

## **TUGAS AKHIR**

# **Pengaruh Perbedaan Proses Akselerasi Karat pada Kuat Lentur Beton dengan Cangkang Kelapa Sawit**

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



**Hesti Rahayu**

**20170110071**

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

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hesti Rahayu

NIM : 20170110071

Judul : Pengaruh Perbedaan Proses Akselerasi Karat pada Kuat  
Lentur Beton dengan Cangkang Kelapa Sawit

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, 24 Juli 2021

Yang membuat pernyataan



Hesti Rahayu



## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hesti Rahayu

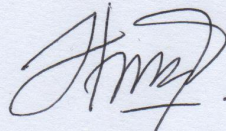
NIM : 20170110071

Judul : Pengaruh Perbedaan Proses Akselerasi Karat pada  
Kuat Lentur Beton dengan Cangkang Kelapa Sawit

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul *Durability and Mechanical Properties Assessment of Structural Lightweight Concrete Incorporating Palm Oil Aggregates in Corrosive Environments* dan didanai melalui skema hibah penelitian kolaboratif luar negeri pada tahun 2021 oleh Lembaga Penelitian, Publikasi, dan Pengabdian Masyarakat (LP3M) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2021 dengan nomor hibah 554/PEN-LP3M/III/2021

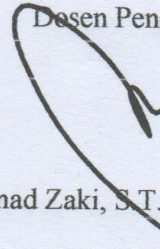
Yogyakarta, 24 Juli 2021

Penulis,



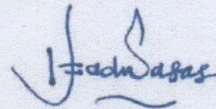
Hesti Rahayu

Dosen Peneliti,



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

Dosen Anggota Peneliti 1,



Ir. Fadilawaty Saleh, M.T.

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Puji syukur saya haturkan kepada **Allah SWT** yang telah memperlancar semua kegiatan baik perkuliahan saya hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini dibuat dan dipersembahkan untuk **Kedua Orang Tua** saya yang telah memberikan do'a, nasihat dan dukungan baik secara moril maupun materiil sehingga saya dapat menyelesaikan perkuliahan hingga tugas akhir ini dengan baik.

### **Kedua Saudara Laki-laki**

Terima kasih karena selama saya menempuh kuliah ini telah memberi semangat dan bantuan finansial diakhir bulan, sehingga saya bisa menyelesaikan pendidikan saya dan tugas akhir ini.

### **Tim Tugas Akhir (Shodiq, Ditya, Lutfi, Yoga, Abel, Irvan dan Candra)**

Terima kasih karena sudah membantu saya ketika melakukan pengujian untuk tugas akhir ini. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita.

### **Sahabat dan teman selama masa perkuliahan (Teknik Sipil 2017 Kelas B)**

Terima kasih telah menemani, menyemangati, memberikan dukungan dan selalu saya repoti selama saya menempuh pendidikan ini.

Terutama untuk **Anyak, Indah, Lalak** dan **Sherlyn**.

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

Selaku dosen pembimbing tugas akhir, saya ucapkan terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada saya.

## 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 mengetahui pengaruh pengkaratan terhadap kuat lentur beton dengan pergantian sebagian agregat kasar menggunakan cangkang kelapa sawit.

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. Fanny Monika, S.T., M.Eng, selaku Dosen Penguji Pendamping Tugas Akhir.
4. Bapak Sumadi, selaku laboran yang telah membantu selama saya melakukan penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan.
5. Kedua Orang Tua dan Saudara saya yang senantiasa memberikan dukungan secara moril dan materiil guna menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sahabat dan teman-teman yang telah saya repotkan dan selalu memberikan dukungan selama menempuh perkuliahan dan 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, 24 Juli 2021

Penyusun

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG .....	xv
DAFTAR SINGKATAN .....	xvi
DAFTAR ISTILAH .....	xvii
ABSTRAK .....	xviii
<i>ABSTRACT</i> .....	xix
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 .....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang .....	16
2.3 Dasar Teori .....	18
2.3.1 Beton .....	18
2.3.2 Material penyusun beton ringan .....	18
2.3.3 Pemeriksaan Agregat .....	20
2.3.4 <i>Slump</i> beton .....	22
2.3.5 <i>Curing</i> atau perawatan beton .....	23
2.3.6 Korosi .....	23
2.3.7 Mekanisme korosi baja pada beton .....	24
2.3.8 Kuat lentur beton .....	29
2.3.9 Daktilitas pada Beton .....	30

BAB III. METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Bahan atau Materi.....	36
3.2 Alat .....	39
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	45
3.4 Tahapan Penelitian.....	45
3.5 Prosedur Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Material .....	48
3.5.1 Pengujian Agregat Halus.....	48
3.5.2 Pengujian Agregat Kasar.....	50
3.5.3 Pengujian cangkang kelapa sawit.....	52
3.6 Desain benda uji .....	54
3.7 Perencanaan <i>Mix Design</i> Campuran Beton .....	55
3.8 Pembuatan Benda Uji .....	55
3.9 Pengujian <i>Slump</i> .....	56
3.10 Perawatan Beton ( <i>Curing</i> ) .....	57
3.11 Pengkorosian Benda Uji .....	58
3.12 Pengujian Kuat Lentur Beton .....	59
3.13 Analisis Data.....	60
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	62
4.1 Pengujian Agregat Halus .....	62
4.2 Pengujian Agregat Kasar .....	65
4.3 Pengujian Cangkang Kelapa Sawit.....	66
4.4 Pengujian <i>Slump</i> Beton.....	67
4.5 Pengujian Pengkaratan Beton .....	67
4.6 Pengujian Kuat Lentur Beton .....	70
4.7 Hubungan Beban-Defleksi .....	81
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
5.1 Kesimpulan.....	84
5.2 Saran .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	86
LAMPIRAN.....	90



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil uji kuat lentur beton.....	8
Tabel 2. 2 Hasil uji kuat lentur beton dan lendutan .....	9
Tabel 2. 3 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang .....	16
Tabel 2. 4 Lanjutan perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang .....	17
Tabel 2. 5 Lanjutan perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang .....	18
Tabel 2. 6 Jenis dan penggunaan semen <i>portland</i> .....	19
Tabel 2. 7 Nilai <i>slump</i> berdasarkan tipe konstruksi .....	23
Tabel 2. 8 Rangkuman penelitian sebelumnya untuk uji korosi dipercepat .....	29
Tabel 3. 1 <i>Mix design</i> untuk 1 cetakan.....	55
Tabel 4. 1 Hasil pemeriksaan gradasi butiran agregat halus .....	62
Tabel 4. 2 Kriteria butiran agregat halus.....	64
Tabel 4. 3 Hasil pemeriksaan agregat halus.....	65
Tabel 4. 4 Hasil pemeriksaan agregat kasar.....	66
Tabel 4. 5 Hasil pemeriksaan cangkang kelapa sawit.....	67
Tabel 4. 6 Hasil uji <i>slump</i> .....	67
Tabel 4. 7 Perhitungan korosi dengan persamaan Hukum Faraday.....	68
Tabel 4. 8 Persen kehilangan massa hasil metode <i>impressed current</i> .....	68
Tabel 4. 9 Persen kehilangan massa metode alami .....	69
Tabel 4. 10 Hasil uji kuat lentur beton metode pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> persentase pengkaratan 1% .....	75
Tabel 4. 11 Hasil uji kuat lentur beton metode pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> persentase pengkaratan 2% .....	76
Tabel 4. 12 Hasil uji kuat lentur beton metode pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> persentase pengkaratan 3% .....	76
Tabel 4. 13 Hasil uji kuat lentur beton metode pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> persentase pengkaratan 4% .....	77
Tabel 4. 14 Hasil uji kuat lentur beton.....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik hasil lendutan .....	6
Gambar 2. 2 Diagram perbandingan kuat lentur .....	7
Gambar 2. 3 Grafik hubungan kuat lentur dengan persen <i>fly ash</i> .....	9
Gambar 2. 4 Kurva tegangan pada beton .....	11
Gambar 2. 5 Kurva defleksi gaya lentur balok .....	11
Gambar 2. 6 Grafik defleksi beban grup 1 .....	13
Gambar 2. 7 Grafik defleksi beban grup 2.....	13
Gambar 2. 8 Grafik defleksi beban grup 3.....	14
Gambar 2. 9 Grafik defleksi beban grup 4.....	14
Gambar 2. 10 Perbandingan perilaku lentur dengan penelitian sebelumnya .....	15
Gambar 2. 11 Kapasitas lentur pada korosi yang berbeda.....	16
Gambar 2. 12 Ilustrasi skema korosi baja tulangan dalam beton sebagai proses elektrokimia (Ahmad, 2003) .....	24
Gambar 2. 13 Skema model korosi baja dengan adanya ion klorida (Kamimura dkk., 2012) .....	25
Gambar 2. 14 Pengaturan arus terkesan untuk mempercepat korosi tulangan pada benda uji balok beton bertulang ukuran besar.....	28
Gambar 2. 15 Pengaturan sel korosi yang dipercepat (Austin, dkk. 2004).....	28
Gambar 2. 16 Pengujian kuat lentur pembebanan satu titik.....	30
Gambar 2. 17 Contoh kurva beban-defleksi (Kawasaki dkk., 2014).....	31
Gambar 2. 18 Evolusi kurva beban-defleksi menurut kerusakan akibat korosi tulangan (Dang dan François, 2014) .....	31
Gambar 2. 19 Faktor daktilitas dengan kedalaman balok (Rao dkk., 2017) .....	33
Gambar 2. 20 Perilaku korosi balok beton bertulang dalam hal (a) Variasi defleksi dari korosi (b) Variasi kekakuan balok beton (Malumbela dkk., 2012) .....	33
Gambar 2. 21 Kemungkinan modus keruntuhan (a) Jenis retak miring (b) Modus keruntuhan geser (Sharma, 2014) .....	35
Gambar 3. 1 Agregat halus (pasir) .....	36
Gambar 3. 2 Agregat kasar (kerikil) .....	36
Gambar 3. 3 Cangkang kelapa sawit.....	37
Gambar 3. 4 Semen .....	37
Gambar 3. 5 Air.....	38
Gambar 3. 6 Besi tulangan .....	38
Gambar 3. 7 Garam dapur.....	38
Gambar 3. 8 Timbangan digital .....	39
Gambar 3. 9 Satu set ayakan .....	39
Gambar 3. 10 <i>Mini concrete mixer</i> .....	40
Gambar 3. 11 Kerucut <i>abrams</i> .....	40
Gambar 3. 12 Batang penumbuk.....	41
Gambar 3. 13 Alas baja.....	41
Gambar 3. 14 penggaris .....	41
Gambar 3. 15 Cetakan benda uji .....	42

Gambar 3. 16 Karung goni.....	42
Gambar 3. 17 <i>Styrofoam</i> .....	43
Gambar 3. 18 Kawat bendrat .....	43
Gambar 3. 19 <i>D.C power supply</i> .....	44
Gambar 3. 20 Sendok semen.....	44
Gambar 3. 21 Nampan .....	44
Gambar 3. 22 <i>Universal machine test</i> .....	45
Gambar 3. 23 Bagan alir bagian 1 .....	46
Gambar 3. 24 Bagan alir bagian 2.....	47
Gambar 3. 25 Pengujian agregat halus.....	48
Gambar 3. 26 Pengujian agregat kasar.....	50
Gambar 3. 27 Pengujian cangkang kelapa sawit.....	52
Gambar 3. 28 Cetakan benda uji .....	55
Gambar 3. 29 Proses pembuatan benda uji .....	56
Gambar 3. 30 Pengujian <i>slump</i> .....	57
Gambar 3. 31 Proses <i>curing</i> beton .....	58
Gambar 3. 32 Proses pengkorosian metode <i>impressed current</i> .....	59
Gambar 3. 33 Proses pengkorosian metode alami .....	59
Gambar 3. 34 Proses pengujian kuat lentur .....	60
Gambar 4. 1 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dan ukuran saringan .....	63
Gambar 4. 2 Grafik hubungan persen lolos kumulatif dan ukuran saringan pada daerah gradasi nomor 2 .....	63
Gambar 4. 3 Baja tulangan setelah dilepaskan dari beton (a) korosi 1%, (b) korosi 2%, (c) korosi 3% dan (d) korosi 4% .....	69
Gambar 4. 4 Hasil pengkorosian metode alami (a) Perendaman 24 jam, (b) Perendaman 48 jam (c) Perendaman 72 dan (d) Perendaman 96 jam.....	70
Gambar 4. 5 Balok beton setelah pengujian lentur (a) perendaman 24 jam, (b) perendaman 48 jam, (c) perendaman 72 jam dan (d) perendaman 96 jam .....	71
Gambar 4. 6 Grafik hasil uji kuat lentur beton metode perendaman dengan larutan NaCl 5% .....	72
Gambar 4. 7 Balok beton setelah pengujian lentur (a) korosi 1% (b) korosi 2%, (c) korosi 3% dan (d) korosi 4% .....	73
Gambar 4. 8 Grafik hasil uji kuat lentur beton metode <i>impressed current</i> .....	74
Gambar 4. 9 Grafik hasil uji kuat lentur beton pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> dengan persentase 1% .....	75
Gambar 4. 10 Grafik hasil uji kuat lentur beton pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> dengan persentase 2% .....	76
Gambar 4. 11 Grafik hasil uji kuat lentur beton pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> dengan persentase 3% .....	77
Gambar 4. 12 Grafik hasil uji kuat lentur beton pengkaratan alami dan <i>impressed current</i> dengan persentase 4% .....	78
Gambar 4. 13 Hasil pengujian kuat lentur beton setelah proses korosi .....	80
Gambar 4. 14 Grafik hubungan beban-defleksi .....	82
Gambar 4. 15 Grafik hubungan beban-defleksi .....	83

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian gradasi butiran .....	90
Lampiran 2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pasir .....	92
Lampiran 3. Pengujian kadar lumpur pasir .....	94
Lampiran 4. Pengujian kadar air pasir .....	95
Lampiran 5. Pengujian berat isi pasir.....	96
Lampiran 6. Pengujian berat jenis dan penyerapan air kerikil.....	97
Lampiran 7. Pengujian kadar lumpur kerikil .....	99
Lampiran 8. Pengujian kadar air kerikil.....	100
Lampiran 9. Pengujian keausan kerikil.....	101
Lampiran 10. Pengujian berat isi kerikil .....	102
Lampiran 11. Pengujian berat jenis dan penyerapan air tempurung kelapa sawit .....	103
Lampiran 12. Pengujian kadar lumpur tempurung kelapa sawit.....	105
Lampiran 13. Pengujian kadar air tempurung kelapa sawit.....	106
Lampiran 14. Pengujian keausan tempurung kelapa sawit .....	107
Lampiran 15. Pengujian berat isi tempurung kelapa sawit .....	108
Lampiran 16. Perhitungan <i>mix design</i> .....	109
Lampiran 17 Hasil uji kuat lentur beton .....	113



## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
V	$[L]^3$	Volume
$\Delta m$	$[M^{-3}/N]$	Kehilangan massa baja tulangan
I	[I]	Kuat arus
t	[T]	Waktu
F	[I/T]	Konstanta Faraday
$\delta$	$[ML^2T^{-2}]$	Kuat lentur
P	$[M^3]$	Beban

## DAFTAR SINGKATAN

NDT	= <i>Non Destructive Testing</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>

## DAFTAR ISTILAH

1. *Slump*  
Pengukuran penurunan ketinggian pada beton segar
2. *Mix design*  
Cara untuk mendapatkan proporsi campuran beton