

**TUGAS AKHIR**

**KUAT TEKAN MORTAR DENGAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI  
SUBSTITUSI PENGANTI SEMEN**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik  
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta



**Di susun oleh :**  
**Muhammad Adhi Gunawan**  
**20170110143**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**  
**2021**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Adhi Gunawan  
NIM : 20170110143  
Judul : Kuat Tekan Mortar Dengan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi  
Pengganti Semen

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 20 April 2021  
Yang membuat pernyataan



Muhammad Adhi Gunawan

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Adhi Gunawan  
NIM : 20170110143  
Judul : Kuat Tekan Mortar Dengan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi  
Pengganti Semen

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul “Kuat Tekan Mortar Dengan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Pengganti Semen” dan didanai melalui skema hibah penelitian *internal* pada tahun 2021 oleh Lembaga Penelitian, Publikasi, dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2021 tentang penerima hibah penelitian program peningkatan tri dharma perguruan tinggi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Yogyakarta, 20 April 2021

Penulis



Muhammad Adhi Gunawan

Dosen Peneliti



Fanny Monika, ST., M.Eng

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Puji Syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun Tugas Akhir dapat diselesaikan.

Terima kasih kepada kedua orang tua tercinta beserta adik-adik dan Ashri Rahmiati Julian atas dukungan moral maupun materi yang selalu diberikan sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan sebaik mungkin.

Terima kasih kepada Fanny Monika, ST., M.Eng dan Hakas Prayuda, S.T., M.Eng yang telah sabar memberikan bimbingan dalam penulisan Tugas Akhir.

Terima kasih kepada tim Hilal, Bagas, Zayu, Agustin, Yolanda, Erwiena, dan Nia yang telah membantu dan bekerja sama dalam melakukan penelitian sehingga memberikan semangat dalam menjalankan kewajiban ini.

Terima kasih kepada teman-teman Fahmi, Firhan, Aditya, Sigit, Danta, Handoyo, Ghea, Heri, Restu, Malik, Rifqi, Muharor, Fuad, Sandya, dan teman-teman lainnya kelas D angkatan 2017 yang telah memberikan semangat dalam mengerjakan laporan Tugas Akhir.

Terima kasih kepada Bapak Sumadi yang telah membantu dan memberikan bimbingan saat melakukan penelitian di Laboratorium Struktur dan Teknologi Bahan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY).

## PRAKATA



*Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Puji Syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat melaksanakan Tugas Akhir dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam kurikulum guna menyelesaikan Pendidikan Strata 1 (S1) pada Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Judul dari penelitian Tugas Akhir ini adalah "Kuat Tekan Mortar Dengan *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Pengganti Semen".

Pada kesempatan ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait pelaksanaan Tugas Akhir yang telah memberi dukungan moral dan juga bimbingan pada penyusun. Ucapan terima kasih ditujukan kepada yang berikut ini.

1. Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D selaku ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
2. Fanny Monika, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
3. Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji Tugas Akhir,
4. Semua pihak dan rekan-rekan yang telah membantu sehingga kewajiban ini dapat terselesaikan.

Dengan segala kerendahan hati, penulis selaku penyusun laporan, menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang positif guna perbaikan laporan ini agar bermanfaat bagi penyusunan laporan berikutnya. Harapan penulis selaku penyusun, semoga laporan ini dapat bermanfaat sebagai referensi dalam bidang Teknik Sipil.

*Wallahu a 'lam bi Showab.*

*Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Yogyakarta, 20 April 2021

Penyusun

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG .....	xiiiv
DAFTAR SINGKATAN .....	xvi
DAFTAR ISTILAH .....	xvii
ABSTRAK .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Lingkup Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	6
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.1.1 Karakteristik <i>Bottom Ash</i> .....	6
2.1.2 Pemeriksaan <i>Properties</i> Agregat Halus .....	11
2.1.3 Pemanfaatan <i>Silica Fume</i> dan <i>Superplasticizer</i> .....	12
2.1.4 Pemanfaatan <i>Bottom Ash</i> .....	14
2.2 Dasar Teori .....	18
2.2.1 Mortar .....	18
2.2.2 Bahan Penyusun Mortar .....	18
2.2.2.1 Semen .....	18
2.2.2.2 Air .....	19
2.2.2.3 Agregat Halus .....	20

2.2.2.4	<i>Silica Fume</i> .....	20
2.2.2.5	<i>Superplasticizer</i> .....	21
2.2.2.6	<i>Bottom Ash</i> .....	21
2.2.3	Pemeriksaan Agregat .....	22
2.2.3.1	Analisis Gradasi Agregat.....	22
2.2.3.2	Berat Jenis .....	22
2.2.3.3	Berat Satuan.....	23
2.2.3.4	Kadar Lumpur .....	23
2.2.3.5	Kadar Air .....	24
2.2.3.6	Penyerapan .....	24
2.2.4	Pemeriksaan <i>Binder</i> .....	24
2.2.5	Pemeriksaan <i>Fresh Properties</i> .....	25
2.2.6	Perawatan ( <i>Curing</i> ) .....	25
2.2.6.1	<i>Curing Sealed</i> .....	26
2.2.6.2	<i>Curing Water</i> .....	26
2.2.7	<i>Hardened Properties</i> .....	26
2.2.7.1	Berat Satuan.....	26
2.2.7.2	Kuat Tekan .....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
3.1	Lokasi Penelitian.....	28
3.2	Bahan Penelitian.....	28
3.3	Alat Penelitian.....	31
3.4	Alur Penelitian .....	39
3.5	<i>Mix Design</i> .....	41
3.6	Pengujian Sifat Mekanik .....	42
3.6.1	Pengujian Agregat Halus.....	42
3.6.2	Pengujian <i>Bottom Ash</i> .....	47
3.7	Pelaksanaan Pencampuran Mortar (BSN, 2014).....	48
3.8	Pengujian <i>Fresh Properties</i> .....	48
3.8.1	<i>Flowability</i> .....	48
3.9	Perawatan ( <i>Curing</i> ) .....	49
3.9.1	<i>Curing Sealed</i> .....	49

3.9.2	<i>Curing Water</i> .....	49
3.10	Pengujian <i>Hardened Properties</i> .....	50
3.10.1	Pengujian Berat Satuan .....	50
3.10.2	Pengujian Kuat Tekan .....	50
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		52
4.1	Hasil Pengujian Sifat Bahan Penyusun Mortar .....	52
4.2	Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir) .....	52
4.2.1	Pengujian Gradasi Butiran .....	52
4.2.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air .....	53
4.2.3	Pengujian Berat Satuan .....	53
4.2.4	Pengujian Kadar Lumpur .....	54
4.2.5	Pengujian Kadar Air.....	54
4.3	Hasil Pengujian <i>Binder</i> .....	55
4.3.1	Pengujian Gradasi Butiran <i>Bottom Ash</i> .....	55
4.3.2	Pengujian SEM .....	55
4.3.3	Pengujian X-RD .....	58
4.4	Hasil Pengujian <i>Fresh Properties</i> .....	59
4.4.1	Pengujian <i>Flowability</i> .....	59
4.5	Hasil Pengujian <i>Hardened Properties</i> .....	60
4.5.1	Berat Satuan pada Mortar.....	60
4.5.2	Kuat Tekan pada Mortar .....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		76
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA .....		xx
LAMPIRAN.....		



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Senyawa kimia dari material <i>bottom ash</i> (Ramzi, dkk 2016) (Avijit, dkk 2018) (Baite, dkk 2016).....	8
Tabel 2.2 Hasil pemeriksaan agregat halus (Sandra 2020).....	11
Tabel 2.3 Hasil pemeriksaan agregat halus (Agustian 2018) .....	11
Tabel 2.4 Hasil pemeriksaan agregat halus (Prayuda dan Pujianto 2018).....	12
Tabel 2.5 Hasil pengujian kuat tekan (Agustian 2018) .....	13
Tabel 2.6 Hasil pengujian kuat tekan (Afif 2013).....	13
Tabel 2.7 Hasil pengujian kuat tekan (Rahady 2017).....	13
Tabel 2.8 <i>Mix design</i> (Qomaruddin 2018).....	14
Tabel 2.9 Hasil pengujian kuat tekan (Qomaruddin 2018).....	15
Tabel 2.10 <i>Mix design</i> MM3 (Avijit, dkk 2018).....	16
Tabel 2.11 <i>Mix design</i> MM5 (Avijit, dkk 2018).....	16
Tabel 2.12 Gradasi agregat untuk adukan (BSN 2002) .....	20
Tabel 2.13 Standar acuan analisis agregat halus (ASTM 2014).....	22
Tabel 3.1 <i>Mix design</i> per 1 benda uji .....	42
Tabel 3.2 <i>Mix design</i> per 3 benda uji .....	42
Tabel 3.3 <i>Mix design</i> per 6 benda uji .....	42
Tabel 4.1 Hasil pengujian gradasi butiran pada agregat halus .....	52
Tabel 4.2 Hasil pengujian agregat halus.....	54
Tabel 4.3 Hasil pengujian gradasi butiran pada <i>bottom ash</i> .....	55
Tabel 4.4 Senyawa kimia semen, <i>bottom ash</i> , dan <i>silica fume</i> (Ristinah, dkk. 2012) .....	56
Tabel 4.5 Hasil pengujian <i>fowability</i> .....	60
Tabel 4.6 Hasil pengujian berat satuan mortar metode <i>curing sealed</i> .....	61
Tabel 4.7 Hasil pengujian berat satuan mortar metode <i>curing water</i> .....	62
Tabel 4.8 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal .....	63
Tabel 4.9 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal tambahan <i>silica fume</i> .....	64
Tabel 4.10 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal tambahan <i>superplasticizer</i> .....	65

Tabel 4.11 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal tambahan <i>bottom ash</i> 10%.....	67
Tabel 4.12 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal tambahan <i>bottom ash</i> 20%.....	68
Tabel 4.13 Hasil pengujian kuat tekan mortar normal tambahan <i>bottom ash</i> 30%.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil pengujian SEM 100 kali pembesaran (Ramzi, dkk 2016).....	8
Gambar 2.2 Hasil pengujian SEM 300 kali pembesaran (Ramzi, dkk 2016).....	9
Gambar 2.3 Hasil pengujian SEM pada <i>bottom ash</i> (Baite, dkk 2016).....	9
Gambar 2.4 Hasil pengujian SEM 500 kali pembesaran (Kurniasari 2017).....	10
Gambar 2.5 Hasil pengujian SEM 1000 kali pembesaran (Kurniasari 2017).....	10
Gambar 2.6 Hasil pengujian X-RD pada <i>bottom ash</i> (Avijit, dkk 2018) .....	10
Gambar 2.7 Hasil pengujian kuat tekan (Qomaruddin 2018) .....	15
Gambar 2.8 Hasil pengujian kuat tekan MM3 (Avijit, dkk 2018) .....	17
Gambar 2.9 Hasil pengujian kuat tekan MM5 (Avijit, dkk 2018).....	17
Gambar 3.1 Semen Tiga Roda PPC .....	28
Gambar 3.2 Agregat halus (pasir).....	29
Gambar 3.3 <i>Bottom ash</i> .....	29
Gambar 3.4 <i>Silica fume</i> .....	30
Gambar 3.5 <i>Superplasticizer</i> .....	30
Gambar 3.6 Air.....	31
Gambar 3.7 Oven .....	31
Gambar 3.8 Meja leleh .....	32
Gambar 3.9 Cincin leleh .....	32
Gambar 3.10 <i>Compression testing machine</i> .....	33
Gambar 3.11 Timbangan .....	33
Gambar 3.12 Saringan.....	34
Gambar 3.13 Gelas ukur 10 ml .....	34
Gambar 3.14 Gelas ukur 1000 ml .....	35
Gambar 3.15 Cetakan kubus .....	35
Gambar 3.16 Kaliper .....	36
Gambar 3.17 Cetok dan sekop .....	36
Gambar 3.18 Wadah .....	37
Gambar 3.19 <i>Oil</i> .....	37
Gambar 3.20 Kuas .....	38
Gambar 3.21 Troli .....	38

Gambar 3.22 Plastik.....	39
Gambar 3.23 Bagan alir penelitian .....	39
Gambar 3.24 Pengujian gradasi agregat halus.....	43
Gambar 3.25 Pengujian berat jenis dan penyerapan.....	44
Gambar 3.26 Pengujian berat satuan.....	45
Gambar 3.27 Pengujian kadar lumpur.....	46
Gambar 3.28 Pengujian kadar air.....	47
Gambar 3.29 Pengujian <i>flowability</i> .....	48
Gambar 3.30 <i>Curing water</i> .....	49
Gambar 3.31 <i>Curing sealed</i> .....	49
Gambar 3.32 Pengujian berat satuan.....	50
Gambar 3.33 Pengujian kuat tekan.....	50
Gambar 3.24 <i>Setting-up</i> pengujian .....	51
Gambar 4.1 Hubungan berat lolos kumulatif dan ukuran saringan (Daerah 2)....	53
Gambar 4.2 Hubungan berat lolos kumulatif dan ukuran saringan (Daerah 2)...	55
Gambar 4.3 Hasil pengujian SEM pada semen dengan 3000 kali pembesaran ...	57
Gambar 4.4 Hasil pengujian SEM pada <i>bottom ash</i> dengan 1000 kali pembesaran.....	57
Gambar 4.5 Hasil pengujian SEM pada <i>silica fume</i> dengan 5000 kali pembesaran.....	57
Gambar 4.6 Hasil pengujian X-RD pada semen .....	58
Gambar 4.7 Hasil pengujian X-RD pada <i>bottom ash</i> .....	58
Gambar 4.8 Hasil pengujian X-RD pada <i>silica fume</i> .....	59
Gambar 4.9 Hasil pengujian <i>flowability</i> pada mortar .....	60
Gambar 4.10 Grafik hubungan kuat tekan dan umur berdasarkan <i>curing sealed</i> .	70
Gambar 4.11 Grafik hubungan kuat tekan dan umur berdasarkan <i>curing water</i> ..	70
Gambar 4.12 Hubungan kuat tekan umur 3 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing sealed</i> .....	71
Gambar 4.13 Hubungan kuat tekan umur 3 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing water</i> .....	72
Gambar 4.14 Hubungan kuat tekan umur 7 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing sealed</i> .....	72

Gambar 4.15 Hubungan kuat tekan umur 7 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing water</i> .....	73
Gambar 4.16 Hubungan kuat tekan umur 14 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing sealed</i> .....	73
Gambar 4.17 Hubungan kuat tekan umur 14 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing water</i> .....	74
Gambar 4.18 Hubungan kuat tekan umur 28 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing sealed</i> .....	74
Gambar 4.19 Hubungan kuat tekan umur 28 hari dan variasi <i>bottom ash</i> metode <i>curing water</i> .....	75

## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
A	[g]	Berat benda uji kering oven
B	[g]	Berat piknometer yang berisi air
C	[g]	Berat piknometer berisi benda uji dan air
S	[g]	Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan
$M_c$	[g]	Berat silinder dan benda uji
$M_m$	[g]	Berat silinder
$V_m$	[cm <sup>3</sup> ]	Volume silinder
$W_1$	[g]	Berat kering benda uji dan wadah
$W_2$	[g]	Berat wadah
$W_3$	[g]	Berat kering benda uji awal
$W_4$	[%]	Berat kering benda uji setelah pencucian dan wadah
$W_5$	[%]	Berat kering benda uji setelah pencucian
$W_6$	[%]	% bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)
MN	[-]	Mortar normal
MNS	[-]	Mortar normal dan <i>silica fume</i>
MNSP	[-]	Mortar normal dan <i>superplasticizer</i>
MBA10	[-]	Mortar <i>bottom ash</i> 10%
MBA20	[-]	Mortar <i>bottom ash</i> 20%
MBA30	[-]	Mortar <i>bottom ash</i> 30%
$S_d$	[-]	Berat jenis curah kering
$S_{sd}$	[-]	Berat jenis curah jenuh kering permukaan
$S_a$	[-]	Berat jenis semu
$S_w$	[%]	Penyerapan air
D	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Berat satuan
P	[%]	Kadar air

## DAFTAR SINGKATAN

ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	: <i>American Standard Testing and Material</i>
BSN	: Badan Standardisasi Nasional
SNI	: Standar Nasional Indonesia
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>
X-RD	: <i>X-Ray Diffraction</i>
SCC	: <i>self-compacting concrete</i>

## DAFTAR ISTILAH

1. *Workability*  
kemudahan dalam mengerjakan beton.
2. *Fresh properties*  
Pengujian yang dilakukan sebelum benda uji mengeras.
3. *Hardened properties*  
Pengujian yang dilakukan setelah benda uji mengeras.
4. *Admixture*  
Bahan tambah campuran beton.
5. *Superplasticizer*  
Bahan tambah berupa cairan kimia.
6. *Self-Compacting Concrete*  
Beton segar yang mampu memadatkan dengan sendirinya.
7. *Mix Design*  
Proporsi bahan campuran.