

EVALUASI *RICE HUSK ASH* PADA *PERFORMANCE SELF-HEALING* BETON YANG KOROSI MENGGUNAKAN *NDT METHOD*

**Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana
Teknik di**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

Kevin Agel Taruna Mumu

20200110005

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

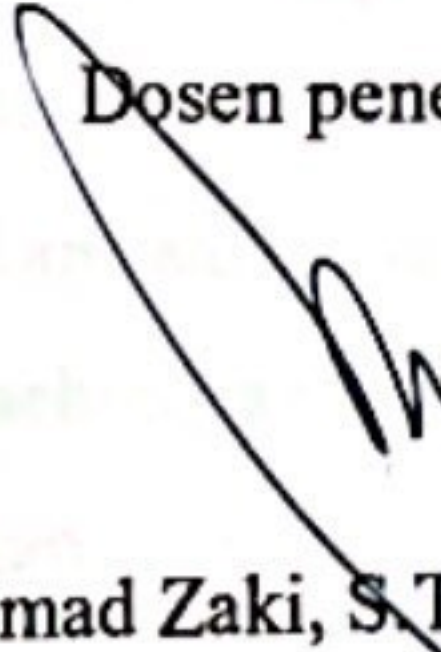
Nama : Kevin Agel Taruna Mumu
NIM : 20200110005
Judul : Evaluasi Rice husk ash pada *performance self-healing*
beton yang korosi menggunakan *NDT Method*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul "Evaluasi *Rice Husk Ash* pada *Self-Healing* Beton yang Korosi Menggunakan *NDT Method*" dan didanai melalui skema hibah pada tahun 2023/2024 oleh Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2023/2024 dengan nomor hibah 50/R-LRI/XII/2023.


Yogyakarta,1 Juli.....2024

Penulis,

Kevin Agel Taruna Mumu

Dosen penelitian,

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

Dosen Anggota Penelitian I,

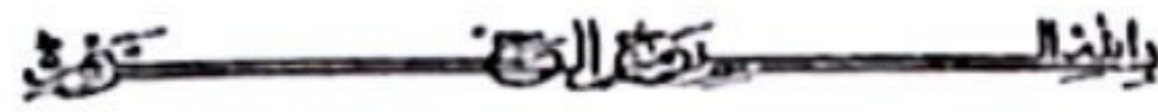

Dr. Seplika Yadi, S. T., M.T.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil'Alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kemudahan dan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc, Ph.D yang telah memberikan bimbingan Tugas Akhir dengan keiklasan dan kesabaran sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan.
3. Kedua orang tua saya yang telah memberikan limpahan kasih sayang dan dukungan. Berkat doa kalian saya diberikan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Sahabat teman saudara saya yang sangat membantu saya selama proses penelitian dari awal hingga akhirnya saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih telah memberikan semangat, dukungan, dan doa sehingga senantiasa diberikan kelancaran dalam setiap urusan yang saya kerjakan.
6. Diri sendiri yang akhirnya mampu melewati segala proses hingga selesainya Tugas Akhir ini.

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 Perbedaan Curing pada Akselerasi Korosi dan Kuat Lentur Beton.

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. Ir. As'at Pujiyanto, M.T., IPM selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
4. Bapak Sumadi, selaku laboran yang sudah membantu selama penelitian.
5. Kedua Orang Tua, Saudara, dan Keluarga saya yang telah memberikan do'a serta dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sahabat dan teman yang sudah seperti keluarga selama kuliah yang selalu memberikan dukungan sehingga 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.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 11 Mei 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xvii
ABSTRAK	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1 Rumusan Masalah	2
1.2 Lingkup Penelitian.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori	49
2.2.1 Beton	49
2.2.2 Beton Tulangan	49
2.2.3 Beton Mutu.....	50
2.2.4 Rice Husk Ash.....	50
2.2.5 Bakteri <i>Bacillus Subtillis</i>	51
2.2.6 <i>Self-Healing</i>	52
2.2.7 Bahan Penyusun Beton	52
2.2.8 Pemeriksaan Agregat.....	55
2.2.9 Fresh Properties.....	59
2.2.10 Hardened Properties	59
2.2.11 Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	64
2.2.12 Umur Beton.....	64

2.2.13 Korosi.....	64
2.2.14 Uji <i>Resistivity</i>	68
2.2.15 Uji <i>Impact Echo</i>	69
2.2.14 <i>Density</i>	69
2.2.15 Daktilitas pada beton.....	69
2.2.16 Kekakuan pada beton	70
2.2.17 Defleksi pada beton.....	70
2.2.18 Keruntuhan Balok Beton.....	71
BAB III METODE PENELITIAN.....	73
3.1 Materi Penelitian	73
3.2 Alat dan Bahan	73
3.2.1 Alat.....	73
3.2.2 Bahan.....	82
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	87
3.4 Tahapan Penelitian.....	87
3.4.1 Studi Literatur	88
3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	89
3.4.3 Pengujian Bahan.....	89
3.4.4 Rencana <i>Mix Design</i>	91
3.4.5 Persiapan Pembuatan Benda Uji	92
3.4.6 Pencampuran Bahan Baku	93
3.4.7 Uji <i>Slump</i>	93
3.4.8 Proses Curing dan Pencetakan Benda Uji.....	94
3.4.9 Akselerasi Korosi	95
3.4.10 Pengujian <i>Resistivity</i>	96
3.4.11 Pengujian <i>Impact Echo</i>	96
3.4.12 Pengujian Kuat Tekan	97
3.4.13 Pengujian Kuat Lentur Beton.....	97
3.5 Analisis Data	98
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	99
4.1 Hasil Pengujian Agregat halus.....	99
4.1.1 Analisis Gradasi Butiran Agregat halus.....	99
4.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	100

4.1.3	Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	100
4.1.4	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	100
4.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	101
4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	101
4.2.2	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	101
4.2.3	Pengujian Kadar Lumpur Agregat	101
4.2.4	Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	101
4.3	Mix Design	101
4.4	Hasil Uji Slump	102
4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan	103
4.5	Hasil Pengujian Akselerasi Korosi	104
4.6.1	Pengaruh Korosi pada Beton	107
4.6.2	Hubungan Tingkat Korosi dengan Durasi Korosi (jam).....	112
4.7	Hasil Pengujian <i>Resistivity</i>	113
4.7.1	Hubungan <i>resistivity</i> dengan korosi.....	117
4.8	Pengujian <i>Impact-Echo</i>	118
4.8.1	Perbandingan Kualitas Frekuensi Pengujian <i>Impact-Echo</i> pada Setiap Jarak Sensor	118
4.8.2	Perbandingan Hasil Gelombang Sebelum dan Setelah Akselerasi Korosi	121
4.8.3	Hubungan antara Frekuensi <i>Impact-Echo</i> dengan Tingkat Korosi..	122
4.8.4	Hubungan antara <i>Impact-echo</i> dengan <i>Resistivity</i>	123
4.9	Hasil Uji Kuat Lentur	123
4.9.3	Hubungan Kuat Lentur dengan <i>Impact-echo</i>	125
4.10	Pola Keruntuhan Balok Beton	126
BAB V KESIMPILAN DAN SARAN		130
5.1	Kesimpulan.....	130
5.2	Saran.....	131
Daftar Pustaka		xxiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pola XRD RHA (Ekaputri et al., 2016).....	6
Gambar 2. 2 Pola XRD CaCO ₃ (Ekaputri et al., 2016).....	6
Gambar 2. 3 Kepadatan Spesimen selama Pengamatan Penyembuhan (Ekaputri et al., 2016).....	7
Gambar 2. 4 Kekuatan Tekan Spesimen (Ekaputri et al., 2016).....	8
Gambar 2. 5 Retak awal dengan menerapkan beban tekanan 80% (Ekaputri et al., 2016)	9
Gambar 2. 6 (a) XRD untuk FA, (b) XRD untuk RHA (Kanthé et al., 2019).....	11
Gambar 2. 7 Analisis EDX sampel yang disembuhkan (Kanthé et al., 2019)	11
Gambar 2. 8 Perbandingan Kuat Tekan (Rajasegar & Kumaar, 2020)	12
Gambar 2. 9 Perbandingan Kekuatan Lentur (Rajasegar & Kumaar, 2020).....	13
Gambar 2. 10 Pemulihan Kekuatan Mekanik (Rajasegar & Kumaar, 2020).....	15
Gambar 2. 11 Penutupan retakan pada prisma SHC 0 (Rajasegar & Kumaar, 2020)	15
Gambar 2. 12 Penutupan retakan pada prisma SHC 0,5 (Rajasegar & Kumaar, 2020)	15
Gambar 2. 13 Penutupan retakan pada prisma SHC 1(Rajasegar & Kumaar, 2020)	16
Gambar 2. 14 Penutupan retakan pada prisma SHC 1,5 (Rajasegar & Kumaar, 2020)	16
Gambar 2. 15 Penutupan retakan pada prisma SHC 2 (Rajasegar & Kumaar, 2020)	16
Gambar 2. 16 Pengamatan visual retakan dan sebelum penyembuhan(Rajasegar & Kumaar, 2020).....	18
Gambar 2. 17 Jumlah pixel pada daerah retakan sebelum dan sesudah penyembuhan (Rajasegar & Kumaar, 2020)	18
Gambar 2. 18 Persentase pengurangan area retakan setelah penyembuhan (Rajasegar & Kumaar, 2020)	19
Gambar 2. 19 Sifat segar campuran beton: a) Pra-pengeringan; b) sampel yang belum diolah; c) melembabkan/mengeringkan; d)melembabkan/mengeringkan (Fediuk et al., 2018)	20

Gambar 2. 20 Massa Jenis Sampel Beton (Fediuk et al., 2018).....	21
Gambar 2. 21 Foto mikro batu semen tanpa bahan tambahan (a) dan batu semen dengan mengganti 25% semen dengan RHA (b) (Fediuk et al., 2018).....	22
Gambar 2. 22 karakteristik kekuatan beton yang memadat sendiri (Fediuk et al., 2018)	22
Gambar 2. 23 Perbandingan integritas structural (Pattharaphon, 2020)	24
Gambar 2. 24 Serangkaian mekanisme penyembuhan retakan autogenous (Pattharaphon, 2020).....	24
Gambar 2. 25 Hasil uji kuat tekan mortar yang mengandung jumlah dan bahan tambahan yang berbeda. (Ozturk et al., 2020)	25
Gambar 2. 26 Nilai Refleksi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% GGBFS (Ozturk et al., 2020)	26
Gambar 2. 27 Nilai transmisi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% GGBFS. (Ozturk et al., 2020)	26
Gambar 2. 28 Nilai serapan mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% GGBFS. (Ozturk et al., 2020)	26
Gambar 2. 29 Refleksi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% FA. (Ozturk et al., 2020)	27
Gambar 2. 30 Nilai transmisi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% FA. (Ozturk et al., 2020)	28
Gambar 2. 31 Refleksi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% FA. (Ozturk et al., 2020)	28
Gambar 2. 32 Nilai refleksi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% SF..	28
Gambar 2. 33 Nilai transmisi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% SF	29
Gambar 2. 34 Nilai serapan mortar r yang mengandung 10%, 20% dan 30% SF	29
Gambar 2. 35 Nilai refleksi mortar yang mengandung 10%, 20% dan 30% RHA	30
Gambar 2. 36 Nilai transmisi mortar yang mengandung 10%, 20%, dan 30% RHA	30
Gambar 2. 37 Nilai serapan mortar yang mengandung 10%, 20% dan 30% RHA	30
Gambar 2. 38 Nilai transmisi sampel mortar termasuk 30% aditif yang dinormalisasi ke mortar biasa.....	31

Gambar 2. 39 Kuat tekan campuran mortar semen dengan FA (Nandurkar & Pande, 2018).....	32
Gambar 2. 40 Perolehan kuat tekan sebesar mortar semen dicampur 1:3 dengan FA (Nandurkar & Pande, 2018)	33
Gambar 2. 41 Kuat tekan campuran mortar semen dengan FA (Nandurkar & Pande, 2018).....	33
Gambar 2. 42 Pertambahan kuat tekan campuran mortar semen 1:3 RHA (Nandurkar & Pande, 2018).....	33
Gambar 2. 43 Penyerapan air vs % FA pada berbagai umur campuran mortar semen (Nandurkar & Pande, 2018).....	34
Gambar 2. 44 Daya serap air campuran mortar semen FA pada umur 28 hari dan 90 hari (Nandurkar & Pande, 2018).....	34
Gambar 2. 45 Penyerapan air vs % RHA pada berbagai umur campuran mortar semen (Nandurkar & Pande, 2018).....	34
Gambar 2. 46 Daya serap air campuran mortar semen dengan RHA pada umur 28 hari dan 90 hari (Nandurkar & Pande, 2018).....	35
Gambar 2. 47 % perubahan panjang campuran mortar semen pada umur yang berbeda dengan FA (Nandurkar & Pande, 2018).....	35
Gambar 2. 48 Persenan perubahan panjang campuran mortar semen pada usia yang berbeda dengan RHA (Nandurkar & Pande, 2018).....	35
Gambar 2. 49 Kuat tekan kendali (a), Kuat tekan beton bacterial (b) dengan beton RHA dan QD dengan RHA dan QD (Nagajyothi et al., 2017)	37
Gambar 2. 50 Kuat Tarik beton kontrol (a), Kuat tekan beton bacterial (b) dengan RHA dan QD (Nagajyothi et al., 2017).....	37
Gambar 2. 51 Kuat lentur beton control (a) Kuat lentur beton bacterial (b) dengan RHA dan QD (Nagajyothi et al., 2017).....	38
Gambar 2. 52 Kuat tekan spesimen kontrol dan mikroba yang diawetkan dalam (a) air tawar dan (b) air laut.....	40
Gambar 2. 53 Kurva kalibrasi linier larutan standar urea	41
Gambar 2. 54 Gambar fisik dan SEM yang representatif dari kapsul yang dienkapsulasi; menunjukkan: (a) kapsul yang diekstrusi pada perbesaran 100x, (b)	

kapsul kering semprot pada perbesaran 10.000x dan (c) kapsul kering beku pada perbesaran 1.000x.	42
Gambar 2. 55 Konsentrasi urea terhidrolisis (M) oleh spora bakteri yang dimikroenkapsulasi dalam mortar. Data ditampilkan sebagai mean±SE, yang berasal dari tiga ulangan. Untuk ketiga metode enkapsulasi, tidak ada perbedaan bermakna dengan metode lainnya ($p>0,05$).	43
Gambar 2. 56 Aktivitas penyembuhan retakan pada mortar oleh spora bakteri mikroenkapsulasi natrium alginat yang dibentuk melalui pengeringan beku.	44
Gambar 2. 57 Pembentukan kalsium karbonat pada dinding sel bakteri (Prayuda et al., 2020).....	51
Gambar 2. 58 Skema pengujian kuat lentur dengan beban terpusat	61
Gambar 2. 59 Skema pengujian kuat lentur	62
Gambar 2. 60 Retakan pada lokasi pusat	62
Gambar 2. 61 Retakan berlokasi diluar bagian pusat.....	63
Gambar 2. 62 Reaksi pada Tulangan (Broomfield, 2003)	66
Gambar 2. 63 Proses Pengikisan Lapisan Pasif oleh Klorida (Broomfield, 2003).....	67
Gambar 2. 64 Metode Akselerasi Korosi (Su dkk.,2019)	67
Gambar 2. 65 Contoh kurva beban-defleksi (Kawasaki dkk. , 2014).....	70
Gambar 2. 66 Keruntuhan lentur (Nawy dkk.,1990)	71
Gambar 2. 67 Keruntuhan tekan geser (Nawy dkk.,1990).....	72
Gambar 2. 68 Keruntuhan tarik diagonal (Nawy dkk.,1990).....	72
Gambar 3. 1 Saringan.....	73
Gambar 3. 2 Oven	74
Gambar 3. 3 Bekisting.....	74
Gambar 3. 4 Alas baja	74
Gambar 3. 5 Sieve shaker machine	75
Gambar 3. 6 Concrete Mixer.....	76
Gambar 3. 7 Kerucut abrams dan batang penusuk.....	76
Gambar 3. 8 Bak curing	77
Gambar 3. 9 Mesin Los angeles	77
Gambar 3. 10 Sterofoam	78
Gambar 3. 11 Cetok	78

Gambar 3. 12 Nampan	78
Gambar 3. 13 Meteran.....	79
Gambar 3. 14 DC power supply.....	79
Gambar 3. 15 Alat uji resistivity	79
Gambar 3. 16 Concrete compression machine.....	80
Gambar 3. 17 Micro-Computer Universal Testing Machine.....	80
Gambar 3. 18 Gelas ukur	81
Gambar 3. 19 Jangka sorong.....	81
Gambar 3. 20 Erlenmeyer	81
Gambar 3. 21 Gergaji.....	82
Gambar 3. 22 Timbangan.....	82
Gambar 3. 23 Agregat Kasar.....	83
Gambar 3. 24 Agregat Halus.....	83
Gambar 3. 25 Semen.....	83
Gambar 3. 26 Air.....	84
Gambar 3. 27 Besi tulangan.....	84
Gambar 3. 28 Rice Husk Ash.....	85
Gambar 3. 29 Bakteri bacillus subtilis	85
Gambar 3. 30 Kabel Listrik.....	86
Gambar 3. 31 Sodium chloride	86
Gambar 3. 32 Gel Konduktif.....	87
Gambar 3. 33 Diagram alir penelitian.....	88
Gambar 3. 34 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.....	89
Gambar 3. 35 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.....	90
Gambar 3. 36 Pengujian kadar air agregat.....	90
Gambar 3. 37 Pengujian kadar lumpur	91
Gambar 3. 38 Pengujian keausan	91
Gambar 3. 39 Benda uji balok.....	93
Gambar 3. 40 Benda uji silinder	93
Gambar 3. 41 Pencampuran bahan baku.....	93
Gambar 3. 42 Uji Slump	94
Gambar 3. 43 Proses curing dan pencetakan benda uji.....	95

Gambar 3. 44 Proses akselerasi korosi.....	95
Gambar 3. 45 Skema pengujian akselerasi korosi	96
Gambar 3. 46 Ilustrasi pembagian sisi pada uji resistivity (Zaki et al., 2015).....	96
Gambar 3. 47 Uji kuat tekan	97
Gambar 3. 48 Uji kuat lentur.....	98
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan hasil uji kuat tekan.....	104
Gambar 4. 2 Benda uji setelah uji kuat tekan.....	104
Gambar 4. 3 Grafik akselerasi korosi 5% selama 48 jam	106
Gambar 4. 4 Grafik akselerasi korosi 10% selama 96 jam	106
Gambar 4. 5 Grafik akselerasi korosi 15% selama 168 jam	106
Gambar 4. 6 Grafik akselerasi korosi gabungan 5%, 10% dan 15% selama 48, 96 dan 168 jam.....	107
Gambar 4. 7 Benda uji setelah akselerasi korosi (a) BN1 selama 2 hari, (b) BN2 selama 4 hari, dan (c) BN3 selama 7 hari.	108
Gambar 4. 8 Benda uji setelah akselerasi korosi (a) V1A selama 2 hari, (b) V1B selama 4 hari, dan (c) V1C selama 7 hari.	109
Gambar 4. 9 Benda uji setelah akselerasi korosi (a) V2A selama 2 hari, (b) V2B selama 4 hari, dan (c) V2C selama 7 hari.	109
Gambar 4. 10 Benda uji setelah akselerasi korosi (a) V3A selama 2 hari, (b) V3B selama 4 hari, dan (c) V3C selama 7 hari.	109
Gambar 4. 11 Baja tulangan dengan akselerasi 5%, 10%, dan 15% setelah dilepas dari beton.....	110
Gambar 4. 12 Grafik perubahan ukuran diameter tulangan setelah akselerasi korosi 5%	111
Gambar 4. 13 Grafik perubahan diameter tulangan setelah akselerasi korosi 10%	111
Gambar 4. 14 Grafik perubahan diameter tulangan setelah akselerasi korosi 15%	111
Gambar 4. 15 Grafik hubungan tingkat korosi dengan durasi akselerasi korosi (jam).....	113
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan resistivity sebelum dan sesudah akselerasi korosi.....	117

Gambar 4. 17 Grafik hubungan resistivity dengan tingkat korosi aktual benda uji tanpa bakteri dan abu sekam	117
Gambar 4. 18 Grafik hubungan resistivity dengan tingkat korosi aktual benda uji dengan tambahan bakteri dan abu sekam padi	118
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Impact-Echo sebelum korosi pada jarak 5,10, dan 15 cm.....	119
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Impact-Echo sesudah korosi pada jarak 5,10, dan 15 cm.....	119
Gambar 4. 21 Perbandingan Hasil Frekuensi sebelum dan setelah korosi	121
Gambar 4. 22 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 5%	121
Gambar 4. 23 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 10%	122
Gambar 4. 24 Perbedaan gelombang sebelum dan sesudah korosi 15%	122
Gambar 4. 25 Grafik hubungan antara nilai frekuensi dengan tingkat korosi	123
Gambar 4. 26 Grafik hubungan antara frekuensi impact-echo dengan nilai resistivity	123
Gambar 4. 27 Hasil uji kuat lentur	124
Gambar 4. 28 Grafik hubungan kuat lentur dengan tingkat korosi.....	125
Gambar 4. 29 Grafik Hubungan kuat lentur dengan impact-echo	126
Gambar 4. 30 Pola keruntuhan tingkat korosi 5% (a) beton normal, (b) beton V1A, (c) beton V2A, dan (d) beton V3A	126
Gambar 4. 31 Pola keruntuhan tingkat korosi 10% (a) beton normal, (b) beton V1B, (c) beton V2B, dan (d) beton V3B.....	127
Gambar 4. 32 Pola keruntuhan tingkat korosi 15% (a) beton normal, (b) beton V1C, (c) beton V2C, dan (d) beton V3C.....	128
Gambar 4. 33 Proses self-healing bakteri pada beton V1 selama 28 hari.....	128
Gambar 4. 34 Proses self-healing bakteri pada beton V2 selama 28 hari.....	129
Gambar 4. 35 Proses self-healing bakteri pada beton V2 selama 28 hari.....	129

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Binder (% berdasarkan berat binder)	7
Tabel 2. 2 Kekuatan Tekan diterapkan untuk Spesimen pada 28 hari.....	9
Tabel 2. 3 Lebar Retak pada Spesimen Beton.....	10
Tabel 2. 4 Nilai uji kuat tekan rata-rata.....	12
Tabel 2. 5 Nilai kekuatan lentur rata-rata.....	13
Tabel 2. 6 Pemulihan kekuatan mekanik karena self-healing.....	14
Tabel 2. 7 Lebar retakan setelah penyembuhan di bawah mikroskop.....	17
Tabel 2. 8 Lebar retakan sebelum penyembuhan di bawah mikroskop	17
Tabel 2. 9 Kombinasi campuran semen, mortar FA dan RHA dengan perbandingan 1:3 dan perbandingan pengikat airnya	32
Tabel 2. 10 Gambaran umum status penyembuhan pengobatan	38
Tabel 2. 11 Kekuatan tekan spesimen kontrol dan mikroba pada proses pengawetan di (a) air tawar dan (b) air laut	39
Tabel 2. 12 Kekuatan tekan spesimen kontrol dan mikroba pada proses pengawetan di (a) air tawar dan (b) air laut	39
Tabel 2. 13 Pengukuran lebar retak.....	44
Tabel 2. 14 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan.....	44
Tabel 2. 15 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan (lanjutan)	45
Tabel 2. 16 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan (lanjutan)	46
Tabel 2. 17 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan (lanjutan)	47
Tabel 2. 18 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan (lanjutan)	48
Tabel 2. 19 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini yang akan dilakukan (lanjutan)	49
Tabel 2. 20 Spesifikasi semen portland.....	53
Tabel 3. 1 Mix design variasi bakteri bacillus subtillis	92
Tabel 3. 2 Proporsi mix design benda uji beton per 1 m ³	92

Tabel 4. 1 Analisis gradasi butiram agregat halus.....	99
Tabel 4. 2 Proporsi mix design benda uji beton	102
Tabel 4. 3 Hasil pengujian kuat tekan	103
Tabel 4. 4 Perhitungan akselerasi korosi.....	105
Tabel 4. 5 Lebar retakan akibat akselerasi korosi	108
Tabel 4. 6 Persentase Kehilangan massa Aktual	112
Tabel 4. 7 Nilai resistivity beton sebelum akselerasi korosi	114
Tabel 4. 8 Nilai resistivity beton setelah akselerasi korosi	115
Tabel 4. 9 Frekuensi impact-echo sebelum dan setelah korosi	120
Tabel 4. 10 Hasil Uji Kuat Lentur beton Bertulang	124

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>
d	[L]	Tinggi balok
L	[L]	Panjang bentang
b	[L]	Lebar balok
ρ	[ML ³ T ³ A ²]	Nilai <i>Resitivity</i>

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	: <i>Non Destructive Test</i>
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. *Self-healing concrete*
Beton yang dapat memperbaiki diri sendiri ketika terjadi keretakan akibat korosi
9. *Beton bertulang*
Kombinasi dari beton dan tulangan baja.
10. *Bacillus subtilis*
Jenis bakteri gram positif berbentuk batang yang biasa ditemukan di tanah
11. *Semen portland*
Material yang akan mengeras ketika bereaksi dengan air.
12. *DC power supply*
Alat untuk menyediakan tegangan DC (arus searah) secara konsisten
13. *Kuat lentur*
Kemampuan balok beton dalam menahan gaya arah tegak lurus.