

# **TUGAS AKHIR**

## **SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON RINGAN KOMBINASI *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH***

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Sriwijaya**



**M. ARLAN**

**03011381722112**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON RINGAN KOMBINASI**  
**FLY ASH DAN BOTTOM ASH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik

**Oleh:**  
**M. ARLAN**  
**03011381722112**

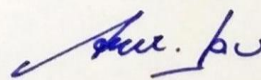
Palembang, 27 Juli 2021

Dosen Pembimbing I,



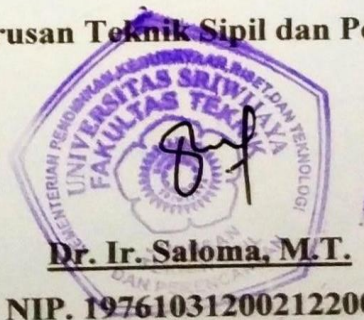
Dr. Ir. Saloma, M.T.  
NIP. 197610312002122001

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing II,



Dr. Arie Putra Usman, S.T., M.T.  
NIP. 198605192019031007

**Mengetahui/Menyetujui**  
**Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,**

  
Dr. Ir. Saloma, M.T.  
NIP. 197610312002122001

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi penulis keadaan yang sehat wal'afiat sehingga diberikan izin untuk menyelesaikan proposal laporan tugas akhir yang berjudul “Sifat Fisik dan Mekanik Beton Ringan Kombinasi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*”.

Dalam penulisan laporan ini, penulis banyak dibimbing dan dibantu oleh berbagai pihak, karena tanpa mereka mungkin penulis akan mengalami kesulitan dalam penyusunan laporan ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua serta saudara penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, selaku Rektor Universitas Sriwijaya dan koordinator dalam *matching grant* antara Universitas Sriwijaya dan UTM.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Ibu Dr. Ir. Saloma, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Arie Putra Usman, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah banyak memberikan bantuan dan arahan baik dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Teman-teman satu tim penulis dan teman-teman lainnya dari Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya yang telah membantu dan memberikan semangat dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada penulisan laporan ini. Untuk itu, penulis menerima segala kritikan, pendapat dan masukan agar dalam penulisan laporan ini kedepannya menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi yang membaca.

Palembang, Juli 2021



M. Arlan

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
RINGKASAN .....	xii
<i>SUMMARY</i> .....	xiii
PERNYATAAN INTEGRITAS .....	xiv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	xv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	xvi
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5. Metode Pengumpulan Data .....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1. Beton Ringan .....	6
2.2. Jenis Beton Ringan.....	7
2.3. Material Penyusun Beton Ringan.....	9
2.3.1. Semen.....	9
2.3.2. <i>Fly Ash</i> .....	10
2.3.3. <i>Bottom Ash</i> .....	11
2.3.4. Agregat Halus .....	12
2.3.5. Air .....	13
2.3.6. <i>Admixtures</i> .....	13
2.4. Pengujian <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> .....	14
2.4.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	14

2.4.2.	<i>X-Ray Fluorescen (XRF)</i> .....	15
2.4.3.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> .....	16
2.4.4.	<i>Particle size analyzer (PSA)</i> .....	17
2.4.5.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	18
2.5.	Sifat Fisik Beton.....	19
2.5.1.	<i>Slump test</i> .....	19
2.5.2.	Berat Isi Beton .....	20
2.6.	Sifat Mekanik Beton.....	20
2.6.1.	Kuat Tekan ( $f_c'$ ) .....	21
2.6.2.	Modulus Elastisitas .....	25
2.7.	Kelebihan, Kekurangan, dan Aplikasi Beton Ringan .....	26
2.7.1.	Kelebihan Beton Ringan .....	27
2.7.2.	Kekurangan Beton Ringan.....	27
2.7.3.	Aplikasi Beton Ringan.....	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		29
3.1.	Studi Literatur .....	29
3.2.	Alur Penelitian.....	29
3.3.	Bahan Penyusun Beton Ringan ( <i>Lightweigh Concrete</i> ).....	31
3.4.	Peralatan .....	34
3.5.	Tahapan Penelitian dan Pengujian .....	38
3.5.1.	Tahap I .....	38
3.5.2.	Tahap II.....	38
3.5.3.	Tahap III.....	39
3.5.4.	Tahap IV .....	40
3.5.5.	Tahap V.....	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1.	Pengujian Material .....	44
4.1.1.	Kadar Lumpur .....	44
4.1.2.	Kandungan zat organik .....	45
4.1.3.	Berat volume .....	45
4.1.4.	Kadar Air .....	45
4.1.5.	Analisa Saringan dan <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i> .....	45
4.1.6.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	48
4.1.7.	<i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i> .....	50
4.1.8.	<i>Fourism Transform Infrared (FTIR)</i> .....	52

4.1.9.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	53
4.2.	Pengujian Beton .....	54
4.2.1.	Pengujian Sifat Fisik .....	54
4.2.2.	Pengujian Sifat Mekanik Beton .....	60
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		81
5.1.	Kesimpulan.....	81
5.2.	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA .....		82

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Kuat tekan beton .....	9
Tabel 2.2 Komposisi Semen Portland.....	10
Tabel 2.3 Komposisi kimia <i>fly ash</i> tipe F .....	11
Tabel 2.4 Hasil XRF <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> .....	16
Tabel 2.5 Hasil pengujian XRF <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> .....	16
Tabel 2.6 Hasil FTIR .....	17
Tabel 2.7 <i>Mix design</i> beton <i>fly ash</i> .....	19
Tabel 2.8 Hasil pengujian kuat tekan beton.....	21
Tabel 2.9 Perencanaan <i>mix design</i> campuran <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> per 1m <sup>3</sup> .....	22
Tabel 2.10 Hasil pengujian kuat tekan beton campuran <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .	22
Tabel 2.11 <i>Mix design</i> 1m <sup>3</sup> .....	23
Tabel 2.12 Hasil pengujian kuat tekan beton.....	23
Tabel 2.13 Material untuk <i>mix design</i> 1m <sup>3</sup> .....	23
Tabel 2.14 Hasil pengujian kuat tekan beton.....	23
Tabel 2.15 Komposisi campuran per 1 m <sup>3</sup> .....	24
Tabel 2.16 Hasil pengujian kuat tekan beton kombinasi <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i>	25
Tabel 2.17 <i>Mix design</i> per 1m <sup>3</sup> .....	26
Tabel 3.1 <i>Job mix formula</i> mortar.....	40
Tabel 3.2 Komposisi campuran <i>lightweight concrete</i> per 1m <sup>3</sup> .....	40
Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat halus .....	44
Tabel 4.2 <i>PSA fly ash</i> .....	46
Tabel 4.3. <i>Particle Size Analyzer Bottom Ash</i> .....	47
Tabel 4.4 Hasil pengujian XRF <i>fly ash</i> .....	51
Tabel 4.5 Hasil pengujian XRF <i>bottom ash</i> .....	51
Tabel 4.6 Hasil pengujian <i>slump</i> benda uji .....	55
Tabel 4.7 Berat isi beton normal dan JMF 10-10 hingga JMF 10-50 .....	56
Tabel 4.8 Berat isi beton normal dan JMF 20-10 hingga JMF 20-50 .....	57
Tabel 4.9 Berat isi beton normal dan JMF 30-10 hingga JMF 30-50 .....	58
Tabel 4.10 Berat isi beton normal dan JMF 40-10 hingga JMF 40-50 .....	59
Tabel 4.11 Kuat tekan beton JMF 0-0 hingga JMF 10-50 .....	60
Tabel 4.12 Kuat tekan beton normal dan JMF 20-10 hingga JMF 20-50 .....	61

Tabel 4.13 Kuat tekan beton normal dan JMF 30-10 hingga JMF 30-50 .....	62
Tabel 4.14 Kuat tekan beton normal dan JMF 40-10 hingga JMF 40-50 .....	63
Tabel 4.15 Rekapitulasi hasil pengujian tegangan-regangan.....	76
Tabel 4.16 Berat jenis dan kuat tekan JMF 10-10 hingga JMF 10-50.....	77
Tabel 4.17 Berat jenis dan kuat tekan JMF 20-10 hingga JMF 20-50.....	78
Tabel 4.18 Berat jenis dan kuat tekan JMF 30-10 hingga JMF 30-50.....	78
Tabel 4.19 Berat jenis dan kuat tekan JMF 40-10 hingga JMF 40-50.....	79



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Grafik pengujian kuat tekan beton .....	9
Gambar 2.2 Hasil XRD <i>fly ash</i> .....	14
Gambar 2.3 Hasil XRD <i>bottom ash</i> .....	15
Gambar 2.4 Hasil FTIR <i>fly ash</i> .....	17
Gambar 2.5 <i>Particle size distribution</i> dari <i>bottom ash</i> dan <i>fly ash</i> .....	18
Gambar 2.6 Grafik efek penambahan <i>fly ash</i> pada <i>slump</i> beton.....	20
Gambar 2.7 Grafik hasil pengujian kuat tekan beton.....	22
Gambar 2.8 Grafik pengaruh <i>bottom ash</i> terhadap kuat tekan.....	24
Gambar 2.9 Hasil pengujian tegangan-regangan .....	26
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.....	30
Gambar 3.2 Semen tipe 1 .....	31
Gambar 3.3 <i>Fly ash</i> .....	32
Gambar 3.4 <i>Bottom ash</i> .....	32
Gambar 3.5 Agregat halus .....	33
Gambar 3.6 Air .....	33
Gambar 3.7 <i>Superplasticizer</i> .....	34
Gambar 3.8 Cetakan silinder (a) Tampak samping (b) Tampak atas.....	35
Gambar 3.9 Cetakan kubus .....	35
Gambar 3.10 <i>Concrete mixer</i> .....	36
Gambar 3.11 <i>Mixer</i> duduk .....	36
Gambar 3.12 Kerucut Abrams dan tongkat pemadat .....	36
Gambar 3.13 Gelas ukur .....	37
Gambar 3.14 Alat uji kuat tekan beton .....	37
Gambar 3.15 Pengujian analisa saringan .....	38
Gambar 3.16 Pemeriksaan zat organik.....	39
Gambar 3.17 Pencampuran material padat .....	41
Gambar 3.18 Pencetakan benda uji silinder.....	42
Gambar 3.19 Pengujian kuat tekan beton .....	42
Gambar 4.1 Hasil pengujian PSA <i>fly ash</i> .....	46
Gambar 4.2 Hasil pengujian PSA <i>bottom ash</i> .....	47
Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD <i>fly ash</i> .....	48

Gambar 4.4 Hasil pengujian XRD <i>bottom ash</i> .....	48
Gambar 4.5 Luasan fase kristalin <i>fly ash</i> .....	49
Gambar 4.6 Luas fase <i>amorf</i> dan kristalin pada <i>fly ash</i> .....	49
Gambar 4.7 Luas fase <i>amorf</i> serta kristalin pada <i>bottom ash</i> .....	49
Gambar 4.8 Luas fase kristalin pada <i>bottom ash</i> .....	50
Gambar 4.9 <i>Fly ash</i> .....	52
Gambar 4.10 <i>Bottom ash</i> .....	53
Gambar 4.11 Hasil pengujian SEM <i>fly ash</i> .....	54
Gambar 4.12 SEM <i>bottom ash</i> .....	54
Gambar 4.13 Grafik berat isi beton normal dan JMF 10-10 hingga JMF 10-50 ...	56
Gambar 4.14 Grafik berat isi beton normal dan JMF 20-10 hingga JMF 20-50 ...	57
Gambar 4.15 Grafik berat isi beton normal dan JMF 30-10 hingga JMF 30-50 ...	57
Gambar 4.16 Grafik berat isi beton normal dan JMF 40-10 hingga JMF 40-50 ...	59
Gambar 4.17 Hubungan kuat tekan dengan kombinasi JMF 10-10 hingga 10-50	60
Gambar 4.18 Hubungan kuat tekan dan kombinasi JMF 20-10 – 20-50 .....	61
Gambar 4.19 Hubungan kuat tekan dan kombinasi JMF 30-10 – 30-50 .....	62
Gambar 4.20 Hubungan kuat tekan dan kombinasi JMF 30-10 – 30-50 .....	63
Gambar 4.21 JMF 0-0 .....	65
Gambar 4.22 JMF 10-10 .....	65
Gambar 4.23 Tegangan-regangan JMF 10-20, JMF 10-30, dan JMF 10-40 .....	66
Gambar 4.24 Tegangan-regangan JMF 10-50 dan JMF 0-0 hingga JMF 10-50 ...	67
Gambar 4.25 Beton normal.....	68
Gambar 4.26 JMF 20-10 .....	68
Gambar 4.27 Tegangan-regangan JMF 20-20, JMF 20-30, dan JMF 20-40 .....	69
Gambar 4.28 Tegangan-regangan JMF 20-50 dan JMF 0-0 hingga JMF 20-50 ...	70
Gambar 4.29 JMF 0-0 .....	70
Gambar 4.30 Tegangan-regangan JMF 30-10, JMF 30-20, dan JMF 30-30 .....	71
Gambar 4.31 Tegangan-regangan JMF 30-40, JMF 30-50, dan JMF 30-10 hingga JMF 30-50 .....	72
Gambar 4.32 JMF 0-0, JMF 40-10, dan JMF 40-20 .....	73
Gambar 4.33 Tegangan-regangan JMF 40-30, JMF 40-40, dan JMF 40-50 .....	74
Gambar 4.34 Tegangan-regangan JMF 0-0 hingga JMF 40-50.....	75
Gambar 4.35 Berat jenis dan kuat tekan JMF 10-10 hingga JMF 10-50 .....	77

Gambar 4.36 Berat jenis dan kuat tekan JMF 20-10 hingga JMF 20-50 .....	78
Gambar 4.37 Berat jenis dan kuat tekan JMF 30-10 hingga JMF 30-50 .....	79
Gambar 4.38 Berat jenis dan kuat tekan beton JMF 0-0 dan JMF 40-10 hingga JMF 40-50 .....	79
Gambar 4.39 Grafik hubungan berat jenis dan kuat tekan beton .....	80

# SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON RINGAN KOMBINASI *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*

M. Arlan<sup>1</sup>, Saloma<sup>2\*</sup>, dan Arie Putra Usman<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

\*Korespondensi Penulis: saloma@ft.unsri.ac.id dan arieputrausman.unsri@gmail.com

## Abstrak

Beton ringan menurut SNI adalah beton yang memiliki berat satuan kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari semen, air, agregat halus, *fly ash*, dan *bottom ash*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari hasil pembakaran batubara yang beterbangan pada tungku pembakaran. *Bottom ash* yang digunakan merupakan limbah abu batubara yang terdapat pada dasar tungku sisa pembakaran. *Fly ash* dan *bottom ash* yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan pasir dan semen cocok digunakan sebagai bahan pengganti semen dan pasir dalam campuran beton. Variasi yang digunakan pada penelitian ini terdapat 21 jenis campuran dengan satu buah beton normal sebagai kontrol dan 20 jenis persentase *fly ash* dan *bottom ash*. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *slump*, berat isi beton segar, kuat tekan beton, dan tegangan-regangan. Dari hasil pengujian *slump*, didapatkan kesimpulan semakin besar persentase *fly ash* dan *bottom ash*, menyebabkan nilai *slump* menurun. Uji berat isi beton segar mendapatkan nilai berat isi beton segar paling rendah terdapat pada kombinasi 40% *fly ash* dan 50% *bottom ash* dengan berat isi beton segar sebesar 1281,23kg/m<sup>3</sup>. Kuat tekan terbesar yang dihasilkan terdapat pada variasi yang menggunakan 10% *fly ash* dan 20% *bottom ash* dengan hasil 41,82MPa. Kuat tekan beton terkecil terdapat pada *mix design* JMF 40-50 dengan kuat tekan beton sebesar 4,79MPa, sedangkan untuk kuat tekan terendah yaitu sebesar 4,79 MPa yang merupakan campuran kombinasi 40% *fly ash* dan 50% *bottom ash*. Pada pengujian tegangan-regangan, nilai tegangan-regangan maksimum berada pada JMF 10-10 dengan nilai modulus elastisitas sebesar 40764,33MPa dengan tegangan sebesar 17,94MPa. sedangkan JMF 40-40 mendapatkan nilai modulus elastisitas terkecil, yaitu sebesar 3397,028MPa dengan tegangan sebesar 0,57MPa.

**Kata kunci:** *Fly ash*, *bottom ash*, kuat tekan, tegangan-regangan

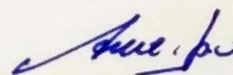
Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Saloma, M.T.  
NIP. 197610312002122001

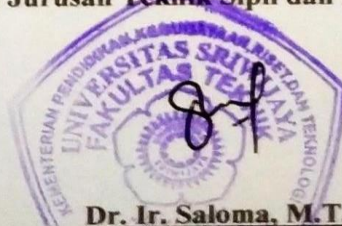
Palembang, 27 Juli 2021  
Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Arie Putra Usman, S.T., M.T.  
NIP. 198605192019031007

Mengetahui/Menyetujui  
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, M.T.  
NIP. 1976103120021220011

## RINGKASAN

### SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON RINGAN KOMBINASI *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, 27 Juli 2021

M. Arlan; Dibimbing oleh Dr. Ir. Saloma, M.T. dan Dr. Arie Putra Usman, S.T., M.T

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xvii + 85 halaman, 67 gambar, 38 tabel

Beton ringan menurut SNI adalah beton yang memiliki berat satuan kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari semen, air, agregat halus, *fly ash*, dan *bottom ash*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari hasil pembakaran batubara yang beterbangan pada tungku pembakaran. *Bottom ash* yang digunakan merupakan limbah abu batubara yang terdapat pada dasar tungku sisa pembakaran. *Fly ash* dan *bottom ash* yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan pasir dan semen cocok digunakan sebagai bahan pengganti semen dan pasir dalam campuran beton. Variasi yang digunakan pada penelitian ini terdapat 21 jenis campuran dengan satu buah beton normal sebagai kontrol dan 20 jenis persentase *fly ash* dan *bottom ash*. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *slump*, berat isi beton segar, kuat tekan beton, dan tegangan-regangan. Dari hasil pengujian *slump*, didapatkan kesimpulan semakin besar persentase *fly ash* dan *bottom ash*, menyebabkan nilai *slump* menurun. Uji berat isi beton segar mendapatkan nilai berat isi beton segar paling rendah terdapat pada kombinasi 40% *fly ash* dan 50% *bottom ash* dengan berat isi beton segar sebesar 1281,23kg/m<sup>3</sup>. Kuat tekan terbesar yang dihasilkan terdapat pada variasi yang menggunakan 10% *fly ash* dan 20% *bottom ash* dengan hasil 41,82MPa. Kuat tekan beton terkecil terdapat pada *mix design* JMF 40-50 dengan kuat tekan beton sebesar 4,79MPa, sedangkan untuk kuat tekan terendah yaitu sebesar 4,79 MPa yang merupakan campuran kombinasi 40% *fly ash* dan 50% *bottom ash*. Pada pengujian tegangan-regangan, nilai tegangan-regangan maksimum berada pada JMF 10-10 dengan nilai modulus elastisitas sebesar 40764,33MPa dengan tegangan sebesar 17,94MPa. sedangkan JMF 40-40 mendapatkan nilai modulus elastisitas terkecil, yaitu sebesar 3397,028MPa dengan tegangan sebesar 0,57MPa.

**Kata kunci:** *Fly ash*, *bottom ash*, kuat tekan, tegangan-regangan

## SUMMARY

### PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE COMBINATION OF FLY ASH AND BOTTOM ASH

Scientific paper in the form of Final Project, July 27, 2021

M. Arlan; Supervised by Dr. Ir. Saloma, M.T. and Dr. Arie Purta Usman, S.T.,M.T.

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xvii + 85 pages, 67 pictures, 38 tables

Lightweight concrete according to SNI is concrete that has a unit weight of less than 1900 kg/m<sup>3</sup>. The concrete mixture used in this research is cement, water, fine aggregate, fly ash, and bottom ash. The fly ash used comes from the combustion of coal that is flying in the furnace. Bottom ash used is coal ash waste found at the bottom of the combustion furnace. Fly ash and bottom ash which have a lower specific gravity than sand and cement are suitable for use as a substitute for cement and sand in concrete mixtures. The variations used in this study were 21 types of mixtures with one normal concrete as control and 20 types of fly ash and bottom ash percentages. Tests carried out in the form of slump testing, fresh concrete density, concrete compressive strength, and stress-strain. From the results of the slump test, it was concluded that the greater the percentage of fly ash and bottom ash, the lower the slump value. The density test of fresh concrete got the lowest density of fresh concrete found in the combination of 40% fly ash and 50% bottom ash with a fresh concrete density of 1281.23kg/m<sup>3</sup>. The greatest compressive strength produced is in the variation that uses 10% fly ash and 20% bottom ash with a yield of 41.82 MPa. The smallest concrete compressive strength is found in the JMF 40-50 mix design with a concrete compressive strength of 4.79 MPa, while the lowest compressive strength is 4.79 MPa which is a combination of 40% fly ash and 50% bottom ash. In the stress-strain test, the maximum stress-strain value is at JMF 10-10 with a modulus of elasticity of 40764.33MPa with a stress of 17.94MPa. while JMF 40-40 gets the smallest elastic modulus value, which is 3397.028MPa with a stress of 0.57MPa

**Keywords:** Fly ash, bottom ash, compressive strength, stress-strain

## PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Arlan

NIM : 03011381722112

Judul : Sifat Fisik dan Mekanik Beton Ringan Kombinasi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 27 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



**M. Arlan**

**NIM. 03011381722112**



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Sifat Fisik dan Mekanik Beton Ringan Kombinasi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*” yang disusun oleh, M. Arlan, 03011381722112 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguj Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Juli 2021

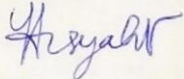
Palembang, 27 Juli 2021

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Pembimbing:

1. Dr. Ir. Saloma, M.T. (  )  
NIP. 197610312002122001
2. Dr. Arie Putra Usman, S.T., M.T. (  )  
NIP. 198605192019031007

Penguji:

3. Dr. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T. (  )  
NIP. 197705172008012039

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Teknik**

**Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.**

**NIP. 196706151995121002**

**Ketua Jurusan Teknik Sipil**



**Dr. Ir. Saloma, M.T.**

**NIP. 197610312002122001**



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Arlan

NIM : 03011381722112

Judul : Sifat Fisik dan Mekanik Beton Ringan Kombinasi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 27 Juli 2021



M. Arlan

NIM. 03011381722112

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : M. Arlan  
Tempat Tanggal Lahir: Palembang, 9 September 1999  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Email : muhammadarlan99@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Masa
SD Negeri 2 Indralaya	-	-	2005-2008
MI Hijriyah II Palembang	-	-	2008-2011
SMP Negeri 7 Palembang	-	-	2011 – 2014
SMA Negeri 3 Palembang	-	IPA	2014-2017
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	2017-2021

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan hormat,



(M. Arlan)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Industri konstruksi pada negara Indonesia masih terus berkembang. Perkembangan tersebut sangatlah dibutuhkan, mengingat hal tersebut dapat menimbulkan efek yang positif dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Contohnya adalah proyek duplikasi Jembatan Air Ogan, yang mana memberikan dampak positif karena dapat memperlancar arus lalu lintas kendaraan yang akan menyeberangi sungai air ogan. Material yang biasanya digunakan dalam proyek konstruksi adalah beton. Mengingat bahan pembuatan beton cukup mudah didapatkan dan juga biaya pembuatannya yang ekonomis menjadi penyebab beton dijadikan pilihan utama sebagai material dalam proyek konstruksi. Semen merupakan komposisi utama yang menyusun beton. Tetapi, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan oleh semen cukup besar, yang dihasilkan pada saat proses pembakaran semen di pabrik. Industri konstruksi yang sedang berkembang dengan cukup pesat dapat menjadi ancaman karena penggunaan semen yang semakin bertambah dan mengakibatkan terjadinya lonjakan karbon dioksida di udara.

Beton konvensional mempunyai berat jenis dengan rentang 2.200 – 2.600 kg/m<sup>3</sup> (Neville, 2011). Berat jenis yang besar pada beton menjadi penyebab beban mati pada sebuah material akan menjadi lebih tinggi. Akibatnya pada proses perencanaan, beton dengan berat jenis yang besar membuat dimensi suatu elemen struktur yang besar yang dapat dikategorikan sebagai pemborosan. Sedangkan untuk beton ringan struktural, dijelaskan di dalam SNI 3402:2008 bahwa beton ringan struktural merupakan beton yang memiliki campuran agregat ringan serta memiliki berat jenis kurang dari 1.900 kg/m<sup>3</sup>. Seiring dengan berkembangnya teknologi yang ada khususnya didalam dunia konstruksi, beton ringan menjadi salah satu alternatif yang cukup menjanjikan dalam pengembangan material beton. Beton ringan adalah suatu hal yang berpengaruh dalam bidang konstruksi modern. Beton ringan mempunyai berbagai kelebihan, misalnya mengurangi beban mati pada struktur, tahan terhadap suhu tinggi, mengurangi biaya yang digunakan dalam proses pembuatan. Contohnya pembuatan dinding menggunakan beton ringan, hal tersebut dapat membuat biaya pembangunan menjadi lebih ekonomis (Rajeswari &

George, 2016). Beton sendiri merupakan sebuah material yang cukup banyak dan sangat luas yang berguna pada bidang konstruksi, hal tersebut menyebabkan terjadinya pengembangan mengenai material penyusun beton agar lebih efektif dan efisien. Pengembangan terhadap material tersebut bertujuan agar kualitas beton yang dihasilkan menjadi lebih baik serta lebih ekonomis dan mudah dalam proses pembuatan sebagai elemen struktur. Hal tersebut dikarenakan oleh beton yang memiliki sifat kuat terhadap gaya tekan, mempunyai daya tahan yang tinggi, tidak memerlukan perawatan tambahan, dengan catatan struktur beton difungsikan sesuai dengan fungsinya yang terletak pada lingkungan yang tidak agresif. Beton adalah komponen struktur yang berupa batuan dengan bahan campuran antara semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu) serta air yang memerlukan atau tidak memerlukan bahan tambahan (*admixtures*) sesuai dengan komposisi yang dibutuhkan.

Limbah *fly ash* serta *bottom ash* yang semakin lama semakin menumpuk, harus dapat dimanfaatkan menjadi sesuatu yang berguna. *Fly ash* serta *bottom ash* akan dicoba untuk digunakan dalam bahan dalam komposisi campuran untuk membuat beton ringan. Dimana *fly ash* berfungsi untuk menggantikan semen sebagai pengikat dan *bottom ash* berfungsi untuk menggantikan pasir sebagai *filler*. *Fly ash* serta *bottom ash* yang menjadi bahan campuran dalam penelitian ini didapatkan dari hasil pembakaran batubara. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *fly ash* serta *bottom ash* sebagai komposisi campuran dalam bahan untuk membuat beton ringan (*lightweight concrete*). Penulis mengharapkan dengan menggunakan limbah *fly ash* serta *bottom ash*, beton yang dibuat dapat mempunyai berat yang lebih ringan dan termasuk ke dalam jenis beton ringan (*lightweight concrete*) serta memiliki kuat tekan beton yang lebih besar daripada beton yang tidak menggunakan kombinasi *fly ash* serta *bottom ash*.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang dibahas di dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh kombinasi *fly ash* serta *bottom ash* sebagai komposisi beton ringan terhadap kuat tekan benda uji?

2. Bagaimana berat beton setelah digunakan *fly ash* sebagai *binder* dan *bottom ash* sebagai *filler*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *fly ash* serta *bottom ash* terhadap tegangan dan regangan benda uji?
4. Bagaimana sifat fisik yang terjadi pada beton dengan campuran *fly ash* serta *bottom ash*?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Memahami bagaimana pengaruh bahan dasar *fly ash* dan *bottom ash* sebagai campuran beton ringan terhadap kuat tekan.
2. Menganalisis serta memahami perbandingan berat beton yang menggunakan komposisi campuran *fly ash* serta *bottom ash* dengan beton normal.
3. Memahami dan menganalisis pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* terhadap tegangan dan regangan benda uji.
4. Memahami sifat fisik pada beton berbahan dasar *fly ash* serta *bottom ash*.

### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sifat fisik dan mekanik beton ringan berbahan dasar *fly ash* dan *bottom ash*, yaitu:

1. *Fly ash* serta *bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini merupakan *fly ash* serta *bottom ash* dari PT. Bukit Asam.
2. *Fly ash* berfungsi sebagai pengikat (*binder*) dan *bottom ash* berfungsi sebagai pengisi (*filler*).
3. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen opc semen yang berasal dari PT. IndoBeton.
4. Pasir yang digunakan pada penelitian merupakan pasir Tanjung Raja.
5. Pengujian kuat tekan serta pengujian tegangan regangan dilaksanakan ketika umur beton mencapai 28 hari.
6. Uji tegangan regangan (menggunakan *strain gauge*), pengujian kuat tekan beton (menggunakan *universal testing machine*), pengujian *slump* (menggunakan kerucut Abrams), dan uji berat isi beton segar.
7. Kegiatan penelitian ini dilakukan di laboratorium.

8. Pelaksanaan penelitian berstandar pada ASTM (*American Standard Testing and Material*).

### **1.5. Metode Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang dilakukan dalam kegiatan penelitian ini, dilakukan menggunakan dua cara. Caranya adalah sebagai berikut.

1. Data primer

Data primer merupakan data yang didapatkan oleh peneliti dengan melakukan kegiatan penelitian yang dilaksanakan secara mandiri mengenai suatu benda atau objek untuk diteliti. Data primer pada penelitian ini dilakukan di laboratorium.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan suatu data yang didapatkan oleh peneliti secara tidak langsung. Data sekunder juga termasuk data yang didapatkan oleh penelitian terdahulu. Data sekunder yang digunakan peneliti pada laporan ini adalah studi pustaka seperti jurnal.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan adalah suatu susunan pada penulisan sebuah karya ilmiah yang disusun dengan cara yang sistematis. Rencana susunan pada laporan tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab, yaitu:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab pendahuluan berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data, serta sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab tinjauan pustaka berisikan studi pustaka yang menjelaskan mengenai teori mengenai beton ringan, beton dengan campuran *fly ash*, beton dengan campuran *bottom ash*, serta beton dengan kombinasi *fly ash* serta *bottom ash*. Studi pustaka yang digunakan adalah berisi mengenai bahan yang digunakan sebagai campuran

dan komposisi campuran serta penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai titik acuan dalam kegiatan penelitian ini.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab metodologi penelitian berisikan alur penelitian, bahan yang digunakan, peralatan yang digunakan dalam kegiatan penelitian, dan tahapan-tahapan yang dilaksanakan dalam pelaksanaan penelitian.

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi mengenai hasil penelitian berupa hasil pengujian bahan. Bahan atau material yang dilakukan pengujian adalah pasir, *bottom ash* dan *fly ash*, serta hasil pengujian sifat fisik dan mekanik pada beton kombinasi *fly ash* serta *bottom ash*.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab kesimpulan dan saran berisikan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang diberikan oleh peneliti kepada orang-orang yang akan melakukan penelitian serupa pada masa yang akan datang.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P., Aggarwal, Y., dan Gupta, S.M. 2007. EFFECT OF BOTTOM ASH AS REPLACEMENT OF FINE AGGREGATES IN CONCRETE. *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING) VOL. 8, NO. 1 (2007)*. PAGES 49-62.
- Antoni, Sulistio, A. V., Wahjudi, S., & Hardjito, D. 2017. Processed bottom ash for replacing fine aggregate in making high-volume fly ash concrete. *MATEC Web of Conferences 138, 01006 EACEF 2017*.
- ASTM C109-13. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. 2013. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C138/C138M – 17a. *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*. 2017. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C143/C143M – 12. *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. 2012. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C29/C29M – 09. *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. 2010. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C33/C33M – 08. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. 2009. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C39/C39M – 14. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2014. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C40/C40M-11. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. 2011. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C469/C469M – 14. *Standard Test Method For Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression*. 2014. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C496/C496M – 11. *Standard Test Method For Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2017. American Society for Testing and Materials International, USA.
- Deraman, L. M., Abdullah, M. M. Al B., Ming, L. W., Hussin, K., Yahya, Z., Kadir, A.A. 2015. UTILIZATION OF BOTTOM ASH FOR ALKALI-ACTIVATED (SI-AL) MATERIALS: A REVIEW. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 10, NO. 18.



- Fakih, Amin Al, Mohammed, Bashar S., Liew, Mohd Shahir, dan Alaloul, W.S. 2018. PHYSICAL PROPERTIES OF THE RUBBERIZED INTERLOCKING MASONRY BRICK. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 9, Issue 6*, pp. 656–664.
- Fauzi, A., Nuruddina, M. F., Malkawia, A. B., Abdullah, M. M. A. B. 2016. Study of Fly Ash Characterization as a Cementitious Material. *Procedia Engineering 148*. 487 – 493.
- Ghosh, Avijit, Ghosh, Arup, & Neogi, Subhasis. 2018. Reuse of fly ash and bottom ash in mortars with improved thermal conductivity performance for buildings. *Elsevier Ltd Article No-e00934*.
- Hama, Sheelan M., Hilal, Nahla N. 2017. Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal of Sustainable Built Environment 6*. 299-308.
- Hamzah, A. F., Ibrahim, M. H. W., Jamaluddin, N., Jaya, R. P., dan Abidin, N.E.Z. 2015. Fresh Properties of Self-Compacting Concrete Integrating Coal Bottom Ash as a Replacement of Fine Aggregates. *Advanced Materials Research Vol. 1125*. pp 370-376.
- Hardjito, D., Antoni, Chandra, A. A., Pratomo, A. 2011. Properties of Environmentally-friendly Concrete Bricks under Different Curing Regimes. *Proceedings of the 4th ASEAN Civil Engineering Conference*.
- Herki, Bengin M A. 2020. Lightweight Concrete Using Local Natural Lightweight Agregate. *Journal of Critical Reviews, Vol 7*, 490-496.
- Maghfury, Taufiq Ilham. 2020. “Analisis X-Ray Diffraction (XRD) pada Brazing Aluminium Serbuk Tembaga”. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Manguriu, N G., Mutku, N. R., Oyawa, O. W. & Abuodha, O. S., 2012. Properties of Pumice Lightweight Aggregate. *Civil and Environmental Research, 2(10)*, pp. 58-67.
- Mulyono, Tri. 2018. *Teknologi Beton: Dari Teori ke Praktek*. Lembaga Pengembangan Pendidikan – UNJ: Jakarta.
- Muralitharan, R S., & Ramasamy, V., 2015. Basic Properties of Pumice Aggregate. *International Journal of Earth Sciences and Engineering, 8(4)*, pp. 256-258.
- Naik, T.R., Kraus, R.N., Chun, Y.M., dan Nageotte, S.O. 2007. Coal-Combustion bottom ash for reducing shrinkage of concrete made with Portland cement and sulfoaluminate cement. *Report No CBU-2006-22 REP-621*, 1–13.
- Neville, A. M. 2011. *Properties of Concrete*. Harlow: Pearson Educatio Limited.
- Nugraha, Paul & Antoni. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Parhizkar, T., Najimi, M. & Pourkhorshidi, A., 2012. Application of Pumice Aggregate in Structural. *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING)*, 13(1), pp. 43-54.
- Prawito, E. 2010. “Analisis Perbandingan Berat Jenis Dan Kuat Tekan Antara Beton Ringan Dan Beton Normal Dengan Mutu Beton 200”. Skripsi, Fakultas Teknik, USU, Medan.
- Putranto, Satrio, Chundakus Habsya, & Anis Rahmawati. 2017. Pengaruh Fly Ash Sebagai Bahan Tambah Beton Ringan Foam Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan dan Daya Serap Air, Untuk Material Dinding Struktur. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan (JIPTEK)*, Vol. X No. 1, 42-51.
- Rafieizonooz, M., Mirza, J., Salim, M. R., Hussin, M. W., dan Khankhaje., E. 2016. Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. *Construction and Building Materials* 116. 15 – 24.
- Rahman, Reza. 2008. “Pengaruh proses pengeringan, anil, dan hidrotermal”. FT, UI, Depok.
- Rai, Baboo, Kumar, Sanjay, dan Satish, Kumar. 2014. Effect of Fly Ash on Mortar Mixes with Quarry Dust as Fine Aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2014, Article ID 626425*. 1-7.
- Rajeswari, S. & George, S., 2016. Experimental Study of Light Weight Concrete by Partial Replacement of Coarse Aggregate Using Pumice Aggregate. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 4(5), pp. 50-53.
- Rao, N. S., Kumari, Y. R. R., Desai, V. B., & Swami, B. L. P. 2013. Fibre Reinforced Light Weight Aggregate (Natural Pumice Stone) Concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5), pp. 158-161.
- Razak, R. A., Abdullah, M. M. A. B., Yahya, Hamid, M. S. A. 2017. Durability of Geopolymer Lightweight Concrete Infilled LECA in Seawater Exposure. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 267 (2017) 012012. 1-5.
- Senel, M.A., Tasbahji, T., Turanli, L., dan Saritas, A. 2015. Stress-Strain Behaviour of Structural Lightweight Concrete under Confinement. *6th International Conference on Structural Engineering and Construction Management 2015, Kandy, Sri Lanka*. 95-101.
- SNI 2847:2019. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 3402:2008. 2008. Cara uji berat isi beton ringan struktural. Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- Song, Y. S., Yun, J. M., dan Kim, T. H. 2010. Compression strength properties of

the hardened cement mortar mixed with municipal incineration fine bottom ashes. *Environ Earth Sci* (2010) 61:1703–1711.

- Sounthararajan V. M. 2018. Empirical Prediction Models for Strength Gain Properties of Fly Ash Based Concrete Subjected to Accelerated Curing. *Advanced Materials Research ISSN: 1662-8985, Vol. 1150*. pp 73-90.
- Thienel, Karl-Christian, Haller, Timo, & Beuntner, Nancy. 2020. Lightweight Concrete—From Basics to Innovations. *Materials* 2020, 13, 1120.
- Tiurma, S. 2009. “Pembuatan dan karakterisasi bata beton ringan”. Pasca Sarjana, USU, Medan.
- Tjokrodinuljo, 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri: Yogyakarta
- Xie, Tianyu, dan Ozbakkaloglu, Togay. 2015. Behavior of low-calcium fly and bottom ash-based geopolymer concrete cured at ambient temperature. *Ceramics International* 41. 5945–5958.
- Yahya, Tengku Tanton, Kurniawandy, Alex, dan Djauhari, Zulfikar. 2017. Pengaruh Kombinasi Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Mekanis. *Jom F TEKNIK Volume 4 No. 1*, 1-7.
- Yüksel, Isa dan Genç, Ayten. 2007. Properties of Concrete Containing Nonground Ash and Slag As Fine Aggregate. *ACI Materials Journal* 104(4). 303-309.
- Zareef, Mohamed El. 2010. “Conceptual and Structural Design of Buildings Made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete”. Dissertation, Technischen Universität Berlin Institut für Bauingenieurwesen, Berlin.
- Zhang, Peng & Li, Qing-Fu. 2013. Combined effect of polypropylene fiber and silica fume on workability and carbonation resistance of concrete composite containing fly ash. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications* 2013. 227:250.