

TUGAS AKHIR

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



Disusun oleh:

Ellink Adji Clarye

20200110019

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2024

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

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik di

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

Ellink Adji Clarye

20200110019

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ellink Adji Clarye
NIM : 20200110019
Judul : Analisa Korosi Beton dengan *Fly Ash* dan *Metakaolin*
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, / 26 April 2024

Yang membuat pernyataan



Ellink Adji Clarye

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah. Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya yang sangat luar biasa, memberi penulis kekuatan, kelancaran dan kemudahan hingga pada akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Berbagai macam hal yang telah saya lalui hingga dapat di titik ini, tugas akhir kali ini akan saya persembahkan untuk orang-orang hebat yang sudah memotivasi dan telah menjadi salah satu alasan saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Kedua Orang Tua

Bapak Agus Sriyanto dan Ibu Fatmini yang selalu menemani serta membantu dengan doa-doa baik yang selalu mereka haturkan kepada saya, serta memberi kasih sayang dan dukungan yang tiada tara yang membuat saya termotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih karena sudah menjadi orang tua yang sangat baik bagi saya. Saya mempersembahkan karya tulis sederhana ini dan gelar ini kalian, ayah dan mama.

Saudari Perempuan

Kepada Chikal Handayani Clarye terimakasih telah menjadi mentor yang sangat luar biasa bagi saya hingga membuat saya bisa sampai di titik ini, dukungan dengan berbagai macam bentuk akan selalu saya ingat

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

Saya ucapkan banyak terima kasih untuk bapak selaku dosen pembimbing tugas akhir saya. Terimakasih telah menerima saya sebagai salah satu dari mahasiswa bimbingan bapak pada periode kali ini, terima kasih atas ilmu dan nasehatnya, serta atas waktu yang telah diluangkan untuk membimbing saya hingga di tahap ini, serta jasa bapak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

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 menganalisa korosi beton dengan *fly ash* dan *metakaolin* menggunakan NDT method

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, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ir. Ahmad Zaki, S.T.,M.Sc.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Guntur Nugroho, 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. Tema-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 wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 Maret 2024

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Lingkup Penelitian	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	20
2.2.1 Beton	20
2.2.2 Beton Bertulang	21
2.2.3 <i>Fly Ash</i>	21
2.2.4 <i>Metakaolin</i>	21
2.2.5 Bahan Penyusun Beton	21
2.2.6 Pemeriksaan Agregat.....	24
2.2.7 Slump Test.....	28
2.2.8 Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	28
2.2.9 Korosi.....	29
2.2.10 Resistivity.....	31
2.2.11 Impact-Echo	31

2.2.12	Hardened Properties	32
2.2.13	Keruntuhan pada Beton.....	35
BAB III METODE PENELITIAN.....		38
3.1	Bahan atau Materi	38
3.2	Alat.....	43
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian.....	54
3.4	Tahapan Penelitian	54
3.4.1	Studi Pustaka.....	55
3.4.2	Persiapan Alat dan Bahan.....	55
3.4.3	Pengujian Material	55
3.4.4	<i>Mix Design</i> Beton.....	57
3.4.5	Pembuatan Benda Uji.....	57
3.4.6	Pengujian <i>Slump</i>	58
3.4.7	Pencetakan Benda Uji	58
3.4.8	Proses <i>Curing</i>	59
3.4.9	Pengujian <i>Resivity</i> dan <i>Impact Echo</i>	60
3.4.10	Akselerasi Korosi.....	61
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		64
4.1	Pengujian Pada Agregat Halus	64
4.1.1	Pengujian Gradasi Butir	64
4.1.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir.....	65
4.1.3	Pengujian Kadar Air Agregat Halus	65
4.1.4	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	65
4.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	65
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	65
4.2.2	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	66
4.2.3	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	66
4.2.4	Pengujian Keausan Agregat Kasar	66
4.3	<i>Mix Design</i>	66
4.4	Uji <i>Slump</i> Beton	67
4.5	Hasil Uji Kuat Tekan Beton	68
4.5.1	Pola Keruntuhan Silinder	69
4.6	Hasil Pengujian Akselerasi Korosi.....	71
4.6.1	Keretakan beton setelah akselerasi.....	73

4.6.2	Tulangan setelah akselerasi korosi.....	76
4.6.3	Hubungan Tingkat Korosi dengan Durasi Korosi (Jam).....	78
4.7	Hasil Pengujian <i>Resistivity</i>	79
4.7.1	<i>Resistivity</i> sebelum korosi.....	79
4.7.2	<i>Resistivity</i> setelah korosi.....	82
4.7.3	Perbandingan <i>resistivity</i> sebelum dan sesudah korosi.....	84
4.7.4	Hubungan antara <i>resistivity</i> dengan tingkat korosi.....	84
4.8	Hasil Pengujian <i>Impact-Echo</i>	85
4.8.1	Perbandingan Kualitas Frekuensi Pengujian Pada Setiap Jarak.....	85
4.8.2	Perbandingan Frekuensi Sebelum dan Sesudah Korosi.....	86
4.8.3	Perbandingan Hasil Gelombang Sebelum dan Sesudah Korosi.....	89
4.8.4	Hubungan antara <i>Impact-Echo</i> dengan Tingkat Korosi.....	91
4.8.5	Hubungan antara <i>Impact-Echo</i> dengan <i>Resistivity</i>	92
4.9	Kuat Lentur Beton.....	92
4.9.1	Hubungan antara Nilai Kuat Lentur dengan Tingkat Korosi.....	93
4.9.2	Hubungan Kuat Lentur dengan <i>Resistivity</i>	94
4.10	Pola Keruntuhan Beton.....	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
5.1	Kesimpulan.....	98
5.2	Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....		viii
LAMPIRAN.....		xi

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil uji non-destruktif pada spesimen beton (Kadhun, 2014).....	7
Tabel 2. 2 Hasil nilai kuat tekan pada campuran beton (Prajapati et al., 2019).....	14
Tabel 2. 3 Detail campuran beton dengan fly ash + metakaolin dan WMPS (Varadharajan et al., 2023)	14
Tabel 2. 4 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan.....	16
Tabel 2. 5 Jenis semen (BSN, 2015)	22
Tabel 3. 1 Proporsi mix design benda uji beton	57
Tabel 4. 1 Analisis gradasi butiran halus.....	64
Tabel 4. 2 Proporsi mix design yang digunakan pada beton.....	67
Tabel 4. 3 Hasil pengujian kuat tekan pada beton silinder.....	68
Tabel 4. 4 Data retakan pada beton setelah terkorosi.....	75
Tabel 4. 5 Persentase kehilangan massa actual pada tulangan.....	77
Tabel 4. 6 Nilai resistivity sebelum korosi.....	80
Tabel 4. 7 Nilai resistivity setelah korosi	82
Tabel 4. 8 Nilai frekuensi sebelum dan sesudah korosi	88
Tabel 4. 9 Hasil nilai kuat lentur	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hasil XRD dari campuran metakaolin dan fly ash dengan rasio yang berbeda pada 7 hari (Sujjavanich et al., 2017).....	6
Gambar 2. 2 Hasil XRD dari campuran metakaolin dan fly ash dengan rasio yang berbeda pada 14 hari (Sujjavanich et al., 2017).....	6
Gambar 2. 3 Hasil XRD dari campuran metakaolin dan fly ash dengan rasio yang berbeda pada 28 hari (Sujjavanich et al., 2017).....	6
Gambar 2. 4 Presentase perubahan berat untuk mortar yang mengandung tingkat penggantian fly ash rendah kalsium (Roy et al., 2001).....	8
Gambar 2. 5 Presentase perubahan berat untuk mortar yang mengandung tingkat penggantian metakaolin (Roy et al., 2001)	9
Gambar 2. 6 Kuat tekan GPC dan OPC hari ke-28 (Morla et al., 2021).....	9
Gambar 2. 7 Total muatan yang dilewatkan beton seiring bertambahnya umur: (a) tanpa fly ash, (b) dengan fly ash (Choi et al., 2006)	11
Gambar 2. 8 Kekuatan tarik belah campuran SCC yang diperkuat serat (Prakash et al., 2021).....	12
Gambar 2. 9 Kekuatan tekan campuran SCC yang diperkuat serat (Prakash et al., 2021)	12
Gambar 2. 10 Kuat tekan campuran SCGC (Bheel et al., 2021)	13
Gambar 2. 11 Kekuatan tekan campuran GPC (Devi et al., 2018)	15
Gambar 2. 12 Metode akselerasi korosi (Su., dkk., 2019).....	30
Gambar 2. 13 Konsep pengujian resistivity (Zaki et al., 2015)	31
Gambar 2. 14 Skema konfigurasi pengujian uji impact-echo (ASTM, 2009)	32
Gambar 2. 15 Skema pengujian kuat lentur dengan beban terpusat SNI 4431-2011 (BSN, 2011c).....	34
Gambar 2. 16 Skema pengujian kuat lentur dengan metode dua titik pembebanan SNI 4431-2011 (BSN, 2011c)	35
Gambar 2. 17 Keruntuhan lentur (Nawy, 1990).....	36
Gambar 2. 18 Pola keruntuhan tekan geser (Nawy, 1990).....	36
Gambar 2. 19 Keruntuhan Tarik Diagonal (Nawy, 1990).....	37
Gambar 3. 1 Agregat kasar (kerikil).....	38
Gambar 3. 2 Agregat Halus.....	39
Gambar 3. 3 Semen	39
Gambar 3. 4 Air.....	40
Gambar 3. 5 Baja tulangan.....	40
Gambar 3. 6 Metakaolin.....	41
Gambar 3. 7 Fly ash	41
Gambar 3. 8 Sodium chloride (NaCl)	42
Gambar 3. 9 Gel Konduktif.....	42
Gambar 3. 10 Kabel listrik	43
Gambar 3. 11 Timbangan	43
Gambar 3. 12 Nampan	44
Gambar 3. 13 Erlenmeyer	44
Gambar 3. 14 Concrete mixer	45

Gambar 3. 15 Kerucut Abrams.....	45
Gambar 3. 16 Batang penusuk	46
Gambar 3. 17 Alas baja	46
Gambar 3. 18 Meteran.....	47
Gambar 3. 19 Jangka sorong.....	47
Gambar 3. 20 Gergaji besi	48
Gambar 3. 21 Gelas ukur	48
Gambar 3. 22 Oven	49
Gambar 3. 23 Saringan agregat.....	49
Gambar 3. 24 Shieve Shaker.....	50
Gambar 3. 25 Cetakan balok beton	50
Gambar 3. 26 Sterofoam	51
Gambar 3. 27 Sendok semen.....	51
Gambar 3. 28 Bak perendam.....	52
Gambar 3. 29 DC power supply.....	52
Gambar 3. 30 Alat uji <i>resistivity</i>	53
Gambar 3. 31 Alat uji Impact Echo.....	54
Gambar 3. 32 Flowchart.....	54
Gambar 3. 33 Benda uji balok.....	58
Gambar 3. 34 Benda uji silinder	58
Gambar 3. 35 Pengujian slump pada beton.....	58
Gambar 3. 36 Beton basah yang telah dituang di cetakan benda uji.....	59
Gambar 3. 37 Proses curing pada beton.....	59
Gambar 3. 38 Pengujian resistivity	60
Gambar 3. 39 Sketsa pengujian resistivity	60
Gambar 3. 40 Ilustrasi pengujian impact echo.....	61
Gambar 3. 41 Sketsa pengujian impact echo	61
Gambar 3. 42 Skema pengujian akselerasi korosi	62
Gambar 3. 43 Skema pengujian kuat tekan.....	62
Gambar 3. 44 Skema pengujian kuat lentur	63
Gambar 4. 1 Daerah gradasi butiran area 2.....	64
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan rata-rata nilai kuat tekan setiap variasi.....	69
Gambar 4. 3 Benda uji silinder (a) variasi 1, (b) variasi 2, dan (c) variasi 3	70
Gambar 4. 4 Grafik arus pada beton akselerasi korosi 2 hari	71
Gambar 4. 5 Grafik arus pada beton akselerasi korosi 4 hari	71
Gambar 4. 6 Grafik arus pada beton akselerasi korosi 7 hari	72
Gambar 4. 7 Grafik arus pada beton akselerasi korosi gabungan	72
Gambar 4. 8 Tampilan beton setelah akselerasi 2 hari.....	73
Gambar 4. 9 Tampilan beton setelah akselerasi 4 hari.....	74
Gambar 4. 10 Tampilan beton setelah akselerasi 7 hari.....	74
Gambar 4. 11 Tampilan tulangam yang terkorosi selama 2 hari.....	76
Gambar 4. 12 Tampilan tulangam yang terkorosi selama 4 hari.....	76
Gambar 4. 13 Tampilan tulangam yang terkorosi selama 7 hari.....	76
Gambar 4. 14 Grafik diameter tulangam setelah korosi 2 hari	77
Gambar 4. 15 Grafik diameter tulangam setelah korosi 4 hari	78

Gambar 4. 16 Grafik diameter tulangan setelah korosi 7 hari	78
Gambar 4. 17 Grafik hubungan tingkat korosi dengan durasi jam korosi	79
Gambar 4. 18 Grafik rata-rata uji resistivity pada benda uji.....	81
Gambar 4. 19 Grafik uji resistivity pada beton setelah mengalami proses korosi	83
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan uji resistivity pada beton sebelum dan sesudah korosi.....	84
Gambar 4. 21 Grafik hubungan antara nilai resistivity dengan tingkat korosi	85
Gambar 4. 22 Frekuensi yang didapatkan pada jarak yang berbeda pada beton campuran fly ash dan metakaolin sebelum korosi	86
Gambar 4. 23 frekuensi yang didapatkan pada jarak yang berbeda pada beton campuran fly ash dan metakaolin setelah korosi.....	86
Gambar 4. 24 Nilai frekuensi sebelum korosi	87
Gambar 4. 25 Nilai frekuensi sesudah korosi.....	87
Gambar 4. 26 Grafik perbandingan frekuensi sebelum dan sesudah korosi	88
Gambar 4. 27 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 2 hari pada beton normal.....	89
Gambar 4. 28 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 4 hari pada beton normal.....	89
Gambar 4. 29 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 7 hari pada beton normal.....	90
Gambar 4. 30 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 2 hari pada beton variasi fly ash dan metakaolin.....	90
Gambar 4. 31 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 4 hari pada beton variasi fly ash dan metakaolin.....	90
Gambar 4. 32 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 7 hari pada beton variasi fly ash dan metakaolin.....	91
Gambar 4. 33 Grafik hubungan antara nilai frekuensi dengan tingkat korosi	91
Gambar 4. 34 Grafik hubungan nilai resistivity dengan nilai frekuensi impact echo	92
Gambar 4. 35 Grafik hasil pengujian kuat lentur	93
Gambar 4. 36 Grafik hubungan daripada nilai kuat lentur dengan tingkat korosi	94
Gambar 4. 37 Grafik hubungan nilai kuat lentur dengan resistivity	94
Gambar 4. 38 Pola keruntuhan pada balok dengan (a) BN1, (b) V1B1, (c) V2B1, dan (d) V3B1 yang mengalami korosi 2 hari	95
Gambar 4. 39 Pola keruntuhan pada balok dengan (a) BN3, (b) V1B3, (c) V2B3, dan (d) V3B3 yang mengalami korosi 4 hari	96
Gambar 4. 40 Pola keruntuhan pada balok dengan (a) BN2, (b) V1B2, (c) V2B2, dan (d) V3B2 yang mengalami korosi 7 hari	97

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
V	[L ³]	Volume
I	[I]	Arus listrik
t	[T]	Durasi
z	[-]	Elektron yang bereaksi
d	[L]	Tinggi balok
L	[L]	Panjang bentang
b	[L]	Lebar balok

DAFTAR SINGKATAN

ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials</i>
BSN	: Badan Standarisasi Nasional
DC	: <i>Direct Current</i>
MHB	: Modulus Halus Butir
NDT	: Non Destructive Test
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>

DAFTAR ISTILAH

1. *Mix Design*
Rancangan untuk menentukan material dalam pembuatan beton dengan mutu yang ditentukan.
2. *Slump*
Nilai pengujian yang digunakan untuk menentukan nilai kelecakan dari beton segar.
3. *Curing*
Perawatan yang dilakukan untuk mencegah keretakan pada beton akibat proses hidrasi, yang dapat menurunkan kekuatan beton.
4. *Akselerasi Korosi*
Proses percepatan korosi pada tulangan beton dengan bantuan alat.
5. *Optimum*
Pencapaian suatu hal untuk mendapatkan kondisi terbaik.
6. *Workability*
Kemampuan kerja dalam pengadukan beton
7. *Fresh concrete*
Kondisi beton segar dalam proses pencampuran material penyusun beton
8. *Beton bertulang*
Kombinasi dari beton dan tulangan baja.
9. *Semen portland*
Material yang akan mengeras ketika bereaksi dengan air.
10. *DC power supply*
Alat untuk menyediakan tegangan DC (arus searah) secara konsisten
11. *Kuat lentur*
Kemampuan balok beton dalam menahan gaya arah tegak lurus.