

TUGAS AKHIR

**ANALISA KOROSI BETON DENGAN METAKAOLIN DAN
BOTTOM ASH MENGGUNAKAN NDT METHOD**

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



Arief Ridzalwan

20200110066

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arief Ridzalwan
NIM : 20200110066
Judul : Analisa Korosi Beton dengan Metakaolin dan *Bottom Ash* 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 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, ...17 Juni... 2024

Yang membuat pernyataan



(Arief Ridzalwan)

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arief Ridzalwan

NIM : 20200110066

Judul : Analisa Korosi Beton dengan Metakaolin dan *Bottom Ash*
Menggunakan NDT *Method*

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

Yogyakarta,27 Juni..... 2024

Penulis,



Arief Ridzalwan

Dosen Peneliti,



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Terima kasih saya ucapkan kepada kedua orang tua saya ibu Rahma Idalaida dan ayah Turi yang telah mensupport dan memenuhi segala kebutuhan saya selama saya menempuh jenjang pendidikan saya hingga kini. Terima kasih saya ucapkan kepada teman-teman seperbimbingan Salma, Riska, Restu, Arfa, Ferdi, Yasin, Zain yang telah menemani dan membantu saya selama melaksanakan penelitian tugas akhir. Terima kasih saya ucapkan kepada teman-teman seperjuangan Vicky, Ivan, Nico yang telah membersamai penulis dalam suka maupun duka selama menempuh studi S1 Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Saya ucapkan terima kasih kepada Ajeng yang telah membantu dan meluangkan waktunya untuk penulis dalam menyusun tugas akhir selama penulisan berlangsung. Terima kasih saya ucapkan kepada diri saya sendiri yang telah berjuang dan bertahan selama proses pendidikan S1 Teknik Sipil.

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.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menambah wawasan keilmuan di bidang teknologi korosi beton dan metode NDT serta inovasi campuran beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

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. Ir. Puji Harsanto, ST, MT, Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
2. Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing
3. Dr. Ir. Guntur Nugroho, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji

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 wabarakatuh.

Yogyakarta,21 Juni..... 2024

Penyusun

(Arief Ridzalwan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
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 I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Lingkup Penelitian.....	3
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 Penelitian Terdahulu	6
2.1.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	18
2.2 Dasar Teori	22
2.2.1 Beton	22
2.2.2 Bahan Penyusun Beton	22
2.2.3 Pemeriksaan Agregat	23
2.2.4 <i>Slump Test</i>	27
2.2.5 Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	28
2.2.6 Korosi.....	28
2.2.7 Akselerasi Korosi	30
2.2.8 Metakaolin.....	31

2.2.9	<i>Bottom ash</i>	31
2.2.10	<i>NDT Method</i>	31
2.2.11	<i>Resistivity</i>	32
2.2.12	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	33
2.2.13	<i>Impact-Echo</i>	33
2.2.14	Kuat Tekan.....	34
2.2.15	Kuat Lentur	34
BAB III. METODE PENELITIAN		36
3.1	Materi Penelitian.....	36
3.2	Alat dan Bahan	36
3.2.1	Alat.....	36
3.2.2	Bahan.....	47
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian.....	52
3.4	Tahapan Penelitian.....	52
3.4.1	Studi Pustaka.....	54
3.4.2	Persiapan Alat dan Bahan	54
3.4.3	Pengujian Bahan.....	55
3.4.4	Rencana <i>Mix Design</i>	57
3.4.5	Persiapan Pembuatan Benda Uji	58
3.4.7	Uji <i>Slump</i>	59
3.4.8	Proses Curing dan Pencetakan Benda Uji.....	59
3.4.9	Akselerasi Korosi	60
3.4.10	Pengujian <i>Resistivity</i>	61
3.4.11	Pengujian <i>Impact-Echo</i>	61
3.4.12	Pengujian Kuat Tekan.....	62
3.4.13	Pengujian Kuat Lentur Beton.....	62
3.5	Analisis Data.....	63
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		64
4.1	Hasil Pengujian Agregat Halus.....	64
4.1.1	Analisis Gradasi Butiran Agregat Halus	64
4.1.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	65
4.1.3	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	65
4.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	66
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	66
4.2.2	Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	66
4.3	<i>Mix Design</i>	66

4.4	Hasil Pengujian Akselerasi Korosi	68
4.5	Pengujian Kuat Tekan	74
4.6	Pengujian <i>Resistivity</i>	76
4.7	Pengujian <i>Impact-Echo</i>	82
4.8	Pengujian Kuat Lentur	85
4.9	Hubungan Pengujian <i>Resistivity dan Impact Echo</i>	89
4.10	Pengujian Mikrostruktur SEM	90
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Uji kuat tekan setelah 28 hari (Philip <i>et al.</i> , 2023).....	7
Tabel 2. 2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang.....	19
Tabel 2. 3 Sifat mekanis uji tarik baja tulangan (BSN, 2017)	27
Tabel 4. 1 Analisis gradasi butiran agregat halus	64
Tabel 4. 2 Data pengujian keausan agregat kasar	66
Tabel 4. 3 Proporsi <i>mix design</i> benda uji	67
Tabel 4. 4 Lebar retak korosi	71
Tabel 4. 5 Perhitungan estimasi kehilangan massa dan tingkat korosi	72
Tabel 4. 6 Perhitungan kehilangan massa dan tingkat korosi aktual	72
Tabel 4. 7 Kuat tekan beton	74
Tabel 4. 8 Hasil <i>resistivity</i> beton sebelum terkorosi	77
Tabel 4. 9 Hasil <i>resistivity</i> beton setelah terkorosi	79
Tabel 4. 10 Data nilai frekuensi	83
Tabel 4. 11 Hasil uji kuat lentur balok terkorosi.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Laju korosi dan (b) resistivitas sampel pelat beton mutu tinggi dengan kandungan metakaolin yang bervariasi (Philip <i>et al.</i> , 2023).	7
Gambar 2. 2 Variasi kuat tekan (Sharma dan Chopra, 2017)	8
Gambar 2. 3 Variasi kuat tarik belah (Sharma dan Chopra, 2017)	8
Gambar 2. 4 Pengaturan pengujian RCPT (Kannan dan Priya, 2021)	10
Gambar 2. 5 Grafik kuat tekan metakaolin dengan persentase yang bervariasi (Saji dan Unnikrishnan, 2023)	11
Gambar 2. 6 Grafik kuat lentur metakaolin dengan persentase yang bervariasi (Saji dan Unnikrishnan, 2023)	11
Gambar 2. 7 Grafik antara kuat tekan dan desain campuran	13
Gambar 2. 8 Grafik kuat tekan beton <i>bottom ash</i> dengan usia (Kadam dan Patil, 2013)	14
Gambar 2. 9 Grafik pengaruh <i>bottom ash</i> terhadap kekuatan lentur (Kadam dan Patil, 2013)	14
Gambar 2. 10 Grafik kuat tarik belah beton <i>bottom ash</i> dengan usia (Kadam dan Patil, 2013)	14
Gambar 2. 11 Grafik persentase kuat tekan pengganti CBA (Ghadzali <i>et al.</i> , 2020)	15
Gambar 2. 12 Grafik persentase kuat tarik belah pengganti CBA (Ghadzali <i>et al.</i> , 2020)	15
Gambar 2. 13 Grafik kuat tekan campuran selama 28 hari (Nas dan Kurbetci, 2018)	18
Gambar 2. 14 Grafik kuat lentur campuran selama 28 hari (Nas dan Kurbetci, 2018)	18
Gambar 2. 15 Proses kerusakan bangunan akibat korosi baja tulangan (Suriadi dan Suarsana, 2007)	28
Gambar 2. 16 Reaksi korosi pada tulangan (Astuti, 2022)	29
Gambar 2. 17 Metode akselerasi korosi (Su <i>et al.</i> , 2019)	30
Gambar 2. 18 Variasi resistivitas seiring bertambahnya usia (a) beton normal dan (b) beton mengandung <i>fly ash</i> (Yu <i>et al.</i> , 2023)	32
Gambar 2. 19 Konsep pengujian resistivitas (Zaki <i>et al.</i> , 2023)	32
Gambar 2. 20 SEM metakaolin	33
Gambar 2. 21 Skema pengujian <i>impact-echo</i>	34
Gambar 3. 1 Oven	36
Gambar 3. 2 Saringan	37
Gambar 3. 3 <i>Shave shaker machine</i>	37
Gambar 3. 4 Bekesting	38
Gambar 3. 5 <i>Mini concrete mixer</i>	38
Gambar 3. 6 Kerucut Abrams dan Batang Penusuk	39
Gambar 3. 7 Alas Baja	39
Gambar 3. 8 Meteran	40
Gambar 3. 9 Bak Curing	40

Gambar 3. 10 Mesin <i>Los Angeles</i>	41
Gambar 3. 11 <i>Styrofoam</i>	41
Gambar 3. 12 Cetok	41
Gambar 3. 13 Nampan	42
Gambar 3. 14 <i>DC Power Supply</i>	42
Gambar 3. 15 Alat Uji <i>Resistivity</i>	43
Gambar 3. 16 <i>Universal testing machine</i>	43
Gambar 3. 17 Timbangan.....	44
Gambar 3. 18 <i>Concrete compression machine</i>	44
Gambar 3. 19 Gelas ukur	44
Gambar 3. 20 Gergaji.....	45
Gambar 3. 21 Jangka sorong.....	45
Gambar 3. 22 Erlenmeyer	45
Gambar 3. 23 Alat <i>impact-echo</i>	46
Gambar 3. 24 Penggaris retak	46
Gambar 3. 25 Agregat kasar.....	47
Gambar 3. 26 Agregat halus.....	47
Gambar 3. 27 Semen.....	48
Gambar 3. 28 <i>Bottom ash</i>	48
Gambar 3. 29 Metakaolin.....	48
Gambar 3. 30 Air.....	49
Gambar 3. 31 Besi Tulangan.....	49
Gambar 3. 32 Kabel Listrik.....	50
Gambar 3. 33 <i>Sodium Chloride</i>	50
Gambar 3. 34 Gel Konduktif.....	51
Gambar 3. 35 Pipa.....	51
Gambar 3. 36 <i>Sealent</i>	52
Gambar 3. 37 Diagram alir penelitian.....	53
Gambar 3. 38 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.....	55
Gambar 3. 39 (a) agregat kasar dan (b) alat pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	56
Gambar 3. 40 Pengujian kadar air agregat	56
Gambar 3. 41 Pengujian Kadar Lumpur	57
Gambar 3. 42 (a) alat pengujian keausan dan (b) bola baja	57
Gambar 3. 43 Benda uji balok.....	58
Gambar 3. 44 Benda uji silinder	58
Gambar 3. 45 Pencampuran bahan baku.....	59
Gambar 3. 46 Uji <i>slump</i>	59
Gambar 3. 47 Proses <i>curing</i> dan pencetakan benda uji	60
Gambar 3. 48 Proses akselerasi korosi.....	61
Gambar 3. 49 Detail pembagian titik pengujian <i>resistivity</i>	61
Gambar 3. 50 <i>Impact-echo test</i>	62
Gambar 3. 51 Uji kuat tekan	62
Gambar 3. 52 Uji kuat lentur.....	63
Gambar 4. 1 Grafik gradasi daerah 2	65

Gambar 4. 2 Akselerasi korosi selama 48 jam.....	68
Gambar 4. 3 Akselerasi korosi selama 96 jam.....	69
Gambar 4. 4 Akselerasi korosi selama 168 jam.....	69
Gambar 4. 5 Retakan korosi (a) durasi 168 jam, (b) durasi 96 jam, dan (c) durasi 48 jam.....	70
Gambar 4. 6 Lebar retakan korosi.....	70
Gambar 4. 7 Hubungan durasi akselerasi terhadap tingkat korosi.....	73
Gambar 4. 8 Grafik kuat tekan.....	75
Gambar 4. 9 Pola retak benda uji silinder (a) ArV1A, (b) ArV2A, dan (c) ArV3A	76
Gambar 4. 10 Pola retak benda uji silinder (a) ArV1B, (b) ArV2B, dan (c) ArV3B	76
Gambar 4. 11 Pola retak benda uji silinder (a) ArV1C, (b) ArV2C, dan (c) ArV3C	76
Gambar 4. 12 Grafik hubungan <i>resistivity</i> dan tingkat korosi	81
Gambar 4. 13 Grafik <i>impact-echo</i> AR V3C (a) 5 cm (b) 10 cm (c) 15 cm (d) 20 cm.....	82
Gambar 4. 14 Grafik hubungan frekuensi dan tingkat korosi.....	85
Gambar 4. 15 Diagram hasil uji kuat lentur dari benda uji terkorosi.....	86
Gambar 4. 16 Pola retakan benda uji durasi korosi 48 jam	88
Gambar 4. 17 Pola retakan benda uji durasi korosi 96 jam	89
Gambar 4. 18 Pola retakan benda uji durasi korosi 168 jam	89
Gambar 4. 19 Hubungan antara <i>resistivity</i> dan frekuensi	90
Gambar 4. 20 Mikrostruktur beton (a) ARV3C (b) BN2.....	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian gradasi butir agregat halus	100
Lampiran 2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus	102
Lampiran 3. Pengujian kadar lumpur agregat halus.....	104
Lampiran 4. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	105
Lampiran 5. Pengujian keausan agregat kasar	107
Lampiran 6. Perhitungan Mix Design ACI 211.1-91.....	108
Lampiran 7. Data grafik pengujian <i>impact-echo</i>	110

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
ΣA	[-]	Persentase tertahan kumulatif
Δm	[M]	Kehilangan berat pada tulangan
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
F	[-]	Konstanta Faraday
M	[-]	Berat atom dari logam
I	[I]	Arus listrik
SSD	[M]	Berat kering permukaan
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
Z	[-]	Elektron yang bereaksi

DAFTAR SINGKATAN

- A : Waktu akselerasi korosi 48 jam
B : Waktu akselerasi korosi 96 jam
C : Waktu akselerasi korosi 168 jam
ARV1 : Campuran 10% Bottom ash dan 10% Metakaolin
ARV2 : Campuran 10% Bottom ash dan 15% Metakaolin
ARV3 : Campuran 10% Bottom ash dan 20% Metakaolin
BA : *Bottom Ash*
BN : Beton normal
CaCO₃ : Kalsium karbonat
CH : *Portlandite*
CSH : Calcium silicate hydrate
IE : *Impact-Echo*
NDT : *Non-destructive test*
NaCl : Natrium klorida
MK : Metakaolin
MHB : Modulus halus butir
OPC : *Ordinary Portland Cement*
RCPT : Uji penetrasi klorida cepat
SEM : *Scanning Electron Microscope*

DAFTAR ISTILAH

1. *Mix Design*

Rancangan untuk menentukan proporsi material dalam pembuatan beton dengan mutu yang ditentukan.

2. *Curing*

Perawatan yang dilakukan untuk menjaga kelembapan/suhu beton ketika proses hidrasi berlangsung, sehingga beton tidak mengalami keretakan karena suhu yang terlalu tinggi.

3. *Slump*

Ukuran tingkat kelecakan pada beton segar.

4. *Korosi*

Mekanisme kerusakan logam akibat degradasi logam yang dipicu oleh bahan korosif melalui proses kimia/elektrokimia

5. *Akselerasi Korosi*

Metode untuk mempercepat reaksi korosi dengan memberikan arus listrik pada tulangan beton sebagai anoda dan tulangan lainnya sebagai katoda.

6. *Workability*

Kemampuan pengerjaan beton untuk diaduk, dipadatkan, dan dicetak.

7. *Resistivitas (Resistivity)*

Kemampuan suatu bahan yang mengukur perlawanannya terhadap aliran arus listrik.

8. *Non-Destructive Test (NDT)*

Teknik evaluasi dan analisis suatu objek tanpa merusaknya fisik dan fungsionalnya.

9. *Frekuensi*

Frekuensi beton mengacu pada frekuensi resonansi di mana beton bergetar secara alami ketika dikenai gaya eksternal.

10. *Mikrostruktur*

Struktur mikroskopis yang berskala sangat kecil dan hanya bisa diamati menggunakan alat pengamat.