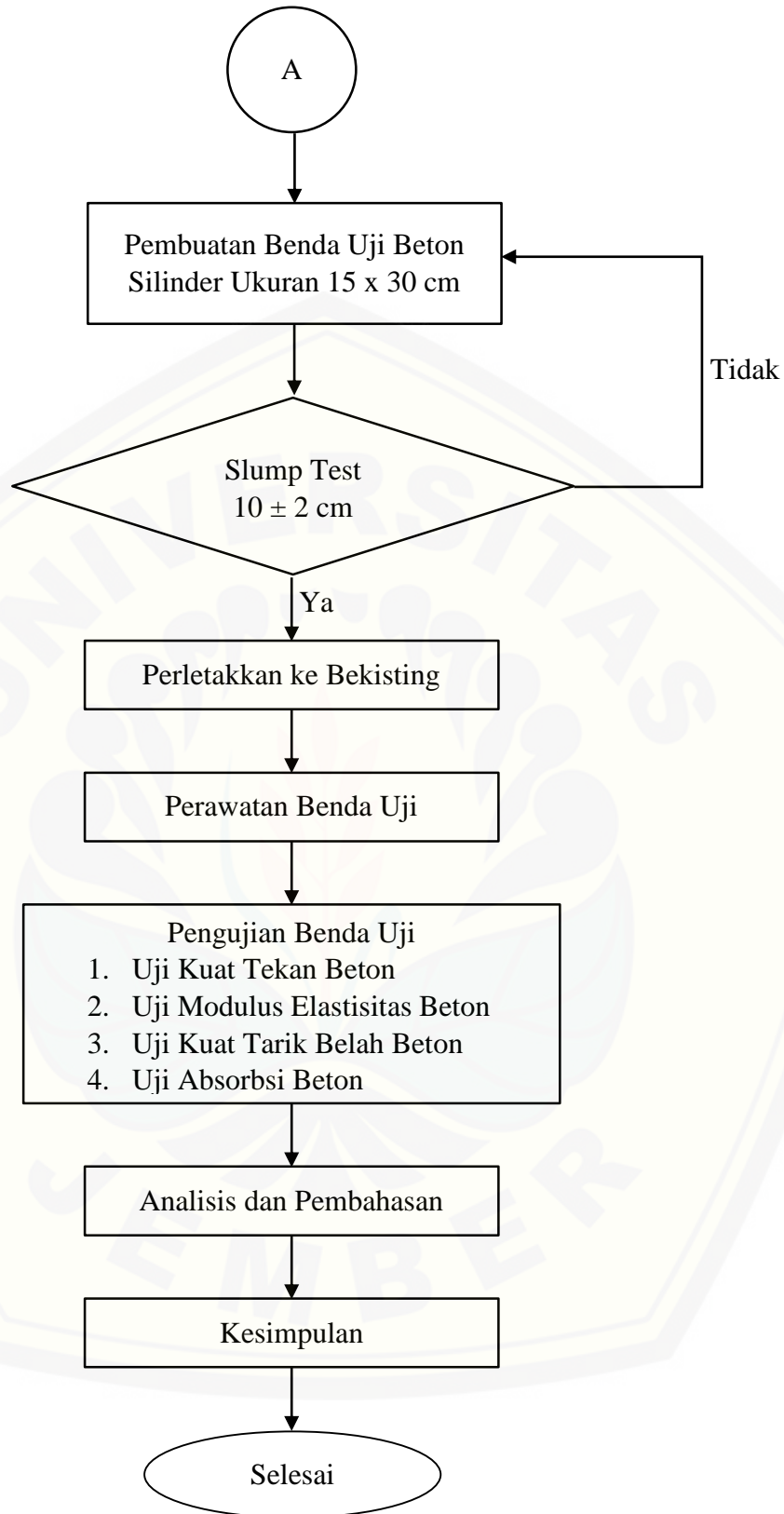
g. Tahap VII : Analisis Data dan Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah didapatkan selanjutnya memasuki proses analisis data. Analisis data yang dilakukan merupakan bahasan dari hasil penelitian yang selanjutnya akan ditarik kesimpulan akhir penelitian.



3.10 Diagram Alir





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian beton segar pada umur 7 dan 28 hari dan analisis perhitungan pada hasil pengujian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan *fly ash* pada beton *integral waterproofing* dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas pada usia pengamatan 7 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan rata-rata tertinggi terdapat pada proporsi *waterproofing* 1,5% dengan filler *fly ash* 15% pada usia pengamatan 7 hari dan 28 hari sebesar 36,33 MPa dan 43,22 MPa dengan nilai modulus elastisitas 24298,18 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah didapatkan pada proporsi *waterproofing* 1,5% dengan *fly ash* 0% pada usia pengamatan 7 hari dan 28 hari sebesar 33,03 MPa dan 33,22 MPa dengan nilai modulus elastisitas sebesar 22441,72 MPa.
2. Berdasarkan pengujian kuat tarik belah beton, pengaruh penambahan *fly ash* pada kuat tarik belah didapatkan nilai terbesar pada campuran *waterproofing* 1,5% dengan filler *fly ash* 15% pada usia pengamatan 7 hari dan 28 hari sebesar 2,95 MPa dan 3,11 MPa. Nilai kuat tarik belah terendah didapatkan pada proporsi *waterproofing* 1,5% dan *fly ash* 0% pada usia pengamatan 7 hari dan 28 hari sebesar 2,50 MPa dan 3,04 MPa.
3. Hasil pengujian *absorpsi* atau resapan air pada beton *integral waterproofing* usia 28 hari didapat nilai konstan yaitu sebesar 0% pada seluruh campuran proposi beton.

5.3 Saran

Adapun saran yang dapat dianjurkan yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi jumlah filler *fly ash* yang lebih besar lagi supaya untuk mengetahui kadar campuran yang paling maksimum pada nilai kuat tekan beton *integral waterproofing*
2. Perlunya mengetahui komposisi cairan *waterproofing* damdex untuk mengetahui karakteristik sesungguhnya dari cairan *waterproofing* damdex.

3. Menambah pengujian permeabilitas pada beton *integral waterproofing* supaya dapat diketahui ketahanan beton *integral waterproofing* pada kondisi lingkungan yang agresif terhadap air.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk metode curing dengan air laut supaya dapat diketahui perilaku dan ketahanan beton *integral waterproofing* pada kondisi lingkungan yang memiliki tingkat keasinan yang tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI 363R-92. *State of The Art Report on High Strength Concrete*.
- ACI Comitte 226. *Use of Fly Ash in Concrete*. Farmington Hills, MI : American Concrete Institute. 1998
- Anggraini, Retno. 2008. *Porositas Beton Mutu Tinggi Pasca Bakar*. Jurnal rekayasa Perencanaan, Vol 4, No.3, Juni 2008.
- ASTM C 618. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*
- ASTM C-33. *Standart Test Method for Resistance of Overglaze Decorations to Attack by Detergents*. ASTM International. United States : 2005
- ASTM C 128. *Standart Test Method for Density, Relative Density (Specific Grafity), and Absorbtion of Fine Agregate*. ASTM International. United States : 2005.
- ASTM C469-02. *Standart Test Method For Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ration of Concrete in Compression*. 1995
- ASTM C 566-89. *Standart Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Agregate by Dring*. ASTM International. United States : 2005.
- Badan Standarisasi Nasional. 1992. *SNI 03 - 2914 – 1992: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *SNI 03-1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Sillinder*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. *SNI 03-2491-2014: Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *ASTM C.136-2012: Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1968-1990:Metode Pengujian tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. *SNI 03-4804-1998:Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI 03-1969-2016:Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 03-2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.

- Badan Standarisasi Nasional. 1989. *SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *SNI 2049-2015. Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- British Standart 1881-122-2011 : Method for Determination of Water Absorbtion*.
- Rifandy, M. Nuranto,S. 2016. *Metode Pelaksanaan Pengecoran Beton dengan Menggunakan Campuran Chemical Admixture Waterproofing Integral Sika Viscocrete 3115N dan Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Integral dengan Beton Normal $f_c'30$ MPa pada Proyek Condominium The Accent, Bintaro, Tangerang Selatan*. Tugas Akhir D3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Hewlet. 1996. *Integral Waterproofer for Concrete, Cementation Research, Fosroc Limited, Chemical Division, United Kingdom*.
- <http://www.damdexindonesia.com/id/uses-applications/professionals>, diakses pada tanggal 25 september 2019, pukul. 16.45
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri
- Takim., Naibaho, Armin., Ningrum, Diana., 2016. *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan pada Mortar*. Jurnal Reka Buana Volume 1 no.2, Maret 2016 - Agustus 2016, Politeknik Negeri Malang – Universitas Tribuana Tunggadewi Malang.
- Kmiecik,P. Kaminski, M. 2011. *Modelling of Reinforced Concrete Structure and Composite Structures with Concrete Strength Degradation Taken Into Consideration*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol.XI, Wroclaw University of Technology, Wrbrzeze Wyspianskiego 25, 50-270, Poland.
- Maryoto, Agus. 2009. *Penurunan Nilai Absorpsi dan Abrasi Beton dengan Penambahan Calcium Sterate dan fly ash*. Media Teknik Sipil, Volume IX, Januari 2009. ISSN : 1412-0976.
- Maryoto, Agus. 2014. *Sinergi Penggunaan Calcium Stearate dan Fly Ash dalam Beton untuk Menahan Tekanan Air*, Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan Nomor 2 Volume 16 – Juli 2016 ; hal 135-140. Unviersitas Jenderal Soedirman.
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : ANDI
- Muhammad, Nasiru Zakari (2017) : *Integral Mixing Using Nano Silicon for Concrete Waterproofing* . Thesis for the award of the Degree of Doctor Of Philosophy. Faculty of Civil Engineering. University of Teknologi Malaysia
- Nugraha, Paul. & Antoni. (2007). *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. nggi. Yogyakarta : ANDI

- Nurmaidah. 2016. *Penggunaan Bahan Tambah Damdex (Waterproofing) Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area. Sumatra Utara.
- Neville, AM (1996). *Properties of Concrete*, Longman. USA.
- Pujianto, Mahyudi Arif., Masagala, Algazt Aryad., 2019. *Studi Eksperimental Absorpsi, Pra dan Pasca Bakar terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas Beton menggunakan Damdex (Waterproofing) sebanyak 2% dan Penambahan Crumb Rubber sebagai Filler dengan Persentase 5%, 5,5% , 6%*. Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Ria, Inas Liana. 2014. *Pengaruh Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Sebagian Bahan Susun Paving Block terhadap Kuat Tekan*. Skripsi. Program Sarjana.Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Sugiyanto., 2000. *Bahan Bangunan I (Buku Ajar)*. Bandar Lampung. Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- Sultan, Mufti Amir., Imran., Faujan, Muhammad. 2019 *Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (fly ash) ex PLTU RUM pada Campuran Beton*. Teras Jurnal Vol.9 No.2, September 2019. Program Studi Teknik Sipil Universitas Khairun.
- Sunartia, I Wayan. 2011. *Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash ex. PLTU MPANAU TAVAELI*. Jurnal SMARTek, Vol 9 No.1, Februari 2011 : 1-10.
- Setiawati, Mira. 2018. *Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton*. Jurnal Teknik Sipil. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Standart Industri Indonesia. 0052-80. *Syarat Mutu Agregat dan Cara Uji Agregat Beton*. Jakarta:SII
- Tampubolon,Fernando. 2012. *Pengaruh Penambahan Waterproofing Integral Terhadap Mutu Beton*. Tugas Akhir, Universitas Komputer Indonesia.
- Jaya, I Made., Kader, I Made Suardana., Suasira, I Wayan., Yuda, I Putu Indra., 2017. *Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah antara Beton Normal dan Beton Integral Waterproofing*. Jurnal Teknik Sipil. Vol.17 No. 03.
- Zhang, Peng., Zhao, Tiejun., Wittmann, F.H., Li, Shaochun., 2011 : *Preparation and Characteristics of Integral WaterRepellent Cement – based Materials*. *Materials Science Forum Vols. 675-677. Trans Tech Publications, Switzerland*.
2017. *Buku Petunjuk Praktikum Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik, Universitas Jember.

LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Pengujian Material

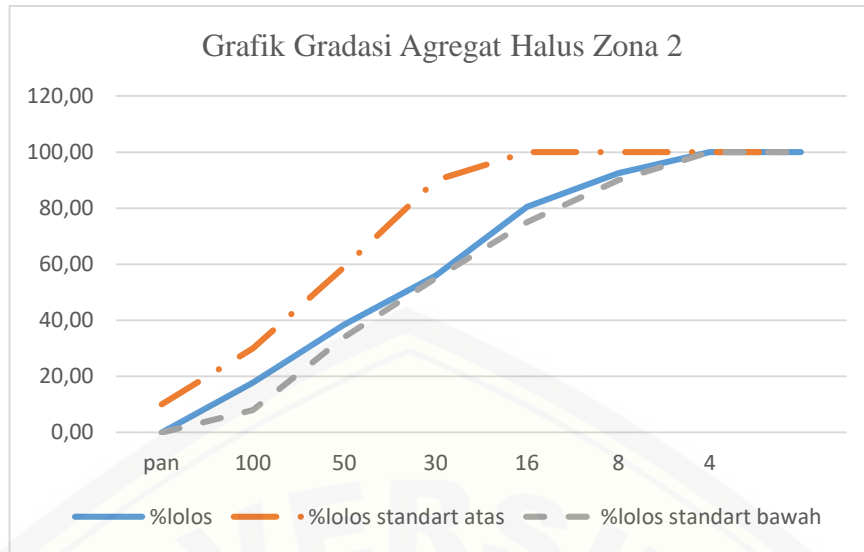
a. Analisa saringan pasir (SNI ASTM C 136 : 2012)

1. Prosedur pengujian

- Timbang pasir sebanyak 1000 gram
- Masukkan pasir kedalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan diatas dan digetarkan dengan *shieve shaker* selama 10 menit
- Pasir yang tertinggal dalam ayakan ditimbang
- Kontrol berat pasir = 1000 gram

Tabel A.1 Hasil pengujian analisa saringan pasir

Saringan Nomor	Berat Saringan mm	Berat Saringan + Pasir	Berat Pasir Tertinggal		% Kumulatif		
			Gram	%	Tinggal	Lolos	
4	4,76	429,5	429,5	0	0	0	100,00
8	2,38	425,7	501,4	75,7	7,58	7,58	92,43
16	1,19	407,5	527,5	120	12,00	19,58	80,42
30	0,59	398,9	644,6	245,4	24,55	44,13	55,88
50	0,297	399,8	574,1	174,3	17,44	61,56	38,44
100	0,149	392,7	599,5	206,8	20,69	82,25	17,76
pan	0	355,7	533,2	177,5	17,78	100	0,00
Jumlah		2809,8	3809,8	1000	100	315,08	384,93



Grafik A.1 Gradasi agregat halus

b. Berat jenis pasir (ASTM 128-78)

1. Prosedur pengujian

- Picnometer ditimbang
- Pasir kondisi SSD sebanyak 50 gram
- Masukkan pasir kedalam picnometer selanjutnya ditimbang
- Picnometer yang telah terisi pasir diisi air sampai penuh dan diputar-putar hingga gelembung udara keluar
- Picnometer diisi air kembali hingga batas kapasitas kemudian ditimbang
- Picnometer kosong diisi air sampai dengan batas kapasitas dan ditimbang beratnya

Tabel A.2 Hasil pengujian berat jenis pasir

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Picnometer + Pasir + Air (W2)	161.5	164.4	164.4
Berat Pasir SSD (W1)	50	50	50
Berat Picnometer + Air (W3)	131,5	134	134
Berat Jenis Pasir (BJ)	2.5	2.55	2.55
Berat Jenis Pasir rata-rata	2.53 g/cm ³		

c. Kelembaban pasir (ASTM 566 – 89)

1. Prosedur pengujian

- Pasir dalam keadaan asli ditimbang dengan berat 250 gram
- Pasir dimasukkan kedalam oven selama 24 jam dengan temperatur 110 ± 5 °C
- Setelah 24 jam dikeluarkan dari oven dan setelah dingin ditimbang beratnya

Tabel A.3 Hasil pengujian kelembaban pasir

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Pasir Asli (W1)	250	250	250
Berat Pasir Oven (W2)	237.3	236.8	237
Kelembaban Pasir	5.35%	5.57%	5.49%
Rata-rata kelembaban pasir	5.47%		

d. Berat volume pasir (SNI 03-4804-1998)

1. Prosedur pengujian

- Tanpa rojokan
- b. Menimbang silinder dalam keadaan kering
- c. Mengisi silinder dengan pasir dan diratakan
- d. Menimbang silinder+pasir
 - Dengan rojokan
 - a. Menimbang silinder dalam keadaan kering
 - b. Mengisi silinder dengan pasir dan setiap 1/3 bagian dilakukan rojokan 25 kali sampai dengan silinder penuh.
- e. Menimbang silinder + pasir

Tabel A.4 Hasil pengujian berat volume pasir

Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan	
	1	2	1	2
Berat Silinder (W1)	7160	7160	7160	7160
Berat Silinder (W1) + Pasir (W2)	25660	25950	23650	23670
Berat Pasir (W2-W1)	18500	18790	16490	16510
Volume Silinder	9654,28	9654,29	9654,29	9654,28

Berat Volume (BV = W2-W1/V)	1,92	1,95	1,71	1,71
Rata-rata berat volume	1,932 g/cm ³		1,71 g/cm ³	

f. Air resapan pasir (ASTM 128)

1. Prosedur pengujian

- Pasir ditimbang dalam kondisi SSD sebanyak 100 gram
- Masukkan oven selama 24 jam
- Pasir dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang

Tabel A.5 Hasil pengujian air resapan pasir

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Pasir (W1)	100	100	100
Berat Pasir Oven (W2)	97.1	97.4	97.4
Kadar Air Resapan ((W1-W2)/W2) x 100%)	2.99%	2.67%	2.67%
Rata-rata kadar air resapan	2.78%		

g. Kadar lumpur pasir (ASTM C - 33)

1. Prosedur pengujian

- Masukkan pasir kedalam gelas ukur hampir setengah
- Menambah air sampai total pasir + air dua kali pasir
- Tutup gelas ukur dan kemudian dikocok selama 1 menit
- Gelas ukur disimpan ditempat datar selama 24 jam agar lumpur mengendap
- Mengukur tinggi pasir dan tinggi lumpur

Tabel A.6 Hasil pengujian kadar lumpur pasir

Percobaan Nomor	1	2	3
Tinggi Pasir (H) (ml)	250	250	250
Tinggi Lumpur (h) (ml)	8	8	7
Kadar Lumpur (h/H)*100% (%)	3,20%	3,20%	2,80%
Rata-Rata	3,07%		

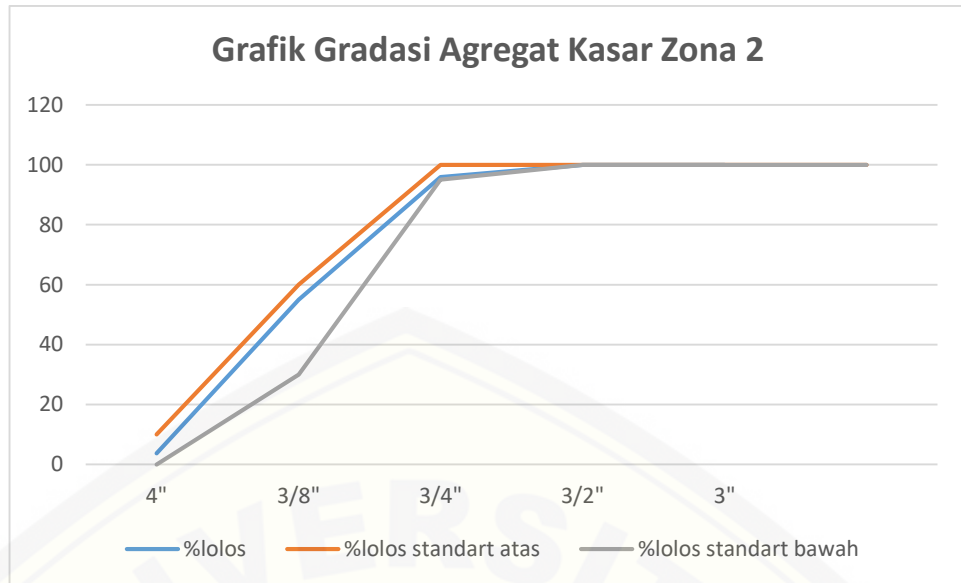
h. Analisa saringan kerikil (SNI 1968-1990)

1. Prosedur pengujian

- Timbang kerikil ukuran 0,5-1 mm sebanyak 8 kg, ukuran 1-2 mm sebanyak 12 kg
- Kerikil ukuran 2-3 mm sebanyak 16 kg
- Masukkan kedalam ayakan dengan ukuran saringan terbesar diatas dan digetarkan selama 10 menit
- Timbang masing-masing kerikil yang tertinggal
- Kontrol berat kerikil = 5 kg

Tabel A.7 Hasil pengujian analisa saringan kerikil

Saringan		Berat Saringan	Berat Saringan + Kerikil	Berat Kerikil Tertinggal		% Kumulatif	
Nomor	mm			Gram	%	Tinggal	Lolos
3"	76,2	606,3	606,3	0	0	0	100
3/2"	38,1	525,8	525,8	0	0	0	100
3/4"	19	555,8	760,3	204,5	4,09	4,09	95,91
3/8"	9,5	454,3	2499,1	2044,8	40,896	44,986	55,014
4	4,76	431,5	2994,6	2563,1	51,262	96,248	3,752
8	2,38	429	450,4	21,4	0,428	96,676	3,324
16	1,19	408,2	501,4	93,2	1,864	98,54	1,46
30	0,59	399,3	425,4	26,1	0,522	99,062	0,938
50	0,297	399,9	401,4	1,5	0,03	99,092	0,908
100	0,149	393,1	410,2	17,1	0,342	99,434	0,566
pan	0	355,9	384,2	28,3	0,57	100	0
Jumlah				5000	100		



Grafik A.2 Gradasi Agregat Kasar

- i. Berat jenis kerikil (SNI 1696-2016)
 1. Prosedur pengujian
 - Kerikil yang telah direndam selama 24 jam diangkat kemudian di lap satu per satu
 - Kemudian kerikil ditimbang dalam kondisi SSD sebanyak 3000 gram
 - Meimbang pula beratnya didalam air

Tabel A.8 Hasil pengujian berat jenis kerikil

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil di Udara (W1)	3000	3000	3000
Berat Kerikil di Air (W2)	1845	1847,5	1860
Berat Jenis Kerikil (BJ)	2,6	2,6	2,6
BJ Rata-Rata	2,6 gram/cm ³		

- j. Kelembaban kerikil (ASTM 566-89)
 1. Prosedur pengujian
 - Kerikil keadaan asli ditimbang dengan berat 500 gram
 - Kerikil dimasukkan kedalam oven selama 24 jam dengan temperatur (110 ± 5)°C
 - Kerikil dikeluarkan kemudian menunggu dingin dan selanjutnya ditimbang

Tabel A.9 Hasil pengujian kelembaban kerikil

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil Asli (W1) (gr)	500	500	500
Berat Kerikil Oven (W2) (gr)	495	494.4	496.3
Kelembapan Kerikil	1.01%	1.13%	0.75%
Rata-Rata	0.96%		

k. Berat volume kerikil (SNI 03-4804-1998)

1. Prosedur pengujian

- Tanpa rojokan

- a. Timbang silinder keadaan kering

- b. Timbang kerikil beserta silinder

- Dengan rojokan

- a. Timbang silinder dalam keadaan kering

- b. Mengisi silinder per 1/3 bagian dan kemudian dirojok 25 kali sampai silinder penuh kemudian ditimbang

Tabel A.10 Hasil pengujian berat volume kerikil

Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan	
	1	2	1	2
Berat Silinder (W1)	10180	10180	10180	10180
Berat Silinder (W1) + Pasir (W2)	33100	32700	31000	31300
Berat Pasir (W2-W1)	22920	22520	21630	20630
Volume Silinder	15131.1	15131.1	15131.1	15131.1
Berat Volume (BV = W2-W1/V)	1,51	1,49	1,43	1,36
Rata-rata berat volume	1,5 g/cm ³		1,39 g/cm ³	

l. Air resapan kerikil (SNI 1696-2016)

1. Prosedur pengujian

- Timbang kerikil dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram

- Masukkan kerikil kedalam oven selama 24 jam

- Keluarkan kerikil tunggu dingin selanjutna ditimbang beratnya.

Tabel A.11 Hasil pengujian air resapan kerikil

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil SSD (W1) gr	500	500	500
Berat Kerikil Oven (W2) gr	496.7	497.7	497.5
Kadar Air Resapan $((W1-W2)/W2) \times 100\%$	0.66	0.46	0.50
Rata-rata kadar air resapan	0.54%		

m. Kadar lumpur kerikil (ASTM C-33)

1. Prosedur pengujian

- Ambil kerikil yang lolos ayakan ukuran 38,1 mm seberat 500gram
- Masukkan kedalam nampan pencuci dan tambahkan air secukupnya sampai semuanya terendam
- Goncangkan nampan kemudian air cucian dituang kedalam ayakan no 200
- Ulangi langkah no 3 sampai cucian tampak bersih
- Masukkan butir kerikil yang tersisa diayakan no 200 kedalam nampan, kemudian masukkan kedalam tungku untuk dikeringkan kembali
- Kerikil setelah kering ditimbang kembali
- Untuk mendapatkan hasil yang akurat gunakan 2 atau 3 benda uji dan ambil rata-rata untuk setiap kali hasil pengujian

Tabel A.12 Hasil pengujian kadar lumpur kerikil

Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil Awal (W1) (gr)	500	500	500
Berat Kerikil Oven (W2) (gr)	497.7	497.7	498.8
Kadar Lumpur	0.46%	0.46%	0.24%
Rata-Rata	0.39%		

n. Berat jenis semen

1. Prosedur pengujian

- Mengisi Labu *Le Chatelier* dengan minyak tanah sampai memenuhi skala antara 0-1. Kemudian membersihkan dan mengeringkan bagian atas permukaan minyak tanah dengan menggunakan kawat yang dibalut dengan tissue.
- Meletakkan Labu *Le Chatelier* yang berisikan minyak tanah diruang yang bersuhu tetap selama 15 menit untuk menyamakan suhu cairan dengan suhu ruangan (20-25°C)
- Mengamati dan mencatat volume awal (V1) dengan membaca skala pada Labu *Le Chatelier*.
- Menimbang semen sebanyak 64 gram (W)
- Memasukkan semen yang telah ditimbang ke dalam Labu *Le Chatelier*. Upayakan semen tidak menempal pada dinding Labu *Le Chatelier*.
- Meletakkan kembali Labu *Le Chatelier* yang berisikan semen dan minyak tanah di ruangan yang bersuhu tetap selama 15 menit.
- Memutar Labu *Le Chatelier* yang berisikan semen dan minyak tanah yang telah didiamkan selama 15 menit secara perlahan sampai tidak terdapat gelembung udara didalamnya.
- Mencatat tinggi permukaan cairan setelah tidak terdapat gelembung udara (V2)

Tabel A.13 Hasil pengujian berat jenis semen

Percobaan Nomor	Sampel Pengujian ke-		
	1	2	3
Berat Semen (gr)	64	64	64
Tinggi Minyak Tanah awal (v1) (ml)	0,6	0,5	0,8
Tinggi Minyak Tanah akhir (v2) (ml)	21,8	21,7	22,2
Berat Jenis Semen (gr/ml)	3,02	3,02	2,99
Rata-Rata BJ Semen	3,01 g/cm ³		

- o. Berat volume *fly ash*
1. Prosedur pengujian
 - Tanpa rojokan
 - a. Menimbang silinder dalam keadaan kering
 - b. Mengisi silinder dengan *fly ash* dan diratakan
 - c. Menimbang silinder + *fly ash*
 - Dengan rojokan
 - a. Menimbang silinder dalam keadaan kering
 - b. Mengisi silinder dengan *fly ash* dan setiap 1/3 bagian dilakukan rojokan 25 kali sampai dengan silinder penuh.
 - c. Menimbang silinder + *fly ash*

Tabel A.14 Hasil pengujian berat volume *fly ash*

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan		
	1	2	3	1	2	3
Berat Silinder (W1)	6840	6840	6840	6840	6840	6840
Berat Silinder (W1) + FA (W2)	10785	10715	10710	11060	11080	11050
Berat FA (W2-W1)	3945	3875	3870	4220	4240	4210
Volume Silinder	3081,7	3081,7	3081,7	3081,7	3081,7	3081,7
Berat Volume (BV = W2-W1/V)	1,2801	1,2575	1,2558	1,3694	1,3756	1,3661
Rata-rata	1,2645 gram/cm ³			1,3705 gram/cm ³		

- p. Berat jenis *fly ash*
1. Prosedur pengujian
 - Mengisi Labu *Le Chatelier* dengan minyak tanah sampai memenuhi skala antara 0-1. Kemudian membersihkan dan mengeringkan bagian atas permukaan minyak tanah dengan menggunakan kawat yang dibalut dengan tissue.
 - Meletakkan Labu *Le Chatelier* yang berisikan minyak tanah di ruang yang bersuhu tetap selama 15 menit untuk menyamakan suhu cairan dengan suhu ruangan (20-25°C)

- Mengamati dan mencatat volume awal (V1) dengan membaca skala pada Labu *Le Chatelier*.
- Menimbang *fly ash* sebanyak 64 gram (W)
- Memasukkan *fly ash* yang telah ditimbang ke dalam Labu *Le Chatelier*. Upayakan *fly ash* tidak menempal pada dinding Labu *Le Chatelier*.
- Meletakkan kembali Labu *Le Chatelier* yang berisikan *fly ash* dan minyak tanah di ruangan yang bersuhu tetap selama 15 menit.
- Memutar Labu *Le Chatelier* yang berisikan *fly ash* dan minyak tanah yang telah didiamkan selama 15 menit secara perlahan sampai tidak terdapat gelembung udara didalamnya.
- Mencatat tinggi permukaan cairan setelah tidak terdapat gelembung udara (V2)

Tabel A. 15 Hasil pengujian berat jenis *fly ash*

Uraian	Jumlah Sampel		
	1	2	3
Berat Benda Uji (W) (gr)	65	65	65
Tinggi Minyak (V1) (cc)	0,4	0,4	0,5
Tinggi Minyak + FA (V2) (cc)	21,63	21,62	21,63
Volume Benda Uji (V2-V1) (cc)	21,23	21,23	21,13
Berat Jenis FA (BJ=W/V2-V1)	3,062	3,063	3,076
Jumlah Rata-Rata	3,07 g/cm ³		

Lampiran B. Perhitungan Mix Design

Tabel B. 1 Perkiraan kuat tekan (mpa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

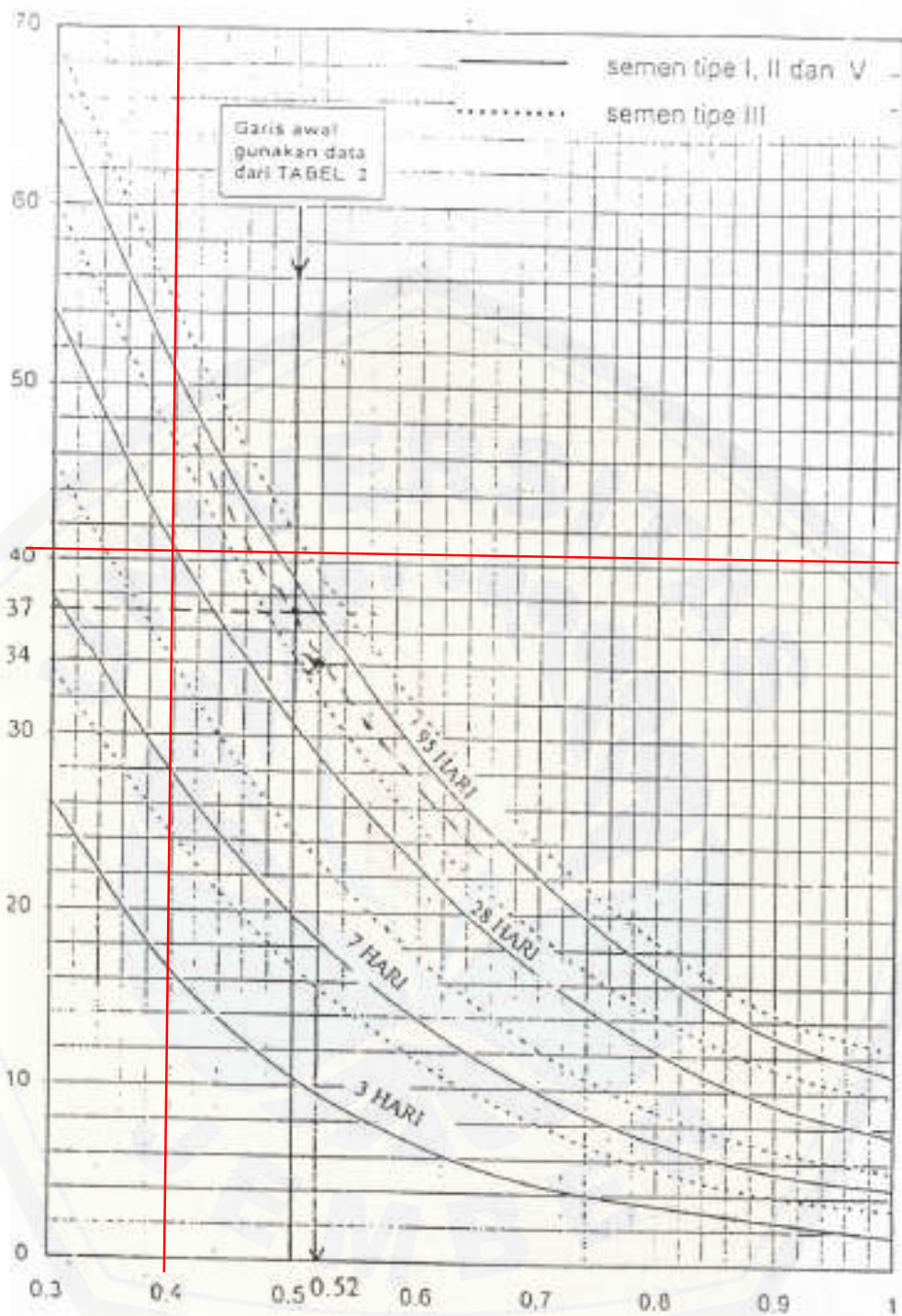
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (N/mm)				
		Pada Umur (Hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I atau semen tahan sulfat tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel B. 2 Perkiraan kebutuhan air per m³ beton

Ukuran maksimum Agregat kasar (mm)	Jenis agregat	Kadar air bebas (kg/m ³ beton) pada slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
		10	Alami	150	180
10	Batu pecah	100	205	230	250
	20	Alami	135	160	180
20	Batu pecah	170	190	210	225
	40	Alami	115	140	160
40	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2834-2000

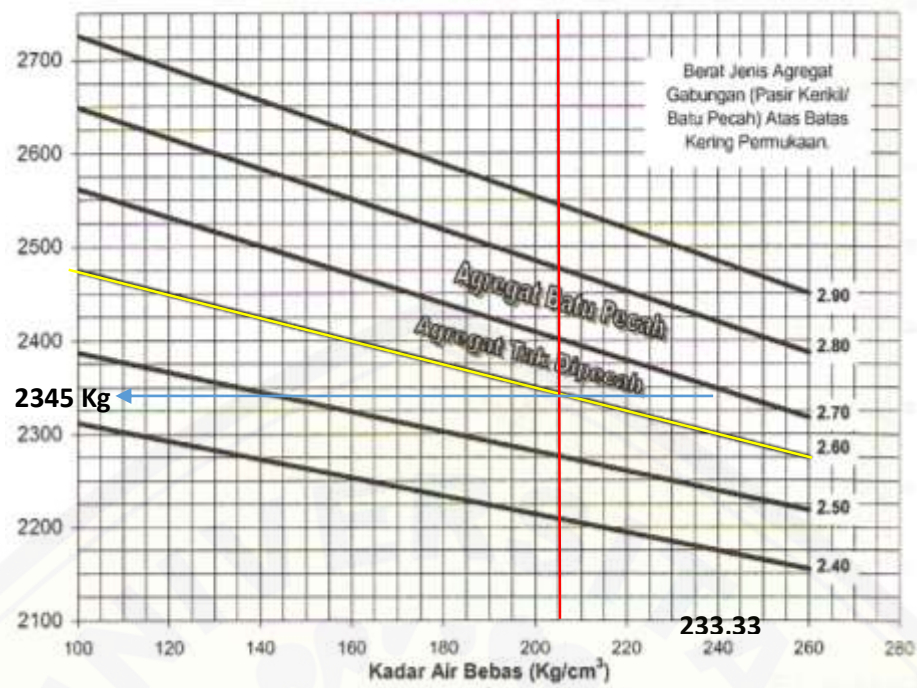


Gambar B. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS)

Tabel B. 4 Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Faktor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran nominal maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra-Tegang	Air tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe 1+ Pozzolan (15-40%) atau semen Portland Pozzolan	340	380
	Air laut	0,50	Tipe III atau tipe V		
		0,45	Tipe II atau tipe V		

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar B.5 Perkiraan berat isi beton

Tabel B.5 Form *MixDesign* DOE

No	Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Yang Diisyaratkan	Ditetapkan	40	MPa
2	a. Devisiasi Standar (s)	Tabel 1	4,2	
3	b. Nilai Tambah (m)	Rumus	6,888	
4	c. Kuat Tekan Rata-Rata yang Di Targetkan	Rumus	46,888	MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC	
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah	
7	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Alami	
8	Faktor Air Semen Bebas	Grafik	0,4	
9	Faktor Air Semen Maksimum	Ditetapkan	0,5	
10	Slump	Ditetapkan	60-180	mm
11	Ukuran Maksimum Agregat Kasar	Ditetapkan	20	mm
12	Kebutuhan Air	Tabel	204,90	liter
13	Kebutuhan Semen	Rumus	512,25	kg
14	Kebutuhan Semen Minimum	Ditetapkan	380	kg
15	FAS yang Disesuaikan	Ditetapkan	0,4	
16	Susunan Besar Butir Agregat Halus	Grafik	Zona 2	
17	Persen agregat halus	Grafik	42%	
18	Berat Jenis Relatif Agregat Campuran	Ditetapkan	2,60	
19	Berat Jenis Beton	Grafik	2345	kg
20	Kadar Agregat Gabungan	Rumus	1627,85	kg
21	Kadar Agregat Halus	Rumus	683,70	kg
22	Kadar Agregat Kasar	Rumus	944,15	kg

Tabel B. 6 Proporsi Material Per m³

Material	Jumlah per m ³
Semen	512,25 kg
Air	204,90 liter
Agregat Kasar	955,15 kg
Agregat Halus	683,70 kg




Tabel B. 7 Proporsi Material Terkoreksi

Material	Perhitungan	Jumlah Terkoreksi (kg/m³)
Semen	-	512,25
Air	$A - [(Ah - A1/100]Xb - [(Ak - A2)/100]xC$	204,76
Agregat halus	$B + [(Ah - A1)/100xB$	683,88
Agregat kasar	$C + [(Ak - A2)/100xC$	944,19

Tabel B. 8 Proporsi campuran 5 silinder ukuran 15x30 cm

No	Campuran Proporsi	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (L)	Semen (kg)	Damdex (ml)	Fly ash (kg)
1.	1,5% Damdex	21,74	30,02	6,51	16,29	244,29	0
2.	1,5% Damdex + 5% Fly Ash	21,74	30,02	6,51	16,29	244,29	0,814
3.	1,5% Damdex + 10% Fly Ash	21,74	30,02	6,51	16,29	244,29	1,628
4.	1,5% Damdex + 15% Fly Ash	21,74	30,02	6,51	16,29	244,29	2,442



Lampiran C. Dokumentasi Proses Pembuatan Benda Uji




No	Kegiatan	Gambar
1.	Penimbangan material	
2.	Mixing material	
3.	Uji Slump	




		
<p>4.</p>	<p>Peletakkan kedalam bekisting</p>	

5.	Proses curing benda uji	
6.	Angkat benda uji dari proses curing	

Lampiran D. Dokumentasi Pengujian Beton Umur 7 Hari

No	Kegiatan	Gambar
1.	Kuat tekan beton integral waterproofing kode A	
2.	Kuat tekan beton integral waterproofing kode B	




<p>3.</p>	<p>Kuat tekan beton integral waterproofing kode C</p>	
<p>4.</p>	<p>Kuat tekan beton integral waterproofing kode D</p>	
<p>5.</p>	<p>Kuat Tarik belah beton integral waterproofing kode A</p>	





		
<p>6.</p>	<p>Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode B</p>	
<p>7.</p>	<p>Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode C</p>	




8.	Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode D	
----	--	--



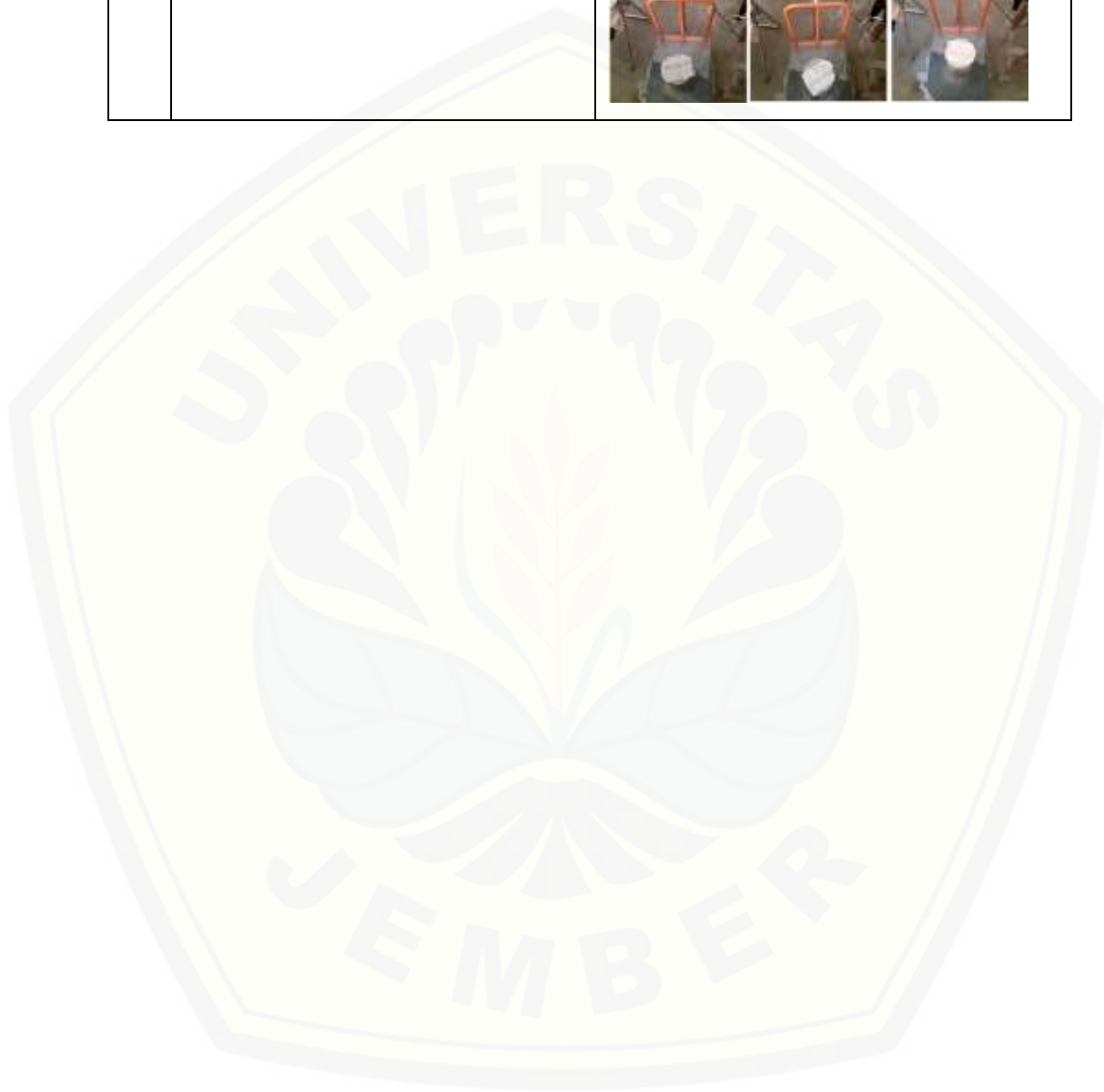
Lampiran E. Dokumentasi Pengujian Beton Umur 28 Hari

No	Kegiatan	Gambar
1.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton integral waterproofing kode A	
2.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton integral waterproofing kode B	
3.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton integral waterproofing kode C	

4.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton integral waterproofing kode D	
5.	Kuat Tarik belah beton integral waterproofing kode A	
6.	Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode B	
7.	Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode C	

8.	Kuat tarik belah beton integral waterproofing kode D	
9.	Absorpsi atau resapan air beton integral waterproofing kode A	
10.	Absorpsi atau resapan air beton integral waterproofing kode B	
11.	Absorpsi atau resapan air beton integral waterproofing kode C	

12.	Absorpsi atau resapan air beton integral waterproofing kode D	
-----	---	--



Lampiran F. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Beton *Integral Waterproofing*

Tabel F.1. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Proporsi A

A		
28 hari		
	Tegangan	Regangan
	fc	ϵ
	Mpa	
	0,00	0,00000
	2,83	0,00006
	5,66	0,00011
	8,49	0,00016
	11,32	0,00045
	14,15	0,00058
	16,99	0,00068
	19,82	0,00080
	22,65	0,00090
	25,48	0,00108
	28,31	0,00120
	31,14	0,00140
	31,71	0,00170
Kuat Tekan ultimit	31,71	0,00170
40% bbn ult ($S_2 - \epsilon_2$)	12,68	0,00051
bbn bwh ($S_1 - \epsilon_1$)	2,36	0,00005
$E = (S_2 - \epsilon_2) / (S_1 - \epsilon_1)$		22442

Tabel F.2. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Proporsi B

B		
28 hari		
Tegangan	Regangan	
fc	ϵ	
Mpa		
0,00	0,00000	
2,83	0,00020	
5,66	0,00030	
8,49	0,00040	
11,32	0,00055	
14,15	0,00063	
16,99	0,00075	
19,82	0,00080	
22,65	0,00083	
25,48	0,00084	
28,31	0,00085	
31,14	0,00087	
33,97	0,00089	
35,10	0,00090	
Kuat Tekan ultimit	35,10	0,00090
40% bbn ult (S₂-ϵ₂)	14,04	0,00062
bbn bwh(S₁-ϵ₁)	0,71	0,00005
E =(S₂-ϵ₂)/(S₁-ϵ₁)		23310

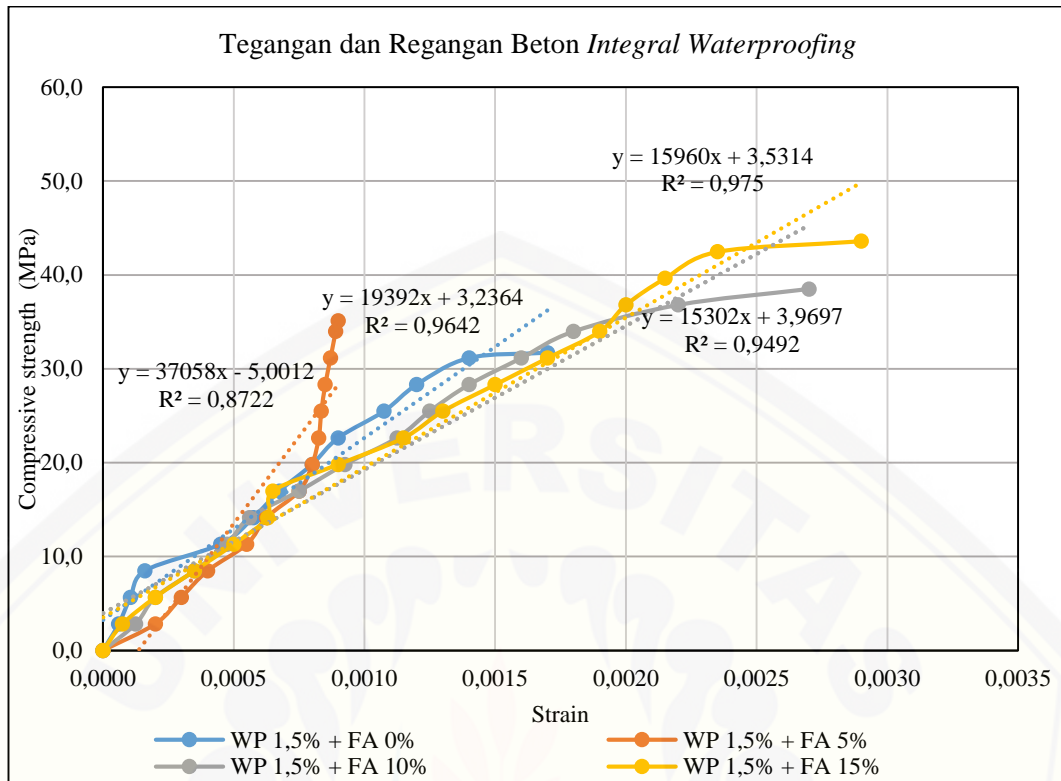
Tabel F.3. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Proporsi C

C3		
28 hari		
Tegangan	Regangan	
f_c	ϵ	
Mpa		
0,00	0,00000	
2,83	0,00013	
5,66	0,00020	
8,49	0,00035	
11,32	0,00048	
14,15	0,00056	
16,99	0,00075	
19,82	0,00093	
22,65	0,00113	
25,48	0,00125	
28,31	0,00140	
31,14	0,00160	
33,97	0,00180	
36,80	0,00220	
38,50	0,00270	
Kuat Tekan ultimit	38,50	0,00270
40% bbn ult ($S_2-\epsilon_2$)	15,40	0,00064
bbn bwh($S_1-\epsilon_1$)	1,13	0,00005
$E = (S_2 - \epsilon_2) / (S_1 - \epsilon_1)$	24036	

Tabel F.4. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Proporsi D

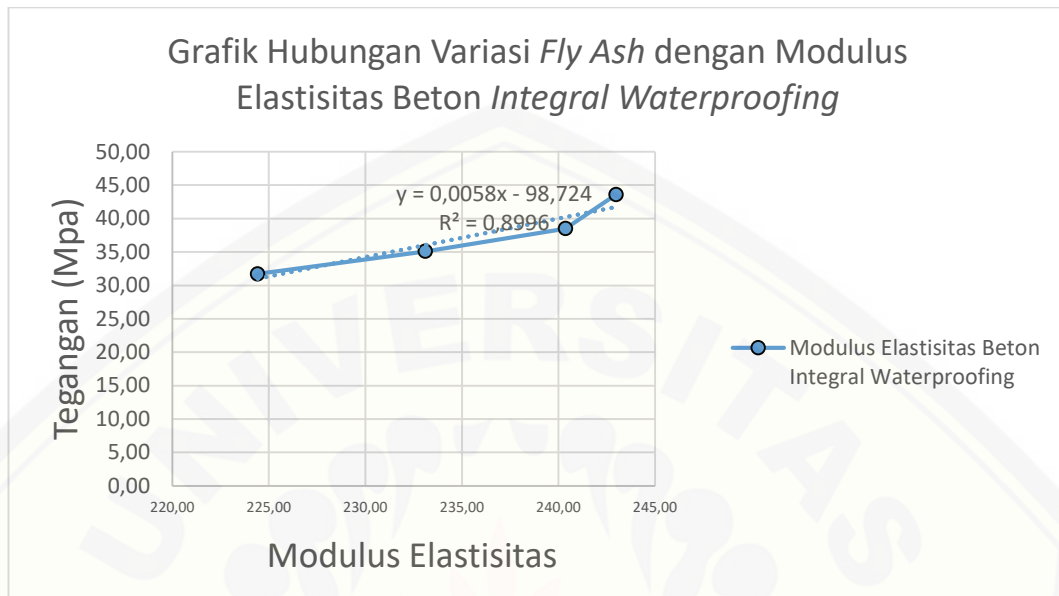
D		
28 hari		
	Tegangan	Regangan
	fc	ϵ
	Mpa	
	0,00	0,00000
	2,83	0,00008
	5,66	0,00020
	8,49	0,00035
	11,32	0,00050
	14,15	0,00063
	16,99	0,00065
	19,82	0,00090
	22,65	0,00115
	25,48	0,00130
	28,31	0,00150
	31,14	0,00170
	33,97	0,00190
	36,80	0,00200
	39,63	0,00215
	42,46	0,00235
	43,60	0,00290
Kuat Tekan ultimit	43,60	0,00290
40% bbn ult ($S_2-\epsilon_2$)	17,44	0,00069
bbn bwh($S_1-\epsilon_1$)	1,89	0,00005
$E = (S_2-\epsilon_2)/(S_1-\epsilon_1)$		24298,2

Lampiran G. Grafik Tegangan- Regangan Beton *Integral Waterproofing*



Lampiran H. Grafik Modulus Elastisitas Beton *Integral Waterproofing*

Grafik H.1. Hubungan Variasi *fly ash* dengan Modulus Elastisitas Beton *Integral Waterproofing*



**Lampiran I. Tabel Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay
- Krishnan**

Tabel I.1. Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay – Krishnan
Proporsi A

A2			
28 hari			
Tegangan	Regangan	Madrid.P	Desay.K
fc	ε	\square	
Mpa			
0,00	0,00000	0,0000	0,0000
2,83	0,00006	1,3322	1,3459
5,66	0,00011	2,3125	2,3531
8,49	0,00016	3,4888	3,5792
11,32	0,00045	9,2930	9,8480
14,15	0,00058	11,5884	12,3889
16,99	0,00068	13,3352	14,3273
19,82	0,00080	15,4068	16,6161
22,65	0,00100	18,4627	19,9349
25,48	0,00145	24,1746	25,7362
28,31	0,00180	27,5030	28,7014
31,14	0,00245	31,0981	31,3324
31,71	0,00282	31,6428	31,6428

Tabel I.2. Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay – Krishnan
Proporsi B

B3			
28 hari			
Tegangan	Regangan	Madrid.P	Desay.K
fc	ε	\square	
Mpa			
0,00	0,00000	0,0000	0,0000
2,83	0,00020	4,5066	4,6414
5,66	0,00030	6,6434	6,9238
8,49	0,00040	8,7024	9,1611
11,32	0,00055	11,6453	12,4036
14,15	0,00063	13,0512	13,9627
16,99	0,00100	19,4250	20,9790
19,82	0,00110	20,9402	22,6023
22,65	0,00140	25,0194	26,7980
25,48	0,00160	27,3504	29,0367
28,31	0,00170	28,3994	29,9952
31,14	0,00187	30,0043	31,3924

Tabel I.3. Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay – Krishnan
Proporsi C

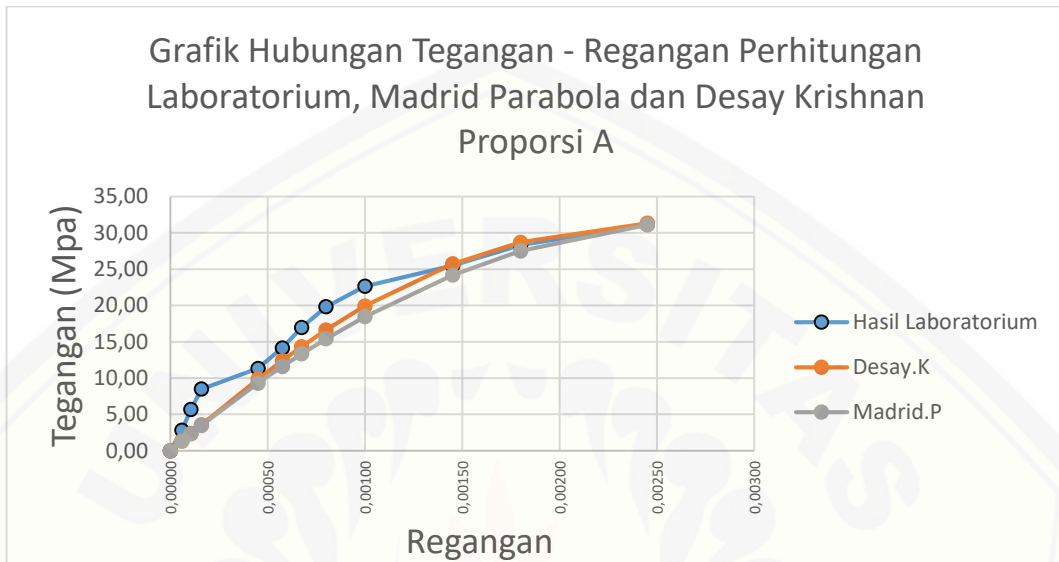
C3			
28 hari			
Tegangan	Regangan	Madrid.P	Desay.K
fc	ε	\square	
Mpa			
0,00	0,00000	0,0000	0,0000
2,83	0,00013	2,9349	2,9980
5,6617	0,00020	4,6291	4,7809
8,4926	0,00035	7,8672	8,2734
11,3234	0,00048	10,4126	11,0742
14,1543	0,00056	12,0641	12,9048
16,9851	0,00075	15,5230	16,7354
19,8160	0,00093	18,4245	19,8975
22,6469	0,00113	21,4067	23,0400
25,4777	0,00125	23,0897	24,7415
28,3086	0,00140	24,9258	26,5197
31,1394	0,00210	30,8457	31,4496

Tabel I.4. Perhitungan Nilai Tegangan Madrid Parabola dan Desay – Krishnan
Proporsi D

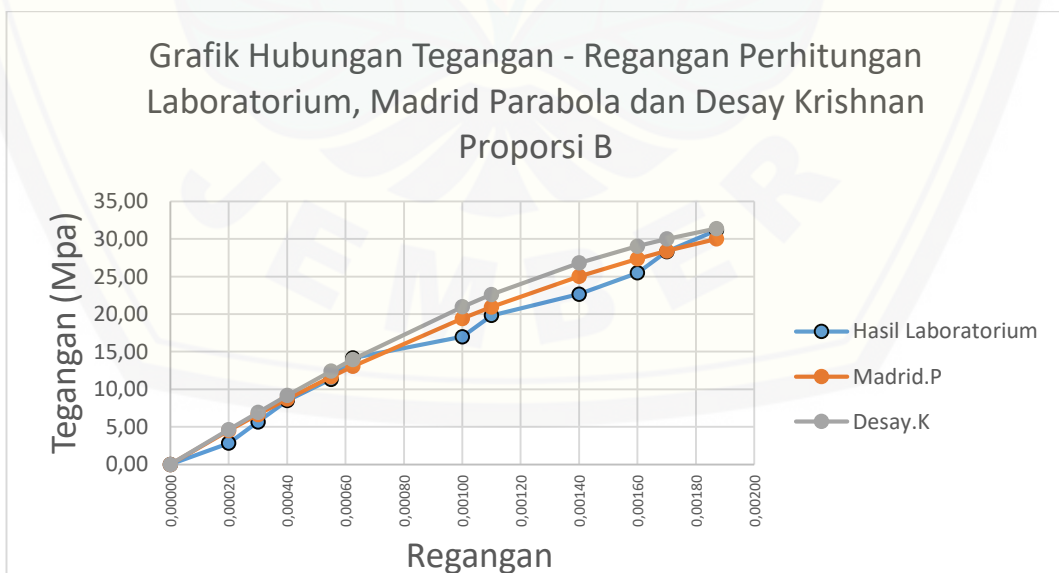
D3			
28 hari			
Tegangan	Regangan	Madrid.P	Desay.K
fc	ϵ		
Mpa			
0,00	0,00000	0,0000	0,0000
2,83	0,00008	1,7988	1,8211
5,6617	0,00020	4,6921	4,8366
8,4926	0,00035	7,9912	8,3823
11,3234	0,00050	11,1018	11,7984
14,1543	0,00063	13,6451	14,6180
16,9851	0,00065	14,0238	15,0383
19,8160	0,00090	18,4750	19,9472
22,6469	0,00115	22,4025	24,1459
25,4777	0,00130	24,5077	26,3022
28,3086	0,00150	27,0213	28,7544
31,1394	0,00170	29,1997	30,7426
33,9703	0,00218	33,0606	33,8447

Lampiran J. Grafik Hubungan Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay – Krishnan

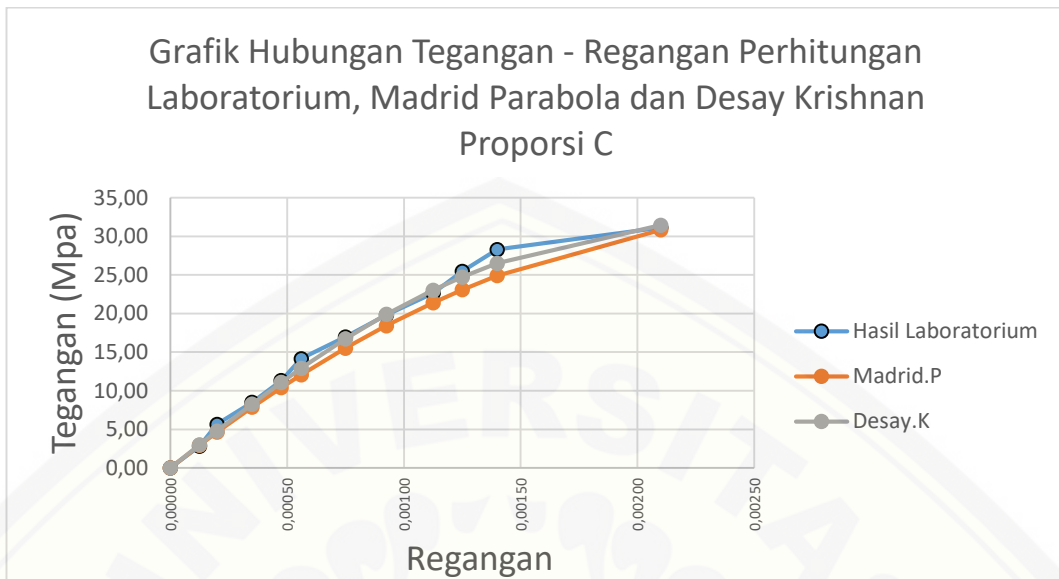
Grafik J.1 Hubungan Nilai Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay- Krishnan Proporsi A



Grafik J.2 Hubungan Nilai Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay- Krishnan Proporsi B



Grafik J.3 Hubungan Nilai Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay- Krishnan Proporsi C



Grafik J.4 Hubungan Nilai Tegangan Perhitungan Laboratorium, Madrid Parabola dan Desay- Krishnan Proporsi D

