

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOROSI PADA BETON DENGAN
MENGUNAKAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY***



Disusun oleh:

Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

20190110236

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOROSI PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN
*ULTRASONIC PULSE VELOCITY***

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



Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

20190110236

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2023**

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Nugroho Yogi Sunaryo
NIM : 20190110236
Judul : Analisis Korosi Pada Beton dengan Menggunakan
Ultrasonic Pulse Velocity

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, 2023

Yang membuat pernyataan



Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

NIM : 20190110236

Judul : Analisis Korosi pada Beton dengan Menggunakan
Ultrasonic Pulse Velocity

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul Evaluasi Beton Berkarat Menggunakan NDT *Method* dan didanai melalui skema hibah kolaboratif luar negeri oleh Lembaga Riset dan Inovasi (R-LRI) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2022 dengan nomor hibah 56/R-LRI/XII/2022

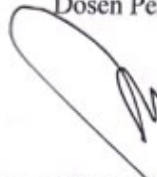
Yogyakarta, 2023

Penulis,



Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

Dosen Peneliti,



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbi'l'alamiin saya bersyukur kepada Allah SWT atas nikmat sehat dan karunia-Nya, serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menjalani perkuliahan dengan lancar, sehat, aman, dan barokah yang pada akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

Keluarga yang saya sayangi dan saya cintai

Alhamdulillah rabbi'l'alamiin terimakasih sudah menjadi motivasi terkuat untuk bisa mampu berjuang dan bertahan sampai dititik ini, semoga kedepannya diri ini bisa banyak berbuat dan berarti untuk keluarga.

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

Saya ucapkan terima kasih banyak untuk bapak selaku dosen pembimbing tugas akhir saya yang telah menerima saya sebagai mahasiswa bimbingan Bapak dan kemudian 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. Saya hanya selalu berdoa semoga Bapak selalu diberikan nikmat dan barokah dari Allah SWT.

Tim Tugas Akhir (Anisa, Adhafa, Prisa, Firda, Lilis, Yana, Iqbal, Tania, Chanief, Afifi, Wira, Fahri, Bubi, Rivky)

Terima kasih atas bantuan dan dukungan dari awal hingga selesainya tugas akhir ini.

Teman terdekat saya (Anisa, Adhafa, Yusuf, Gojo, Iqbal Tania, Rahardyan)

Saya adalah manusia dengan banyak kekurangan, tidak pernah terfikir bisa mempunyai orang-orang baik seperti kalian di perantauan ini. Terima kasih sudah meluangkan waktu untuk membantu saya dalam meluangkan waktunya, terutama untuk Anisa. Atas bantuan dan motivasinya, akhirnya saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Keluarga Teknik Sipil 2019, Teknik Sipil UMY, FKMTSI REG VII

Terima kasih atas pertemanan, bantuan, dukungannya. Selamat berjuang dan semoga berhasil untuk kita semua.

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 banyak 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. Eng. Ir. Pinta Astuti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir
4. Keluarga yang saya cintai, Tim tugas akhir, keluarga teknik sipil 2019, teknik sipil UMY, FKMTSI REG VII, dan teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu mendukung serta membantu dalam penyusunan tugas akhir

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,

2023

Dwi Nugroho Yogi Sunaryo

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	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR ISTILAH	xix
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I 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	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.1.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Dasar Teori	25
2.2.1 Beton Bertulang	25
2.2.2 Korosi	25
2.2.3 Kuat Lentur Beton	26
2.2.4 Akselerasi korosi	26
2.2.5 <i>Non-Destructive Test</i>	26
2.2.6 <i>Ultrasonic Pulse Velocity Testing</i>	27
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Materi	28
3.2 Alat dan Bahan	28

3.2.1	Alat.....	28
3.2.2	Bahan.....	35
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian.....	37
3.4	Tahapan Penelitian.....	38
3.4.1	Studi Pustaka.....	39
3.4.2	Persiapan Alat dan Bahan.....	39
3.4.3	<i>Mix Design Beton</i>	40
3.4.4	Pencampuran Bahan Baku.....	40
3.4.5	Uji Slump.....	41
3.4.6	Pencetakan Benda Uji.....	41
3.4.7	<i>Curing</i>	42
3.4.8	Akselerasi Korosi.....	42
3.4.9	Pengujian <i>NDT</i>	43
3.4.10	Analisis Data.....	43
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1.	Pengujian Agregat Halus.....	44
4.1.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.....	44
4.1.2	Pengujian Gradasi Butiran Agregat Halus.....	44
4.1.3	Pengujian Berat Isi Agregat Halus.....	45
4.1.4	Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	45
4.1.5	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	45
4.2	Pengujian Agregat Kasar.....	46
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	46
4.2.2	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	46
4.2.3	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	47
4.2.4	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.....	47
4.2.5	Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	47
4.3	<i>Mix Design</i>	48
4.4	Pengujian <i>Slump</i> Beton.....	49
4.5	Pengujian Akselerasi Korosi.....	50
4.6	Pengujian Kuat Lentur.....	53
4.7	Hasil Pengujian <i>Ultrasonica Pulse Velocity</i>	54
4.6.1	Hubungan antara Nilai <i>UPV</i> dengan Beton Bertulang Sebelum dan Sesudah korosi.....	56
4.6.2	Hubungan antara Nilai <i>UPV</i> dengan tingkatan korosi yang Berbeda.....	57

4.6.3 Hubungan antara Nilai <i>UPV</i> dengan Mutu Beton dan Kuat Lentur yang Berbeda	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	xxi

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi sampel mortar (Miró dkk., 2021).....	14
Tabel 2.2 Parameter yang relevan untuk mendeteksi retaknya spesimen yang diuji (Climent dkk., 2019)	17
Tabel 2.3 Komposisi mortar semen (Climent dkk., 2022).....	18
Tabel 2.4 Klasifikasi Beton menurut BSI 1881-1986 (2004)	19
Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang akan dilakukan	22
Tabel 3.1 <i>Mix design</i>	40
Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat halus	46
Tabel 4.2 Hasil pengujian agregat kasar	47
Tabel 4.3 Kebutuhan mix design per 1 m ³ mutu 26 MPa	48
Tabel 4.4 Kebutuhan mix design per 1 m ³ mutu 30 MPa	48
Tabel 4.5 Kebutuhan mix design per 1 m ³ mutu 32 MPa	48
Tabel 4.6 <i>Mix design</i> benda uji	49
Tabel 4.7 Hasil uji <i>slump</i> beton.....	50
Tabel 4.8 Perhitungan akselerasi korosi menggunakan persamaan Hukum <i>Faraday</i>	50
Tabel 4.9 Perhitungan akselerasi korosi menggunakan persamaan Hukum <i>Faraday</i>	51
Tabel 4.10 Nilai <i>Velocity</i> pada mutu beton berbeda sebelum dan sesudah korosi	54
Tabel 4.11 Nilai <i>Velocity</i> pada tingkat korosi berbeda sebelum dan sesudah korosi	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik hubungan antara Laju korosi sesaat (metode polarisasi linier DC) dan persentase rata-rata penurunan amplitude (Yeih & Huang, 1998).....	5
Gambar 2.2 Teknik <i>Scanning Ultrasonic</i> Kompresonis (Ghosh dkk., 2020)	6
Gambar 2.3 Pencitraan Planar SAFT sesuai dengan kondisi murni, tahap korosi menengah, dan tahap korosi lanjut (Ghosh dkk., 2020)	6
Gambar 2.4 Spektrum domain waktu dan frekuensi dari gelombang ultrasonik yang ditransmisikan diterima oleh penerima keramik piezoelektrik (Du dkk., 2017).....	7
Gambar 2.5 Rata-rata nilai UPV seluruh spesimen (a) Tanpa akselerasi (b) Dengan akselerasi (Maximino dan Ongpeng, 2017)	8
Gambar 2.6 Hasil pengukuran nilai UPV pada (a) sebelum korosi (b), 3 hari akselerasi korosi, dan (c) 8 hari akselerasi korosi (Almashakbeh & Saleh, 2022)	11
Gambar 2.7 Pengeboran disaat pengujian ultrasonik (Stawiski dan Kania, 2019)	12
Gambar 2.8 Perubahan kuat tekan melalui ketebalan dinding tangki di tiga lubang bor (Stawiski & Kania, 2019).....	12
Gambar 2.9 Ukuran Benda Uji (Maddumahewa dkk., 2017)	13
Gambar 2.10 Perubahan kecepatan <i>pulse</i> dengan waktu (Maddumahewa dkk., 2017).....	13
Gambar 2.11 Pengaturan eksperimental digunakan untuk pengukuran ultrasonik nonlinier dan posisi relatif transduser: emitor Langevin (EL), emitor IDK (EZ), dan Penerima IDK (Miró dkk., 2021).....	15
Gambar 2.12 Representasi skematis dari pengaturan uji korosi paksa, juga menunjukkan sistem yang digunakan untuk melakukan pengukuran ultrasonik non-linear (M. Á. Climent dkk., 2019).....	16
Gambar 2.13 Evolusi parameter nonlinier (berasal dari pengukuran ultrasonik nonlinier) sepanjang durasi uji korosi paksa spesimen M3 (M. Á. Climent dkk., 2019)	17

Gambar 2.14 Posisi transduser dalam rangkaian percobaan pertama (tampilan atas spesimen RCM). E1: emitor dan R1: penerima. (Climent dkk., 2022).....	18
Gambar 2.15 Perbandingan kecepatan (a) benda uji 1, (b) benda uji 2, (c) benda uji 3, dan (d) benda uji 4.....	20
Gambar 2.16 Bentuk gelombang ultrasonik (Furusawa dkk., 2019)	21
Gambar 2.17 Spektrum frekuensi untuk akselerasi spesimen yang terkorosi elektrolit (Furusawa dkk., 2019).....	21
Gambar 2.18 Reaksi korosi pada tulangan.....	25
Gambar 2.19 Metode Akselerasi (Su. dkk, 2019).....	26
Gambar 2.20 Proses pengujian NDT (Madduhewa. dkk, 2017).....	27
Gambar 3.1 Oven	28
Gambar 3.2 Ayakan	29
Gambar 3.3 Mesin penggerak ayakan.....	29
Gambar 3.4 Timbangan.....	30
Gambar 3.5 <i>Concrete mixer</i>	30
Gambar 3.6 Kerucut <i>Abrams</i>	30
Gambar 3.7 Batang penusuk	31
Gambar 3.8 Alas.....	31
Gambar 3.9 Penggaris	31
Gambar 3.10 Cetakan beton balok.....	32
Gambar 3.11 Mesin <i>Los Angeles</i>	32
Gambar 3.12 <i>Sterof foam</i>	33
Gambar 3.13 Kaliper.....	33
Gambar 3.14 Cetok	33
Gambar 3.15 <i>DC Power Supply</i>	34
Gambar 3.16 UPV	34
Gambar 3.17 <i>Universal Testing Machine</i>	35
Gambar 3.18 Nampan	35
Gambar 3.19 Agregat kasar	35
Gambar 3.20 Agregat halus.....	36
Gambar 3.21 Semen.....	36

Gambar 3.22 Air.....	36
Gambar 3.23 <i>Sodium Chloride</i>	37
Gambar 3.24 besi tulangan.....	37
Gambar 3.25 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 3.26 Pencampuran bahan baku.....	41
Gambar 3.27 Uji <i>slump</i>	41
Gambar 3.28 Sketsa benda uji.....	42
Gambar 3.29 Metode <i>Curing</i> dengan bak perendam	42
Gambar 3.30 Skema pengujian akselerasi korosi	42
Gambar 3.31 Skema pengujian NDT dengan <i>ultrasonic method</i>	43
Gambar 3.32 Titik pengujian pada benda uji	43
Gambar 4.1 Grafik persen lolos kumulatif.....	44
Gambar 4.2 Grafik hasil daerah gradasi 2.....	45
Gambar 4.3 (a) Benda uji mutu 26 MPa persentase korosi 10%, (b) Mutu 30 MPa Persentase Korosi 20%, (c) Mutu 30 MPa Persentase Korosi 20%, (d) Mutu 30 MPa Persentase Korosi 30%, (e) Mutu 30 MPa Persentase Korosi 40%, dan (f) mutu 32 MPa persentase korosi 10%	52
Gambar 4.4 Grafik kuat lentur beton dengan variasi mutu 26 MPa, 30 MPa, dan 32 MPa.....	53
Gambar 4.5 Perbandingan nilai maksimal kuat lentur benda uji dengan variasi mutu 26 MPa, 30 MPa, 32 MPa.	54
Gambar 4.6 Grafik linear sebelum dan sesudah korosi.....	56
Gambar 4.7 Bentuk gelombang sebelum terjadi korosi.....	57
Gambar 4.8 Bentuk gelombang sesudah terjadi krosi pada tulangan	57
Gambar 4.9 Grafik hubungan nilai <i>UPV</i> dengan perbedaan tingkat korosi.....	58
Gambar 4.10 Bentuk gelombang pada korosi 10%	58
Gambar 4.11 Bentuk gelombang pada korosi 20%	58
Gambar 4.12 Bentuk gelombang pada korosi 30%	59
Gambar 4.13 Bentuk gelombang pada korosi 40%	59
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara nilai <i>UPV</i> dengan perbedaan mutu beton dengan variasi mutu 26 MPa, 30 MPa, dan 32 MPa.	59
Gambar 4.15 bentuk gelombang pada benda uji dengan mutu 26 MPa.....	60

Gambar 4.16 Bentuk gelombang pada benda uji dengan mutu 30 MPa.....	60
Gambar 4.17 Bentuk gelombang pada benda uji dengan mutu 32 MPa.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	xxii
Lampiran 2 Pengujian gradasi agregat halus	xxiv
Lampiran 3 Pengujian berat isi agregat halus	xxvi
Lampiran 4 Pengujian kadar air agregat halus	xxvii
Lampiran 5 Pengujian kadar lumpur agregat halus.....	xxviii
Lampiran 6 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	xxix
Lampiran 7 Pengujian kadar air agregat kasar	xxxi
Lampiran 8 Pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	xxxii
Lampiran 9 Pengujian berat isi agregat kasar	xxxiii
Lampiran 10 Pengujian keausan agregat kasar	xxxiv
Lampiran 11 Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton ACI 211.1 – 91 FAS 0,477 Mutu Beton 26 MPa	xxxv
Lampiran 12 Perhitungan <i>mix design</i> beton ACI 211.1 – 91 FAS 0,437 Mutu beton 30 MPa.....	xxxvii
Lampiran 13 Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton ACI 211.1 – 91 FAS 0,42 untuk Mutu Beton 32 MPa.....	xxxx