

TUGAS AKHIR

**PENGARUH *SELF-HEALING CONCRETE* MENGGUNAKAN
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* PADA BETON KOROSI
TERHADAP NILAI KUAT LENTUR BETON BERTULANG**

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



Disusun oleh:

Kharisma Wira Nindhita

20190110069

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

2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kharisma Wira Nindhita

NIM : 20190110069

Judul : Pengaruh *Self-Healing Concrete* Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* Pada Beton Korosi Terhadap Nilai Kuat Lentur Beton Bertulang

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, 20 Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Kharisma Wira Nindhita

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kharisma Wira Nindhita

NIM : 20190110069

Judul : Pengaruh *Self-Healing Concrete* Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* Pada Beton Korosi Terhadap Nilai Kuat Lentur Beton Bertulang

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul "*Effect Self-healing of Concrete in Corrosive Environmental*" dan didanai melalui skema hibah kolaboratif luar negeri oleh Lembaga Riset dan Inovasi (R-LRI) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2023 dengan nomor hibah 16/R-LRI/I/2023.

Yogyakarta, 20 Juli 2023

Penulis,



Kharisma Wira Nindhita

Dosen Peneliti,



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

Dosen Anggota Peneliti 1,

Dr. Ir. Seplika Yadi, S.T., M.T.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada **Allah SWT** yang telah memberikan kekuatan, kemudahan, dan kelancaran sehingga saya dapat menjalani masa perkuliahan hingga pada akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

Kedua Orang Tua

Teruntuk kedua orang tua saya, (Alm) Bapak Prihatin Sukamto dan Ibu Sri Nurcahyati. Terima kasih telah memberikan banyak motivasi, dukungan moril, materi, dan doa tiada henti, sehingga saya dapat menyelesaikan perkuliahan hingga tugas akhir ini. Terimakasih juga atas bimbingan yang telah diberikan, sehingga saya dapat bersyukur dan mampu mengambil hikmah dari setiap keadaan.

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

Selaku dosen pembimbing tugas akhir, saya ucapkan banyak terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang dibagikan, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.

Kloter Biru TA AZ (Bubi, Rivky, Fahri, dan Afifi)

Terima kasih banyak atas segala bantuan, tenaga, motivasi, dan waktunya ketika melakukan pembuatan spesimen, pengujian, hingga analisis hasil selama tugas akhir ini berlangsung.

Gabut Squad 2.0 (Nazrey, Diva, Fathan, dan Herlambang)

Terima kasih banyak atas segala dukungan, bantuan dan motivasi dikala sedang *burnout* atau kekurangan ide. Serta terimakasih telah menjadi teman dikala gabut selama berkuliah di UMY.

Keluarga Cemara (Nazrey, Devi, Mirda, Rika)

Terimakasih banyak atas bala bantuan, semangat, motivasi, dan hiburan dikala hati serta pikiran sedang rumit. Terimakasih juga telah menjadi tempat bertukar pikiran, keluh kesah, serta candaan selama berkuliah di UMY.

Sahabat dan Teman Perkuliahan (Teknik Sipil 2019-2022)

Terima kasih telah menemani, menyemangati, memberikan motivasi dan selalu saya repoti selama saya menempuh masa perkuliahan ini. Semoga kita semua dapat diberikan kesehatan dan sukses dunia dan akhirat.

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 mengkaji pengaruh *self-healing concrete* berbasis bakteri *bacillus subtilis* pada beton korosi terhadap nilai kuat lentur beton bertulang.

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.Eng. Ir. Pinta Astuti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
4. Bapak Sumadi, selaku laboran Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi.
5. Kedua Orang Tua dan Keluarga saya yang telah memberikan doa dan dukungan baik secara material dan moril sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sahabat dan teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan dukungan, baik tenaga, waktu, dan pikiran selama saya menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini

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

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, Juli 2023

Kharisma Wira Nindhita

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
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	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. <i>Self-Healing Concrete</i>	19
2.2.4. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	20
2.2.5. Enkapsulasi Bakteri.....	20
2.2.6. Bahan Penyusun Beton Bertulang.....	21
2.2.7. Pengujian Material	22
2.2.8. <i>Mix Design</i>	27
2.2.9. Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	27
2.2.10. Korosi.....	27

2.2.11. Kuat Lentur Beton.....	30
2.2.12. Kuat Tekan Beton	34
2.2.13. Daktilitas Beton.....	35
2.2.14. Kekakuan Beton.....	35
2.2.15. Keruntuhan Beton Bertulang.....	36
2.2.16. Pola Retakan Beton Bertulang	37
BAB III. METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Material Penelitian.....	39
3.2 Alat	43
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	53
3.4 Tahapan Penelitian.....	53
3.4.1. Studi Pustaka.....	54
3.4.2. Persiapan Alat dan Bahan	54
3.4.3. Pengujian Material	54
3.4.4. <i>Mix Design</i> Beton.....	56
3.4.5. Pembuatan Benda Uji.....	57
3.4.6. Pengujian <i>Slump</i>	58
3.4.7. Proses <i>Curing</i>	58
3.4.8. Proses Akselerasi Korosi.....	58
3.4.9. Pengujian Kuat Lentur Beton.....	59
3.4.10. Pengujian Kuat Tekan Beton	60
3.5 Analisis Data.....	60
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	61
4.1. Pengujian Agregat Halus	61
4.1.1. Pengujian Gradasi Butiran	61
4.1.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir	61
4.1.3. Pengujian Kadar Lumpur Pasir	62
4.2. Pengujian Agregat Kasar	62
4.2.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Kerikil	62
4.2.2. Pengujian Kadar Lumpur Kerikil.....	63
4.2.3. Pengujian Keausan Kerikil.....	63
4.3. Enkapsulasi Bakteri	63
4.4. <i>Mix Design</i> Beton	65
4.5. Uji <i>Slump</i> Beton.....	66
4.6. Proses Pengujian Korosi	67
4.7. Proses <i>Self-Healing Concrete</i>	70

4.8. Uji Kuat Tekan Beton Silinder	74
4.9. Uji Kuat Lentur Beton Bertulang	77
4.10. Daktilitas Beton	78
4.11. Kekakuan Beton	80
4.12. Pola Keruntuhan Balok Beton	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	86
5.1 Kesimpulan.....	86
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	xxii
LAMPIRAN.....	xxv

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Proporsi <i>mix design</i> pada <i>bacillus cibi</i>	8
Tabel 2.2 <i>Flexural testing result</i>	12
Tabel 2.3 Perbandingan penelitian terdahulu dan sekarang.....	14
Tabel 2.4 Sifat mekanis uji tarik baja tulangan.....	26
Tabel 2.5 Toleransi umur benda uji yang diziinkan.....	34
Tabel 3.1 <i>Mix design</i> variasi bakteri <i>bacillus subtilis</i> terenkapsulasi	56
Tabel 4.1. Data pengujian agregat halus	62
Tabel 4.2. Data pengujian agregat kasar	63
Tabel 4.3. Kebutuhan <i>mix design</i> per 1 m ³	65
Tabel 4.4 Kebutuhan <i>mix design</i> per benda uji	66
Tabel 4.5. Nilai uji <i>slump</i> benda uji	67
Tabel 4.6 Persentase kehilangan massa tulangan.....	68
Tabel 4.7 Hasil uji kuat tekan beton silinder.....	74
Tabel 4.8 Hasil uji kuat lentur beton bertulang.....	77
Tabel 4.9 Hasil uji daktilitas beton bertulang	79
Tabel 4.10 Hasil uji kekakuan beton bertulang.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Average flexural strength bacillus subtilis</i>	9
Gambar 2.2 Perbedaan <i>curing self-healing</i>	10
Gambar 2.3 Hasil perbaikan <i>crack self-healing</i>	11
Gambar 2.4 Skema proses korosi.....	28
Gambar 2.5 Reaksi korosi pada tulangan.....	29
Gambar 2.6 Metode akselerasi korosi.....	30
Gambar 2.7 Hubungan beban dan lendutan pada beton.....	31
Gambar 2.8 Skema uji kuat lentur beban terpusat	32
Gambar 2.9 Skema uji kuat lentur dua titik pembebanan	33
Gambar 2.10 Retakan daerah pusat (1/3 bentang tengah).....	33
Gambar 2.11 Retakan di daerah luar pusat (1/3 bentang tengah) dan garis patah <5% dari bentang.....	34
Gambar 2.12 Pola keruntuhan lentur pada balok.....	36
Gambar 2.13 Pola keruntuhan tekan geser pada balok	37
Gambar 2.14 Pola keruntuhan tarik diagonal pada balok	37
Gambar 2.15 Skema <i>flexural crack</i>	38
Gambar 2.16 Skema <i>flexural shear crack</i>	38
Gambar 2.17 Skema <i>web shear crack</i>	38
Gambar 3.1 Pasir.....	39
Gambar 3.2 Kerikil.....	39
Gambar 3.3 Semen.....	40
Gambar 3.4 Air.....	40
Gambar 3.5 Besi tulangan.....	41
Gambar 3.6 Kawat bendrat	41
Gambar 3.7 Bakteri <i>bacillus subtilis</i> terenkapsulasi	42
Gambar 3.8 <i>Decking</i> beton.....	42
Gambar 3.9 Timbangan digital	43
Gambar 3.10 Erlenmeyer	43
Gambar 3.11 Jangka sorong.....	44
Gambar 3.12 Gergaji besi	44

Gambar 3.13 Gelas ukur	45
Gambar 3.14 Oven	45
Gambar 3.15 Set saringan	46
Gambar 3.16 <i>Sieve shaker</i>	46
Gambar 3.17 Bekisting.....	47
Gambar 3.18 <i>Mini concrete mixer</i>	47
Gambar 3.19 Kerucut <i>Abrams</i> dan batang penumbuk	48
Gambar 3.20 Alas baja.....	48
Gambar 3.21 Meteran.....	49
Gambar 3.22 <i>Styrofoam</i>	49
Gambar 3.23 Cetok	50
Gambar 3.24 Nampan	50
Gambar 3.25 Mesin <i>Los Angeles</i>	51
Gambar 3.26 <i>Micro-Computer Universal Testing Machine</i>	51
Gambar 3.27 <i>Concrete Compression Machine</i>	52
Gambar 3.28 <i>DC power supply</i>	52
Gambar 3.29 Diagram alir penelitian.....	53
Gambar 3.30 Benda uji balok.....	57
Gambar 3.31 Benda uji silinder	57
Gambar 3.32 Skema akselerasi korosi	59
Gambar 3.33 Skema uji lentur	59
Gambar 4.1. Grafik gradasi daerah	61
Gambar 4.2. Larutan bakteri	64
Gambar 4.3. Bubuk CMC	64
Gambar 4.4. Hasil enkapsulasi bakteri.....	65
Gambar 4.5 Contoh benda uji setelah proses akselerasi korosi	67
Gambar 4.6 Tulangan setelah akselerasi korosi	68
Gambar 4.7 Hasil uji korosi	69
Gambar 4.8 Proses <i>self-healing</i> bakteri 0,1	71
Gambar 4.9 Proses <i>self-healing</i> bakteri 0,6	72
Gambar 4.10 Proses <i>self-healing</i> bakteri 1,5	73
Gambar 4.11 Contoh benda uji tekan beton silinder.....	75

Gambar 4.12 Hasil uji kuat tekan beton.....	76
Gambar 4.13 Hasil uji kuat lentur dan <i>displacement</i>	78
Gambar 4.14 Hasil uji daktilitas beton.....	80
Gambar 4.15 Hasil uji kekakuan beton	81
Gambar 4.16 Pola keruntuhan (a) NOR A, (b) NOR B	82
Gambar 4.17 Pola keruntuhan (a) BAK 0,1A, (b) BAK 0,1B	83
Gambar 4.18 Pola keruntuhan (a) BAK 0,6A, (b) BAK 0,6B	84
Gambar 4.19 Pola keruntuhan (a) BAK 1,5A, (b) BAK 1,5B	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian gradasi butir agregat halus.....	xxv
Lampiran 2 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.	xxvii
Lampiran 3 Pengujian kadar lumpur agregat halus.....	xxix
Lampiran 4 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	xxx
Lampiran 5 Pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	xxxii
Lampiran 6 Pengujian keausan agregat kasar	xxxiii
Lampiran 7 Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton ACI 211.1 – 91	xxxiv

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
Δm	[M ²]	Selisih massa
V	[L ³]	Volume
I	[I]	Arus listrik
t	[T]	Durasi
z	[-]	Elektron yang bereaksi
F	[I/T]	Konstanta <i>faraday</i>
F _{lt}	[M][L ⁻²]	Kuat lentur
P	[M]	Beban maksimum
L	[L]	Panjang bentang
b	[L]	Lebar balok
d	[L]	Tinggi balok

DAFTAR SINGKATAN

MHB	= Modulus Halus Butir
SNI	= Standar Nasional Indonesia
BSN	= Badan Standar Nasional
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
ASTM	= <i>American Standard Testing Material</i>
pH	= <i>Potential Hydrogen</i>
sp.	= Spesies
MPa	= Mega Pascal
UPV	= <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
XRD	= <i>X-Ray Diffraction</i>
RCA	= <i>Recycled Concrete Aggregate</i>
FESEM	= <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i>
SHC	= <i>Self-Healing Concrete</i>
DC	= <i>Direct Current</i>
NaCl	= <i>Sodium Chloride</i>
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
CMC	= <i>Carboxy Methyl Cellulose</i>
B NOR	= Balok Normal
BAK	= Bakteri
B	= Balok
SB	= Silinder Beton
S	= Silinder

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. Optimum
Sesuatu yang berada pada kondisi terbaik.
6. *Workability*
Kemudahan dalam melaksanakan pengadukan beton.
7. *Fresh concrete*
Kondisi beton segar setelah proses pencampuran material penyusun beton.
8. Enkapsulasi bakteri.
Proses pelapisan bakteri dengan bahan tertentu yang bersifat sebagai pelindung.
9. *Self-healing concrete*
Beton yang dapat memperbaiki diri sendiri ketika terjadi keretakan.
10. Beton bertulang
Kombinasi dari beton dan tulangan baja.
11. *Bacillus subtilis*
Jenis bakteri gram positif berbentuk batang yang biasa ditemukan di tanah.
12. Semen portland
Material yang akan mengeras ketika bereaksi dengan air.
13. Kuat lentur
Kemampuan balok beton dalam menahan gaya arah tegak lurus sumbu benda uji.
14. Korosi
Rusaknya benda-benda logam yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan.
15. *DC power supply*
Alat untuk menyediakan tegangan DC (arus searah) secara konsisten.
16. *Carboxy Methyl Cellulose (CMC)*
Bahan tambah yang berfungsi sebagai pengental.