

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR *SELF-HEALING MORTAR* DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



MARIO SANTOS

NPM : 6101901064

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISJ/S/X/2021)

**BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR *SELF-HEALING MORTAR* DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



MARIO SANTOS

NPM : 6101901064

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan 11370/SK/BAN-PT/AK-ISJ/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR *SELF-HEALING MORTAR* DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



MARIO SANTOS

NPM : 6101901064

BANDUNG, 11 AGUSTUS 2023

PEMBIMBING:

Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING:

Sisi Nova Rizkiani, S.T. M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan 11370/SK/BAN-PT/AK-ISJ/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR *SELF-HEALING* MORTAR DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



MARIO SANTOS

NPM : 6101901064

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso

Tjondro

KO-PEMBIMBING : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

PENGUJI 1 : Herry Suryadi, Ph.D

PENGUJI 2 : Liyanto Eddy, Ph.D

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan 11370/SK/BAN-PT/AK-ISJ/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Mario Santos
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 22 Maret 2001
NPM : 6101901064
Judul skripsi : Studi Eksperimental Kekuatan Lentur *Self-Healing Mortar* Dengan Variasi Kadar Bakteri *Bacillus subtilis*

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bandung, 26 Juli 2023



(Mario Santos)

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR *SELF-HEALING* MORTAR DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Mario Santos
NPM : 6101901064

Pembimbing : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Ko-Pembimbing : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

ABSTRAK

Keretakan yang terjadi pada mortar dapat mengurangi kekuatan dan mempengaruhi usia mortar itu sendiri. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat digunakan material mortar *self-healing*. Mortar *self-healing* merupakan material yang terdiri dari agregat halus, semen, dan air yang dapat memperbaiki mortar itu sendiri. Material tambahan yang digunakan untuk memperbaiki mortar adalah bakteri *Bacillus subtilis* sebagai *healing agent*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kadar bakteri *Bacillus subtilis* dalam memperbaiki keretakan berdasarkan variasi kadar bakteri dan umur pengujian. Pada penelitian ini, akan dilakukan penelitian terhadap kekuatan lentur, nilai UPV dan proses penutupan *artificial crack* berdasarkan mortar tanpa kadar bakteri dan mortar dengan variasi kadar bakteri 1%, 1,5%, dan 2%. Semakin besar kadar bakteri, maka keretakan yang terdapat pada mortar dapat diperbaiki dengan lebih baik. Berdasarkan pengujian kekuatan lentur dan pengujian UPV yang direndam dengan variasi 14 hari dan 28 hari setelah terdapat keretakan, diperoleh hasil perendaman yang lebih baik pada 28 hari. Pengujian kekuatan lentur yang direndam selama 28 hari memperoleh nilai pada benda uji dengan variasi tanpa kadar bakteri (0%) sebesar 23,106 MPa, variasi kadar bakteri 1% sebesar 16,933 MPa, variasi kadar bakteri 1,5% sebesar 22,31 MPa, dan pada variasi kadar bakteri 2% sebesar 25,696 MPa. Pengujian UPV pada benda uji balok mortar tanpa kadar bakteri memperoleh nilai 3985 m/s, benda uji balok mortar variasi kadar bakteri 1% memperoleh nilai 3787 m/s, benda uji balok mortar variasi kadar bakteri 1,5% memperoleh nilai 3752 m/s, benda uji balok mortar variasi kadar bakteri 2% memperoleh nilai 3670 m/s. Pada pengujian *artificial crack*, diperoleh hasil semakin banyak kadar bakteri maka *artificial crack* dapat tertutup dengan lebih baik.

Kata kunci : mortar, bakteri *Bacillus subtilis*, kekuatan lentur, pengujian UPV, *artificial crack*

EXPERIMENTAL STUDY OF FLEXURAL STRENGTH OF SELF-HEALING MORTAR WITH VARIATION OF *BACILLUS SUBTILIS* BACTERIA CONTENT

**Mario Santos
NPM : 6101901064**

**Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Co-Advisor : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
AUGUST 2023**

ABSTRACT

Cracks that occur in mortar can reduce strength and affect the age of the mortar itself. Self-healing mortar materials can be used to overcome these problems. Self-healing mortar is a material consisting of fine aggregate, cement, and water which can repair the mortar itself. The additional material that being used to repair the mortar itself is *Bacillus subtilis* bacteria as healing agent. The purpose of this research is to determine the effect of *Bacillus subtilis* bacteria levels in repairing cracks based on the variations of bacteria content and the age of the test. This research will be conducted on flexural strength, UPV value, and artificial crack closure process based on mortar with variations in bacterial content of 0%, 1%, 1,5%, and 2%.. The greater the content of bacteria, the cracks in the mortar can be repaired better. Based on the flexural strength and UPV test which were soaked with variations 14 days and 28 days after cracks had applied, better immersion results were obtained at 28 days. The flexural strength of the mortar beam specimens soaked for 28 days obtained values on the specimens with variation of 0% bacterial content obtained a value of 23,106 MPa, variation of 1% bacteria content of 16,933 MPa, variation of 1,5% bacteria content of 22,31 MPa, and variation of 2% bacteria content of 25,696 MPa. The UPV test on the mortar beam with variation of 0% bacterial content obtained a value of 3985 m/s, variation of 1% bacterial content obtained a value of 3787 m/s, variation of 1,5% bacterial content obtained a value of 3752 m/s, and variation of 2% of bacterial content obtained a value of 3670 m/s. Also based on the artificial crack test, the results showed that the more bacteria content, the better the artificial crack can be closed.

Keywords : mortar, *Bacillus subtilis* bacteria, flexural strength, UPV Test, artificial crack

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dipanjatkan oleh penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Studi Eksperimental Kekuatan Lentur *Self-Healing* Mortar Dengan Variasi Kadar Bakteri *Bacillus subtilis*”. Skripsi ini merupakan syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengalami berbagai hambatan dan masalah. Namun hambatan dan masalah tersebut dapat dilalui dengan lancar berkat dukungan, bantuan, dan bimbingan terhadap penulis dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ir. Hendrik Santos, M.B.A. dan Trina Setyo Budhiistrini sebagai orang yang telah memberikan dukungan dan memanjatkan doa agar penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro dan Ibu Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing dan ko-pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu serta saran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Judy Retti B. Witono, M. App. Sc. selaku Kepala Pusat Studi Rekayasa Proses dan Produk Pangan Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ijin penggunaan Laboratorium Ilmu Dasar untuk membantu penulis dalam penelitian ini.
4. Ibu Lusiana selaku laboran di Laboratorium Ilmu Dasar Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu dan memberikan arahan selama penelitian penulis di laboratorium.
5. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu dalam persiapan material dan pengujian di

Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan penulis.
7. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2019 atas kebersamaannya selama masa perkuliahan.
8. Vincent Sutirta selaku teman penulis yang telah memberikan hiburan dan menemani selama penyusunan skripsi serta selama perkuliahan di Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
9. Andreas, Eric, Calvin, There, dan Feli selaku teman-teman seperjuangan skripsi bimbingan Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro yang senantiasa saling membantu dalam persiapan, pengujian, dan penyusunan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah meluangkan waktu, memberikan tenaga dan pikirannya secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna mengingat keterbatasan kemampuan dan waktu penulis. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap skripsi ini tidak hanya bermanfaat bagi penulis, namun bermanfaat juga bagi para pembaca.

Bandung, 26 Juli 2023



Mario Santos

6101901064

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Inti Permasalahan	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Pembatasan Penelitian	2
1.5. Metode Penelitian	4
1.6. Diagram Alir	6
1.7. Sistematika Penulisan	7
BAB II	9
2.1. Mortar	9
2.2. Material Mortar	10
2.2.1. Agregat Halus	10
2.2.2. Semen Portland	12

2.2.3. Air.....	13
2.3. Tulangan <i>Wire Mesh</i>	14
2.4. Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	14
2.5. Metode Pengujian Material	18
2.5.1. Pengujian <i>Specific Gravity</i>	18
2.5.2. Pengujian <i>Fineness Modulus</i>	19
2.5.3. Pengujian Absorpsi.....	19
2.6. Metode Pengujian Benda Uji	20
2.6.1. Pengujian <i>Artificial Crack</i>	20
2.6.2. Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV Test)</i>	20
2.6.3. Pengujian Kuat Lentur (<i>Flexural Strength Test</i>)	22
BAB III	24
3.1. Bahan Pembuatan Mortar.....	24
3.2. Pembudidayaan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	28
3.2.1. Pembuatan <i>Nutrient Agar</i> dan <i>Nutrient Broth</i>	29
3.2.2. Inokulasi Bakteri	36
3.2.3. Pencampuran Bakteri Dengan <i>Nutrient Broth</i>	38
3.2.4. Pembuatan Larutan Urea dan Kalsium Asetat Pengecoran	40
3.2.5. Pengecekan Konsentrasi Bakteri	41
3.3. Benda Uji.....	44
3.4. Pengujian Material	45
3.4.1. <i>Specific Gravity</i>	45
3.4.2. <i>Fineness Modulus</i>	48
3.4.3. Absorpsi.....	49

3.5.	<i>Trial Mix</i>	50
3.6.	Prosedur Pengecoran Mortar	51
3.6.1.	<i>Mixed Design</i>	51
3.6.2.	Pencampuran Material dan Pengecoran	52
3.6.3.	Perawatan Mortar (<i>Curing</i>)	59
3.7.	Proses Pengujian Benda Uji	61
3.7.1.	<i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar	61
3.7.2.	<i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Pada Benda Uji Balok Mortar.....	63
3.7.3.	Pengujian Kuat Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar	66
BAB IV	69
4.1.	Analisis Berat Jenis Pada Benda Uji Balok Mortar	69
4.2.	Analisis <i>Artificial Crack</i>	69
4.2.1.	Analisis <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Tanpa Kadar Bakteri	70
4.2.2.	Analisis <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 1 %	71
4.2.3.	Analisis <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5 %	73
4.2.4.	Analisis <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 2 %	75
4.2.5.	Analisis <i>Artificial Crack</i> Keseluruhan Benda Uji Kubus Mortar.....	77
4.3.	Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i>	79
4.3.1.	Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Pada Benda Uji Balok Mortar tanpa kadar bakteri.....	80

4.3.2. Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 1 %	82
4.3.3. Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5 %	83
4.3.4. Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 2 %	85
4.3.5. Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> Keseluruhan Benda Uji Balok Mortar	87
4.4. Analisis Kekuatan Lentur	89
4.4.1. Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Tanpa Kadar Bakteri	90
4.4.2. Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 1 %	102
4.4.3. Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5 %	114
4.4.4. Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 2 %	126
4.4.5. Analisis Kekuatan Lentur Keseluruhan Benda Uji Balok Mortar	139
BAB V	143
5.1. Kesimpulan	143
5.2. Saran	145
DAFTAR PUSTAKA	146
LAMPIRAN- 1	148
LAMPIRAN- 2	155
LAMPIRAN- 3	165

LAMPIRAN- 4 168

LAMPIRAN- 5 171



DAFTAR NOTASI

%	:	Persen
μs	:	mikro sekon
ASTM	:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BaCl	:	Barium Klorida
CaCO ₃	:	Kalsium Karbonat
CTM	:	<i>Compression Testing Machine</i>
FM	:	<i>Fineness Modulus</i>
g	:	gram
H ₂ SO ₄	:	Asam Sulfat
kN	:	Kilo Newton
mm	:	milimeter
M	:	Molaritas
PCC	:	<i>Portland Composite Cement</i>
SSD	:	<i>Saturated-Surface-Dry</i>
SG	:	<i>Specific Gravity</i>
UPV	:	<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
UTM	:	<i>Universal Testing Machine</i>
V	:	Volume
V	:	Kecepatan rambat gelombang ultrasonic
w/b	:	<i>Water-to-binder ratio</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Benda Uji Kubus.....	3
Gambar 1.2 Ilustrasi Benda Uji Balok.....	4
Gambar 1.3 Diagram Alir.....	6
Gambar 1.4 Diagram Alir (Lanjutan)	7
Gambar 3.1 Semen	24
Gambar 3.2 Pasir yang Lolos Saringan #4 ASTM	24
Gambar 3.3 Air Bersih	25
Gambar 3.4 Isolat Bakteri Bacillus subtilis.....	26
Gambar 3.5 Kawat Locket Stainless	26
Gambar 3.6 Konfigurasi Kawat Locket	27
Gambar 3.7 Kawat Locket yang Dirangkap.....	28
Gambar 3.8 Cetakan Mortar	28
Gambar 3.9 Produk Nutrient Agar	29
Gambar 3.10 Penimbangan Bubuk Nutrient Agar.....	30
Gambar 3.11 Pengecekan pH Nutrient Agar Menggunakan Kertas Lakmus.....	30
Gambar 3.12 Pemanasan Nutrient Agar.....	31
Gambar 3.13 Nutrient Agar Pada Tabung Reaksi.....	31
Gambar 3.14 Tabung Reaksi Ditungkap Kapas.....	32
Gambar 3.15 Sterilisasi Nutrient Agar	32
Gambar 3.16 Nutrient Agar yang Disimpan Miring	33
Gambar 3.17 Produk Nutrient Broth	33
Gambar 3.18 Penimbang Bubuk Nutrient Broth	34
Gambar 3.19 Pengecekan pH Nutrient Broth Menggunakan Kertas Lakmus.....	34
Gambar 3.20 NaOH 1M	35
Gambar 3.21 Nutrient Broth Pada Labu Erlenmeyer	35
Gambar 3.22 Sterilisasi Nutrient Broth.....	36
Gambar 3.23 Pemanasan Batang Ose.....	37
Gambar 3.24 Inokulasi Bakteri Bacillus subtilis.....	37

Gambar 3.25 Bacillus subtilis Pada Nutrient Agar Setelah Inokulasi.....	38
Gambar 3.26 Nutrient Broth yang Dimasukkan ke Shaker Incubator.....	40
Gambar 3.27 Perbandingan Nutrient Broth Setelah Diberi Bakteri (Kiri) dan Sebelum diberi Bakteri (Kanan).....	40
Gambar 3.28 Urea dan Kalsium Asetat.....	41
Gambar 3.29 Pengambilan H ₂ SO ₄ di Ruang Asam.....	42
Gambar 3.30 Bacillus subtilis di Dalam Blanko.....	43
Gambar 3.31 Alat Spektrofotometri.....	43
Gambar 3.32 Contoh Output Penggunaan Spektrofotometri.....	44
Gambar 3.33 Pengujian SG Pasir.....	46
Gambar 3.34 Penimbangan SG Pasir.....	47
Gambar 3.35 Penimbangan SG Semen.....	48
Gambar 3.36 Konfigurasi Kawat Locket Saat <i>Trial Mix</i>	51
Gambar 3.37 Penggunaan Pelat Seng dan Kertas Mika Saat <i>Trial Mix</i>	51
Gambar 3.38 Kalsium Asetat, Nutrient Broth, Urea (kiri ke kanan).....	52
Gambar 3.39 Penimbangan Air Sebagai Bahan Mortar.....	53
Gambar 3.40 Semen dan Pasir di Plastik yang Berbeda.....	53
Gambar 3.41 Cetakan Mortar yang Sudah Dilapisi Plastisin.....	54
Gambar 3.42 Pengolesan Oli Pada Cetakan Mortar.....	54
Gambar 3.43 Kawat Locket Pada Cetakan Mortar.....	55
Gambar 3.44 Pencampuran Semen dan Pasir Menggunakan <i>Mixer</i>	55
Gambar 3.45 Pencampuran Urea, Kalsium Asetat dan Bakteri Pada Campuran Mortar.....	56
Gambar 3.46 Hasil <i>Slump Flow Test</i>	57
Gambar 3.47 Campuran Mortar Dimasukkan ke Cetakan.....	58
Gambar 3.48 Mortar yang Telah Dicitak Dilapisi Plastik.....	58
Gambar 3.49 Pembongkaran Cetakan Mortar.....	59
Gambar 3.50 Perawatan Mortar tanpa kadar bakteri Menggunakan Air.....	60
Gambar 3.51 Perawatan Mortar Variasi Bakteri Menggunakan Air.....	60
Gambar 3.52 Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri Menghasilkan Zat Kapur ..	61

Gambar 3.53 <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus.....	61
Gambar 3.54 Pengujian <i>Artificial Crack</i> Menggunakan Mikroskop Digital.....	63
Gambar 3.55 Alat UPV <i>Test</i>	63
Gambar 3.56 <i>Calibration Rod</i>	64
Gambar 3.57 Pengaturan Benda Uji	65
Gambar 3.58 Contoh <i>Output UPV Test</i>	65
Gambar 3.59 Uji Lentur Balok Mortar	66
Gambar 3.60 Contoh <i>Output Uji Lentur Hingga Failure</i>	68
Gambar 3. 61 Contoh <i>Output Uji Lentur Initial Crack</i>	68
Gambar 4.1 Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Kadar Bakteri 1%	71
Gambar 4.2 Rongga Pada Benda Uji Nomor 4 Kadar Bakteri 1% Hari ke-21	72
Gambar 4.3 Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Kadar Bakteri 1,5%	73
Gambar 4.4 Rongga Garis Pada Benda Uji Nomor 3 Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-21	74
Gambar 4.5 Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Kadar Bakteri 2%	75
Gambar 4.6 Rongga Garis Pada Benda Uji Nomor 4 Variasi Kadar Bakteri 2% Hari- 21	76
Gambar 4.7 Rongga Kecil Pada Benda Uji Nomor 1 Variasi Kadar Bakteri 2% Hari- 28	76
Gambar 4.8 Rongga Kecil Pada Benda Uji Nomor 2 Variasi Kadar Bakteri 2% Hari- 28	77
Gambar 4.9 Pengecekan Kalsium Karbonat dari Sisi Permukaan yang Terdapat <i>Artificial Crack</i>	78
Gambar 4.10 Pengecekan Kalsium Karbonat Pada Benda Uji yang Dibelah	79
Gambar 4.11 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Mortar tanpa kadar bakteri	80
Gambar 4.12 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1% ..	82
Gambar 4.13 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5%	83
Gambar 4.14 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 2% ..	85
Gambar 4.15 Grafik Hasil UPV <i>Test</i> Keseluruhan Benda Uji Balok Mortar	87

Gambar 4.16 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-1 Pada Umur ke-14	90
Gambar 4.17 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-2 Pada Umur ke-14	91
Gambar 4.18 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-3 Pada Umur ke-14	92
Gambar 4. 19 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-4 Pada Umur ke-28	92
Gambar 4.20 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-5 Pada Umur ke-28	93
Gambar 4.21 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-6 Pada Umur ke-28	94
Gambar 4.22 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-2 Pada Umur ke-14+28	94
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Kadar Bakteri 0%-2 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	95
Gambar 4.24 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-3 Pada Umur ke-14+28	96
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Kadar Bakteri 0%-3 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	96
Gambar 4.26 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-5 Pada Umur ke-28+14	97
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Kadar Bakteri 0%-5 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	98
Gambar 4.28 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 0%-6 Pada Umur ke-28+14	99
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Kadar Bakteri 0%-6 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	100
Gambar 4.30 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-1 Pada Umur ke-14	103

Gambar 4.31	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-2 Pada Umur ke-14	104
Gambar 4.32	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-3 Pada Umur ke-14	104
Gambar 4.33	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-4 Pada Umur ke-28	105
Gambar 4.34	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-5 Pada Umur ke-28	106
Gambar 4.35	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1%-6 Pada Umur ke-28	106
Gambar 4.36	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-2 Pada Umur ke-14+28	107
Gambar 4.37	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-2 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	108
Gambar 4.38	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-3 Pada Umur ke-14+28	109
Gambar 4.39	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-3 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	109
Gambar 4.40	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-5 Pada Umur ke-28+14	110
Gambar 4.41	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-5 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	111
Gambar 4.42	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-6 Pada Umur ke-28+14	112
Gambar 4.43	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%-6 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	112
Gambar 4.44	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-1 Pada Umur ke-14	115
Gambar 4.45	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-2 Pada Umur ke-14	116

Gambar 4.46 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-3 Pada Umur ke-14	116
Gambar 4.47 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-4 Pada Umur ke-28	117
Gambar 4.48 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-5 Pada Umur ke-28	118
Gambar 4.49 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 1,5%-6 Pada Umur ke-28	118
Gambar 4.50 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-2 Pada Umur ke-14+28	119
Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-2 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	120
Gambar 4.52 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-3 Pada Umur ke-14+28	121
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-3 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	121
Gambar 4.54 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-5 Pada Umur ke-28+14	122
Gambar 4.55 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-5 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	123
Gambar 4.56 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-6 Pada Umur ke-28+14	124
Gambar 4.57 Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%-6 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	124
Gambar 4.58 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-1 Pada Umur ke-14	127
Gambar 4.59 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-2 Pada Umur ke-14	128
Gambar 4.60 Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-3 Pada Umur ke-14	128

Gambar 4.61	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-4 Pada Umur ke-28	129
Gambar 4.62	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-5 Pada Umur ke-28	130
Gambar 4.63	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Kadar Bakteri 2%-6 Pada Umur ke-28	130
Gambar 4.64	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-2 Pada Umur ke 14+28.....	131
Gambar 4.65	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-2 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	132
Gambar 4.66	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-3 Pada Umur ke 14+28.....	133
Gambar 4.67	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-3 Hari ke 14 vs Hari ke 14+28	133
Gambar 4.68	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-5 Pada Umur ke-28+14	134
Gambar 4.69	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-5 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	135
Gambar 4.70	Grafik Kekuatan Lentur Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-6 Pada Umur ke 28+14.....	136
Gambar 4.71	Grafik Perbandingan Beban <i>Initial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%-6 Hari ke 28 vs Hari ke 28+14	136
Gambar 4.72	Grafik Kekuatan Lentur Keseluruhan Benda Uji Mortar	140
Gambar L-5.1	Contoh Pengujian Lentur Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-14	176
Gambar L-5.2	Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-14 ...	176
Gambar L-5.3	Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-14 ...	177
Gambar L-5.4	Contoh Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-14	177
Gambar L-5.5	Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-14.....	178
Gambar L-5.6	Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-14.....	178
Gambar L-5.7	Contoh Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-14 .	179

Gambar L-5.8 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-14.....	179
Gambar L-5.9 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-14.....	180
Gambar L-5.10 Contoh Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-14 ..	180
Gambar L-5.11 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-14.....	181
Gambar L-5.12 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-14.....	181
Gambar L-5.13 Contoh Pengujian Lentur Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-28	182
Gambar L-5.14 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-28 .	182
Gambar L-5.15 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Tanpa Kadar Bakteri Hari ke-28 .	183
Gambar L-5.16 Contoh Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-28 ..	183
Gambar L-5.17 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-28.....	184
Gambar L-5.18 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1% Hari ke-28.....	184
Gambar L-5.19 Contoh-1 Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-28	185
Gambar L-5.20 Contoh-2 Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-28	185
Gambar L-5.21 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-28...	186
Gambar L-5.22 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1,5% Hari ke-28...	186
Gambar L-5.23 Contoh Pengujian Lentur Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-28 ..	187
Gambar L-5.24 Contoh-1 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-28.....	187
Gambar L-5.25 Contoh-2 <i>Initial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2% Hari ke-28.....	188

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jumlah Benda Uji Kubus yang Digunakan	3
Tabel 1.2 Jumlah Benda Uji Balok yang Digunakan	4
Tabel 2.1 Syarat Gradasi Agregat Halus Menurut ASTM C-33	12
Tabel 2.2 <i>McFarland Standard</i>	17
Tabel 2.3 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Rambat Gelombang (Sumber: Sonny Wedhanto, 2015)	21
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Kubus yang Digunakan	44
Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Balok yang Digunakan	45
Tabel 3.3 <i>Specific Gravity</i> Pasir	46
Tabel 3.4 <i>Specific Gravity</i> Semen	47
Tabel 3.5 <i>Fineness Modulus</i> Pasir	49
Tabel 3.6 Absorpsi Pasir	50
Tabel 3.7 Total Kebutuhan <i>Mixed Design</i>	52
Tabel 3.8 Hasil <i>Slump Flow</i> Pada Pengecoran	57
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Pada Benda Uji Balok Mortar	69
Tabel 4.2 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar tanpa kadar bakteri	70
Tabel 4.3 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 1%	71
Tabel 4.4 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5%	73
Tabel 4.5 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Kubus Mortar Variasi Kadar Bakteri 2%	75
Tabel 4.6 Hasil <i>UPV Test</i> Pada Benda Uji Mortar tanpa kadar bakteri	80
Tabel 4.7 Hasil <i>UPV Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1%	82
Tabel 4.8 Hasil <i>UPV Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5%	84
Tabel 4.9 Hasil <i>UPV Test</i> Pada Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 2%	85
Tabel 4.10 Hasil <i>UPV Test</i> Benda Uji Balok Mortar Variasi 14+28	87

Tabel 4.11 Hasil UPV <i>Test</i> Benda Uji Balok Mortar Variasi 28+14	87
Tabel 4.12 Analisis Kekakuan Benda Uji Mortar Tanpa Kadar Bakteri.....	101
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Tanpa Kadar Bakteri.....	102
Tabel 4.14 Analisis Kekakuan Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1%	113
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1%	114
Tabel 4.16 Analisis Kekakuan Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5%	125
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 1,5%	126
Tabel 4.18 Analisis Kekakuan Benda Uji Mortar Variasi Kadar Bakteri 2%	137
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Balok Mortar Variasi Kadar Bakteri 2%	138
Tabel 4.20 Perbandingan Pembebanan Keseluruhan Benda Uji Balok Mortar	139
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Keseluruhan Benda Uji Balok Mortar	141
Tabel L-1.1 <i>Specific Gravity</i> Semen	150
Tabel L-1.2 <i>Specific Gravity</i> Pasir	151
Tabel L-1.3 <i>Fineness Modulus</i> Pasir.....	151
Tabel L-1.4 Absorpsi Pasir	154
Tabel L-2.1 Rekapitulasi Hasil <i>Mixed Design</i>	159
Tabel L-2.2 Perhitungan Benda Uji Kubus.....	159
Tabel L-2.3 Perhitungan Benda Uji Balok.....	160
Tabel L-2.4 Total Volume Benda Uji Kubus & Balok	160
Tabel L-2.5 Total Kebutuhan Aktual	161
Tabel L-2.6 Kebutuhan Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri.....	164
Tabel L-2.7 Kebutuhan Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%	164
Tabel L-2.8 Kebutuhan Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%	164
Tabel L-2.9 Kebutuhan Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%	164
Tabel L-4.1 Berat Jenis Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri	169

Tabel L-4.2 Berat Jenis Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%	169
Tabel L-4.3 Berat Jenis Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%	170
Tabel L-4.4 Berat Jenis Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%	170
Tabel L-5.1 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri	172
Tabel L-5.2 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%	173
Tabel L-5.3 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%	174
Tabel L-5.4 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%	175



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN- 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL	148
LAMPIRAN- 2 PERHITUNGAN <i>MIXED DESIGN</i>	155
LAMPIRAN- 3 PERHITUNGAN KONSENTRASI BAKTERI.....	165
LAMPIRAN- 4 BERAT JENIS BENDA UJI	168
LAMPIRAN- 5 FOTO HASIL PENGUJIAN	171



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material yang paling sering digunakan karena memiliki kekuatan tekan dan daya tahan yang baik. Namun, penggunaan beton sebagai material yang memiliki kekakuan tinggi juga memiliki kekurangan, seperti keretakan yang terjadi akibat susut pada beton. Keretakan pada beton dapat mempengaruhi kekuatan beton, membuat tulangan baja berkarat dan korosi ketika terkena air dan udara serta mengurangi usia beton jika keretakan tersebut semakin membesar. Dalam menangani keretakan, pada umumnya diperlukan tambahan biaya perbaikan agar keretakan pada beton tersebut dapat diatasi.

Penemuan material *self-healing* memberikan upaya penelitian yang terus dikembangkan dengan berbagai macam variasi. *Self-healing* merupakan kemampuan suatu material dalam memperbaiki material itu sendiri. Beberapa upaya dalam mengembangkan material *self-healing* yang dilakukan pada saat ini dapat menggunakan bakteri yang menghasilkan CaCO_3 ketika bereaksi dengan O_2 dan H_2O . Penggunaan bakteri yang menghasilkan kalsium karbonat pada material mortar dapat menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* dalam menangani keretakan yang terjadi pada benda uji beton.

Pada studi eksperimental ini, penulis akan melakukan eksperimen terhadap material beton yang dimulai dari level mortar untuk menghasilkan mortar dengan kemampuan *self-healing* menggunakan variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis* serta melakukan uji lentur, *Ultrasonic Pulse Velocity Test*, dan *artificial crack* dari mortar tersebut. Penggunaan material *self-healing* akan mempengaruhi kekuatan tekan dan kekuatan lentur dari material mortar. Hasil eksperimen ini diharapkan dapat menghasilkan mortar yang dapat memperbaiki keretakan yang dialami mortar serta dapat diaplikasikan pada elemen struktur, baik dalam bentuk mortar maupun beton.

1.2. Inti Permasalahan

Mempelajari pengaruh dari bakteri *Bacillus subtilis* sebagai *healing agent* pada campuran mortar agar dapat menghasilkan kalsium karbonat dan menutup lapisan mortar yang mengalami retak. Mortar yang telah diberi bakteri *Bacillus subtilis* dengan variasi kadar bakteri 1%, 1,5%, dan 2% serta variasi sebelum dan sesudah diberi retak dilakukan pengujian *artificial crack*, *Ultrasonic Pulse Velocity Test*, dan pengujian kekuatan lentur serta dibandingkan dengan mortar tanpa kadar bakteri.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui apakah bakteri *Bacillus subtilis* yang digunakan berhasil berperan sebagai *healing agent*.
2. Melakukan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test* terhadap mortar pada sebelum dan setelah mengalami proses *healing* yang telah diberi bakteri *Bacillus subtilis* sebagai *healing agent*.
3. Mengetahui pengaruh kadar bakteri *Bacillus subtilis* sebagai material *healing agent* terhadap kekuatan lentur mortar.

1.4. Pembatasan Penelitian

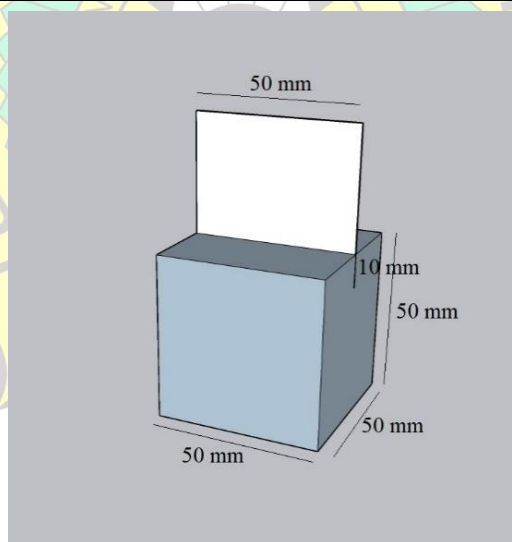
Pembatasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan ASTM #4 (4,75 mm).
2. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement (PCC)*.
3. Rasio air terhadap semen (w/c) yang digunakan sebesar 0,5.
4. Rasio semen terhadap agregat halus yang digunakan sebesar 1 : 3.
5. Perencanaan campuran mortar menggunakan metode volume absolut.
6. Menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai media *self-healing*.
7. Variasi bakteri *Bacillus subtilis* yang digunakan sebanyak 1%, 1,5%, dan 2% dari volume agregat halus.

8. Metode *curing* yang digunakan pada mortar tanpa kadar bakteri dan mortar dengan kadar bakteri adalah direndam dengan air.
9. Menganalisis mortar dengan *artificial crack* pada hari ke-14, 21, dan 28 menggunakan benda uji kubus berdimensi 50 mm x 50 mm x 50 mm.
10. Keretakan pada benda uji *artificial crack* dibuat menggunakan pelat seng dengan ketebalan 0,17 mm yang dipasang tegak lurus dengan kedalaman 10 mm di permukaan mortar saat pengecoran. Jumlah benda uji kubus yang akan digunakan serta ilustrasi benda uji kubus pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1.1 Jumlah Benda Uji Kubus yang Digunakan

Umur Pengujian (Hari)	Variasi Kadar Bakteri				Total Benda Uji
	0%	1%	1,5%	2%	
14, 21, dan 28	4	4	4	4	16
Total Benda <i>Artificial Crack</i>					16

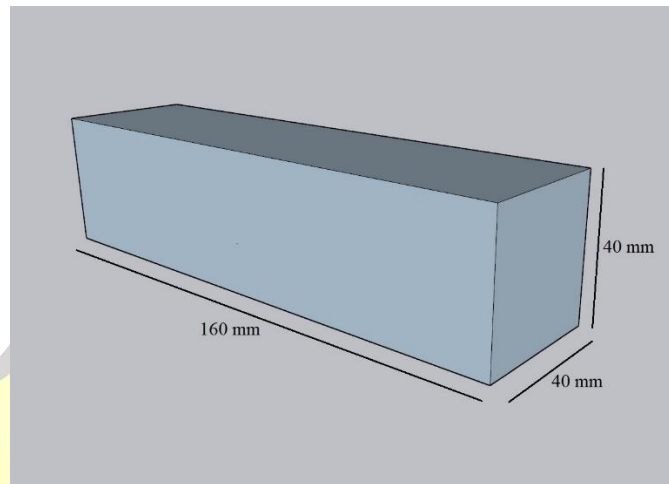


Gambar 1.1 Ilustrasi Benda Uji Kubus

11. Menguji kekuatan lentur dan *Ultrasonic Pulse Velocity Test* pada benda uji mortar menggunakan benda uji balok berdimensi 40 mm x 40 mm x 160 mm yang mengacu pada ASTM C348 dan ASTM C597. Jumlah benda uji balok yang akan digunakan serta ilustrasi benda uji balok pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1.2 Jumlah Benda Uji Balok yang Digunakan

Umur Pengujian (Hari)	Variasi Kadar Bakteri				Total Benda Uji
	0%	1%	1,5%	2%	
14 dan 14+28	3	3	3	3	12
28 dan 28+14	3	3	3	3	12
Total Benda Uji Kuat Lentur dan UPV <i>Test</i>					24



Gambar 1.2 Ilustrasi Benda Uji Balok

12. UPV *Test* dilakukan pada setiap benda uji sebelum dan sesudah dilakukan uji lentur serta dibandingkan dengan mortar tanpa kadar bakteri.

1.5. Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Metode penelitian dengan studi literatur merupakan metode yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan materi dari perkuliahan, *textbook*, jurnal, paper, maupun internet.

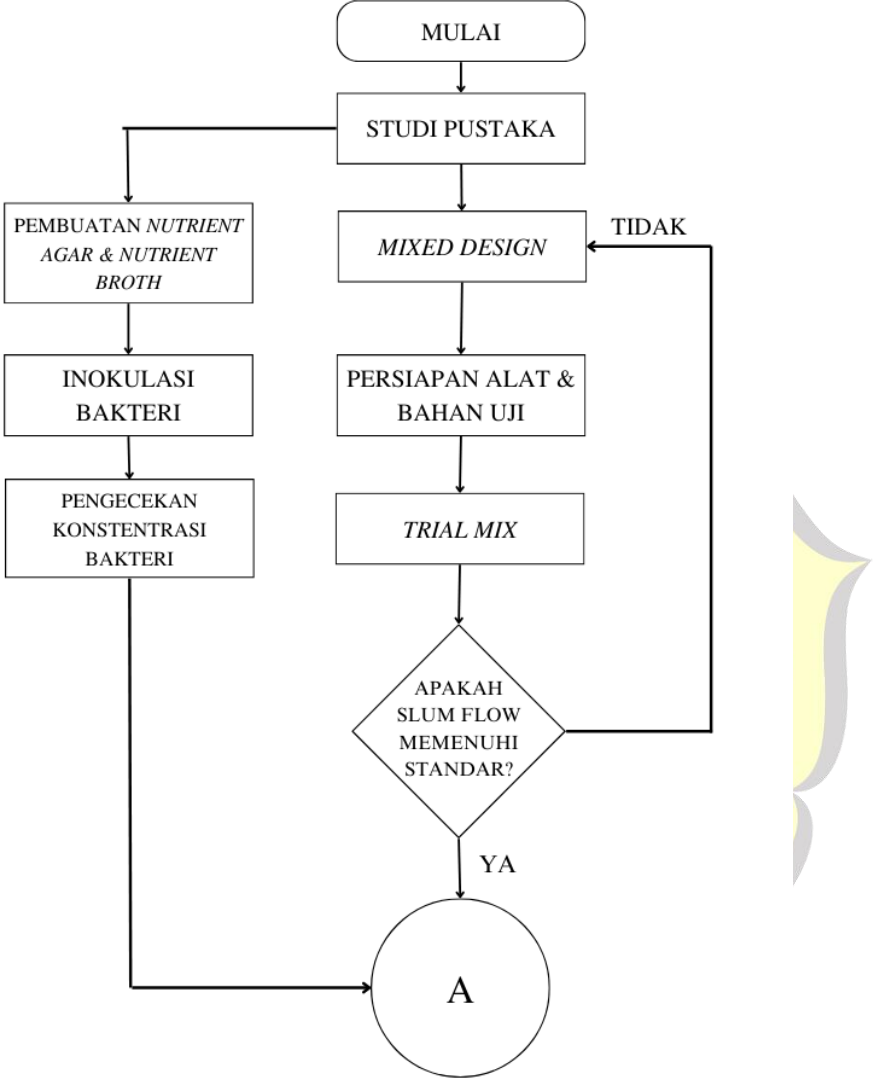
2. Studi Eksperimental

Metode penelitian dengan studi eksperimental merupakan metode yang dilakukan menggunakan benda uji untuk memperoleh hasil berupa hasil pengujian. Bakteri *Bacillus subtilis* dibudidayakan terlebih dahulu di Laboratorium Ilmu Dasar Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan. Dalam pengujian kekuatan mortar, penelitian *artificial crack*, *UPV Test*, dan pengujian kekuatan lentur dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

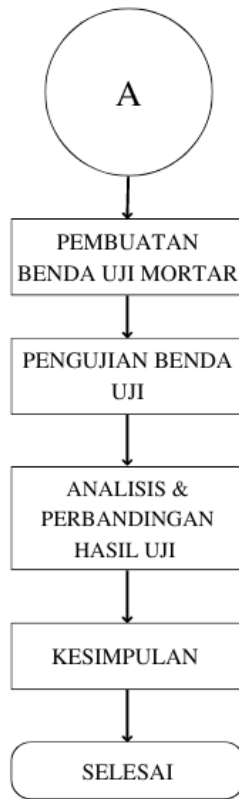


1.6. Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 1.3 Diagram Alir



Gambar 1.4 Diagram Alir (Lanjutan)

1.7. Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Bab ini membahas latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan penelitian, metode penelitian, diagram alir penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas landasan teori dan dasar-dasar teori yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

BAB III Persiapan dan Pelaksanaan Pengujian

Bab ini membahas persiapan pengujian, pelaksanaan pengujian, dan pencatatan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil dan Laboratorium Ilmu Dasar Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan.

BAB IV Analisis Hasil Pengujian

Bab ini membahas analisis serta hasil pengujian yang diperoleh dan membandingkan hasil pengujian dengan teori.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini membahas kesimpulan yang diperoleh dari analisis serta hasil pengujian serta saran terkait hasil pengujian agar dapat diperoleh hasil pengujian yang lebih optimum.

