

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOROSI BETON DENGAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME*
MENGUNAKAN *NDT METHOD***



Disusun oleh :

Ferdi Ardian Syah

20200110181

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

2024

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOROSI BETON DENGAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME*
MENGUNAKAN *NDT METHOD***

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



Disusun oleh :
Ferdi Ardian Syah
20200110181

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2024

HALAMAN PERNYATAAN

saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ferdi Ardian Syah

NIM : 20200110181

Judul : Analisis Korosi Beton dengan *Fly Ash* dan *Silica fume*
Menggunakan *NDT Method*

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 ketidakkebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak manapun

Yogyakarta, 08 Mei 2024

Yang membuat pernyataan



(Ferdie Ardian Syah)

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ferdi Maulana Kusumawijaya
NIM : 20200110181
Judul : Analisis Korosi Beton dengan *Fly Ash* dan *Silica Fume*
Menggunakan *NDT Method*

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul Analisis Geopolimer menggunakan *NDT Method* dan didanai melalui skema hibah Kerjasama Luar Negeri pada tahun 2024 oleh Lembaga Riset dan Inovasi UMY Tahun Anggaran 2024 dengan nomor hibah 50/R-LRI/XII/2023

Yogyakarta, 08 Mei 2024

Penulis,



Ferdi Ardian Syah

Dosen Peneliti,



Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat **Allah SWT**, atas limpahan kesehatan dan karunia-Nya, dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan studi dan tugas akhir dengan lancar dan penuh berkah.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

Orang Tua dan Keluarga yang saya sayangi dan saya cintai

Alhamdulillah rabbi'l'alamiin Jazakumullahu Khairan atas segala do'a dan dukungan baik moril maupun material, serta nasihat dan pendapatnya selama ini, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.

Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D.

Saya ucapkan terima kasih banyak untuk bapak selaku dosen pembimbing tugas akhir saya yang telah membimbing saya dengan sabar, terima kasih atas ilmu dan nasehatnya, atas waktu yang telah diluangkan untuk membimbing saya, dan semua jasa bapak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tim Cipung

Terima kasih untuk Restu, Arfa, Riska, Salma, Zain, Yasin atas bantuan dan kerja samanya dari awal merencanakan benda uji, proses akselerasi korosi yang lumayan ribet, proses NDT yang bikin stres, dan akhirnya selesai tugas akhir ini.

PRAKATA

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Bapak Ir. Puji Harsanto. S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Dr. Eng. Ir. Pinta Atuti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
4. Kedua Orang Tua dan Keluarga saya yang telah memberi doa serta dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

Wallahu a'lam bi Showab.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatauh.

Yogyakarta, 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	18
2.2.1 Beton.....	18
2.2.2 Beton Bertulang	19
2.2.3 Bahan Penyusun Beton Bertulang	20
2.2.4 Pengujian Material	21
2.2.5 <i>Mix Design</i>	24
2.2.6 Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	25
2.2.7 Korosi.....	25
2.2.8 <i>Resistivity</i>	28

2.2.9	<i>Impact-Echo</i>	29
2.2.10	Kuat Lentur Beton.....	30
2.2.11	Kuat Tekan Beton	31
2.2.12	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	32
2.2.13	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	33
BAB III METODE PENELITIAN		34
3.1	Material Penelitian	34
3.2	Alat.....	37
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.4	Tahapan Penelitian.....	45
3.4.1	Studi Pustaka.....	47
3.4.2	Persiapan Alat dan Bahan	47
3.4.3	Pengujian Material	47
3.4.4	<i>Mix design</i> Beton	48
3.4.5	Pembuatan Benda Uji	49
3.4.6	Pengujian <i>Slump</i>	50
3.4.7	Proses <i>Curing</i>	50
3.4.8	Pengujian <i>Resistivity</i> dan <i>Impact Echo</i>	50
3.4.9	Akselerasi Korosi.....	52
3.4.10	Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur.....	53
3.4.11	Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	54
3.5	Analisis Data.....	55
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Pengujian Agregat Halus	56
4.1.1	Pengujian Gradasi Butiran Agregat Halus.....	56
4.1.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir	57
4.1.3	Pengujian Kadar Lumpur Pasir	57
4.2	Pengujian Agregat Kasar	58
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Kerikil.....	58
4.2.2	Pengujian Kadar Lumpur Kerikil.....	58
4.2.3	Pengujian Keausan Kerikil	59
4.3	Pengujian Mikrostruktur <i>Raw Material</i>	59

4.4	<i>Mix Design</i> Beton	60
4.5	Uji <i>Slump</i> Beton.....	61
4.6	Uji Kuat Tekan Beton Silinder	62
4.7	Pengujian Korosi.....	65
4.8	Pengujian <i>Resistivity</i>	72
4.9	Pengujian <i>Impact-Echo</i>	77
4.9.1	Perbandingan Kualitas Frekuensi Pengujian <i>Impact-Echo</i> Pada Setiap Jarak Sensor	77
4.9.2	Perbandingan Hasil Gelombang Sebelum dan Sesudah Korosi	78
4.10	Uji Kuat Lentur Beton Bertulang.....	82
4.11	Uji Mikrostruktur SEM dan XRD.....	87
BAB V KESIMPULAN		90
10.1	Kesimpulan	90
10.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		92
LAMPIRAN		99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kekuatan tekan SCC pada rasio w/b 0,35.....	12
Tabel 2.2 Perbandingan penelitian terdahulu dan sekarang.....	16
Tabel 2.3 Chloride penetrability rate based on electrical resistivity	29
Tabel 2. 4 Toleransi umur benda uji yang diizinkan.....	32
Tabel 3.1 Variasi campuran beton	49
Tabel 4.1 Analisis gradasi butiran agregat halus	56
Tabel 4.2 Data pengujian agregat halus	58
Tabel 4.3 Data pengujian agregat kasar	59
Tabel 4.4 Kebutuhan mix design per 1 m ³	61
Tabel 4.5 Kebutuhan mix design per 3 benda uji.....	61
Tabel 4.6 Nilai uji slump benda uji	61
Tabel 4.7 Hasil uji kuat tekan beton silinder.....	62
Tabel 4.8 Lebar retak korosi	69
Tabel 4.9 Presentasi kehilangan massa tulangan	70
Tabel 4.10 Nilai resistivity beton sebelum akselerasi korosi.....	72
Tabel 4.11 Nilai resistivity setelah korosi.....	74
Tabel 4.12 Nilai frekuensi pada tingkat korosi	80
Tabel 4.13 Hasil uji kuat lentur beton bertulang.....	83
Tabel 4.14 Presentase crystallinity dan amorphous sampel.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kuat tekan beton OPC dan beton fly ash 20%	5
Gambar 2.2 Potensial korosi banding waktu untuk baja karbon AISI 1018	6
Gambar 2.3 Hasil penyerapan air permukaan	7
Gambar 2.4 Potensi korosi baja	8
Gambar 2.5 Perkembangan kuat tekan.....	9
Gambar 2.6 Potensi korosi banding elektroda	10
Gambar 2.7 Laju korosi banding durasi pemaparan air laut	10
Gambar 2.8 Hubungan antara kerapatan arus korosi dan nilai resistivitas	11
Gambar 2.9 Perbandingan tiga jenis mortar.....	13
Gambar 2.10 Resistivitas beton pasca korosi setelah terkorosi	14
Gambar 2.11 Beton pasca korosi sebesar 4% sebelum terkorosi.....	15
Gambar 2.12 Beton pasca korosi sebesar 4% setelah terkorosi	15
Gambar 2.13 Skema proses korosi.....	25
Gambar 2.14 Skema korosi baja tulangan.....	27
Gambar 2.15 Metode akselerasi korosi	27
Gambar 2.16 Konsep pengujian resistivity	28
Gambar 2.17 Skema konfigurasi pengujian impact-echo	30
Gambar 2.18 Hubungan beban dan lendutan pada beton.....	30
Gambar 2.19 Skema uji kuat lentur beban terpusat	31
Gambar 2.20 Struktur mikroskopis silica fume dari hasil SEM	33
Gambar 2.21 Spektrum XRD dari beton.....	33
Gambar 3.1 Pasir.....	34
Gambar 3.2 Kerikil.....	34
Gambar 3.3 Semen.....	35
Gambar 3.4 Air.....	35
Gambar 3.5 Besi tulangan.....	35
Gambar 3.6 Kawat bendrat	36
Gambar 3.7 Decking beton	36
Gambar 3.8 Fly ash	36
Gambar 3.9 Silicafume.....	37
Gambar 3.10 Timbangan digital	37
Gambar 3.11 Erlenmeyer	38
Gambar 3.12 Jangka sorong.....	38
Gambar 3.13 Gergaji besi	38
Gambar 3.14 Gelas ukur	39
Gambar 3.15 Oven	39
Gambar 3.16 Set saringan	40
Gambar 3.17 Sieve shaker.....	40
Gambar 3.18 Bekisting.....	41

Gambar 3.19 Mini concrete mixer	41
Gambar 3.20 Kerucut Abrams dan batang penumbuk	42
Gambar 3.21 Alas baja	42
Gambar 3.22 Meteran	42
Gambar 3.23 Styrofoam	43
Gambar 3.24 Cetok	43
Gambar 3.25 Nampan	43
Gambar 3.26 Mesin Los Angeles	44
Gambar 3.27 Micro-Computer Universal Testing Machine	44
Gambar 3.28 Concrete Compression Machine	45
Gambar 3.29 DC power supply	45
Gambar 3.30 Diagram alir penelitian	46
Gambar 3.31 Benda uji balok	49
Gambar 3.32 Benda uji silinder	50
Gambar 3.33 Ilustrasi pengujian resistivity	51
Gambar 3.34 Sketsa pengujian impact echo	51
Gambar 3.35 Pengujian impact echo	52
Gambar 3.36 Skema pengujian akselerasi korosi	52
Gambar 3.37 Pengujian kuat tekan	53
Gambar 3.38 Pengujian kuat lentur	54
Gambar 3.39 Lokasi pengambilan sampel	54
Gambar 4.1 Grafik daerah gradasi	57
Gambar 4.2 SEM-EDX fly ash	59
Gambar 4.3 SEM-EDX silica fume	60
Gambar 4.4 Nilai slump benda uji	62
Gambar 4.5 Diagram kuat tekan beton	63
Gambar 4.6 Pola retak beton FA 10% SF 5%	64
Gambar 4.7 Pola retak beton FA 20% SF 10%	65
Gambar 4.8 Pola retak beton FA 30% SF 15%	65
Gambar 4.9 Akselerasi korosi 48 jam	66
Gambar 4.10 Akselerasi korosi 96 jam	66
Gambar 4.11 Akselerasi korosi 168 jam	67
Gambar 4.12 Grafik akselerasi korosi gabungan	67
Gambar 4.13 Contoh benda uji setelah proses akselerasi korosi	68
Gambar 4.14 Keretakan beton setelah proses akselerasi	69
Gambar 4.15 Lebar retak beton	69
Gambar 4.16 Tulangan setelah akselerasi korosi	71
Gambar 4.17 Grafik hubungan resistivity dan tingkat korosi	76
Gambar 4.18 Hasil pengujian Impact-Echo pada jarak 5,10,15, dan 20 cm	77
Gambar 4.19 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 48 jam	78
Gambar 4.20 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 96 jam	78
Gambar 4.21 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 168 jam	79

Gambar 4.22 Hubungan nilai frekuensi dan tingkat korosi	81
Gambar 4.23 Hasil uji kuat lentur benda uji terkorosi	83
Gambar 4.24 Pola retak balok BN	85
Gambar 4.25 Pola retak balok V1	85
Gambar 4.26 Pola retak balok V2	86
Gambar 4.27 Pola retak balok V3	86
Gambar 4.28 Mikrostruktur beton (a) BN2 dan (b) V1c	87
Gambar 4.29 Grafik analisa XRD	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian gradasi butir agregat halus	99
Lampiran 2 Pengujian berat jenis dan pengerapan air agregat halus	101
Lampiran 3 Pengujian kadar lumpur agregat halus.....	103
Lampiran 4 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	104
Lampiran 5 Pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	106
Lampiran 6 Pengujian keausan agregat kasar	107
Lampiran 7 Perhitungan Mix Design Beton ACI 211.1-91	108
Lampiran 8 Data pembacaan akselerasi korosi	110
Lampiran 9 Pengukuran lebar retak benda uji	119
Lampiran 10 Data pembacaan pengujian impact echo	123

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
Δm	[M]	Kehilangan berat pada tulangan
ΣA	[-]	Presentase tertahan kumulatif
A	[M]	Berat benda uji semula
B	[M]	Berat benda uji tertahan saringan No. 12
Ba	[M]	Berat dalam air
Bk	[M]	Berat kering oven
Bj	[M]	Berat kering permukaan
M	[-]	Berat atom dari logam
I	[I]	Arus listrik
t	[T]	Durasi korosi
W1	[M]	Berat agregat kering oven kondisi awal
W2	[M]	Berat agregat kering oven setelah pencucian
Wb	[M]	Berat erlenmeyer berisi air + pasir
Wk	[M]	Berat kering oven
Wt	[M]	Berat erlenmeyer berisi air

DAFTAR SINGKATAN

MHB	: Modulus Halus Butir
SNI	: Standar Nasional Indonesia
BSN	: Badan Standar Nasional
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
ACI	: <i>American Concrete Intitute</i>
ASTM	: <i>American Standart Testing Material</i>
PCC	: <i>Portland Composite Cement</i>
MPa	: Mega Pascal
BN	: Beton Normal
kN	: Kilo Newton
N	: Newton

DAFTAR ISTILAH

1. *Mix Design*
Rancangan untuk menentukan material dalam pembuatan beton dengan mutu yang ditentukan.
2. *Slump*
Metode pengukuran tingkat kekentalan beton.
3. *Curing*
Perawatan yang dilakukan untuk menjaga kelembapan beton, sehingga beton tidak mengalami keretakan karena proses penguapan yang terlalu cepat.
4. Akselerasi korosi
Proses percepatan reaksi korosi pada baja dengan bantuan alat.
5. *Workability*
Kemudahan dalam melaksanakan pengadukan beton.
6. Beton bertulang
Kombinasi dari beton dan baja tulangan.
7. Semen portland
Material yang akan mengeras ketika bereaksi dengan air.
8. Kuat lentur
Kemampuan balok beton dalam menahan gaya arah tegak lurus sumbu benda uji.
9. *DC power supply*
Alat untuk menyediakan tegangan DC (arus searah) secara konsisten.
10. Korosi
Rusaknya benda-benda logam yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan.