

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN
SELF- HEALING CONCRETE DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DAN VARIASI KADAR
BAKTERI BACILLUS SUBTILIS**



**MICHAEL SAMUEL SUGIHARTO
NPM : 6102001030**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN
SELF- HEALING CONCRETE DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DAN VARIASI KADAR
BAKTERI BACILLUS SUBTILIS**



**MICHAEL SAMUEL SUGIHARTO
NPM : 6102001030**

BANDUNG, 18 JULI 2024

PEMBIMBING:



Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN
SELF- HEALING CONCRETE DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DAN VARIASI KADAR
BAKTERI BACILLUS SUBTILIS**



**MICHAEL SAMUEL SUGIHARTO
NPM : 6102001030**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 1: Ir. Nenny Samudra, M.T.

PENGUJI 2: Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : MICHAEL SAMUEL SUGIHARTO
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 18 Mei 2002
NPM : 6102001030
Judul skripsi : **STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN
TEKAN *SELF-HEALING CONCRETE* DENGAN
AGREGAT LUMPUR SIDOARJO DAN
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.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 9 Juli 2024

E-Materai dan Tandatangan Mhs.



Michael Samuel Sugiharto

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN *SELF-HEALING CONCRETE* DENGAN AGREGAT LUMPUR SIDOARJO DAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Michael Samuel Sugiharto
NPM: 6102001030

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024

ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan aditif lainnya. Penelitian tentang beton terus berkembang termasuk inovasi beton *self-healing*. Beton *self-healing* memiliki kemampuan untuk memperbaiki keretakannya sendiri dengan pembentukan kalsium karbonat oleh mikroorganisme seperti bakteri *Bacillus subtilis*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis* terhadap kekuatan tekan dan kemampuan *self-healing* pada beton yang menggunakan agregat kasar dari lumpur Sidoarjo. Variasi kadar bakteri yang digunakan adalah 0%, 1%, 1.5%, dan 2% dari berat semen yang dipakai. Pengujian meliputi pengamatan *artificial crack*, *Ultrasonic Pulse Velocity Test*, dan kekuatan tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengamatan benda uji balok dengan *artificial crack* menunjukkan mengalami penutupan dari pembentukan kalsium karbonat oleh bakteri *Bacillus subtilis*.

Hasil pengujian UPV dan kekuatan tekan menunjukkan peningkatan kecepatan gelombang ultrasonik dan kekuatan tekan pada beton dengan variasi kadar bakteri lebih tinggi yang mengindikasikan peningkatan homogenitas dan kerapatan beton. Hasil menunjukkan peningkatan tertinggi kecepatan gelombang sebesar 3783,461 m/s, dan kekuatan tekan karakteristik pada benda uji beton silinder variasi kadar bakteri 2% sebesar 22,730 MPa. Setelah penutupan retakan pada benda uji balok dengan *artificial crack* dilakukan juga pengujian kekuatan tekan dan UPV untuk membandingkan hasil dengan benda uji tanpa *artificial crack*. Penelitian ini menyimpulkan penambahan bakteri *Bacillus subtilis* di campuran beton tidak hanya memperkuat kemampuan *self-healing*, tapi juga meningkatkan kepadatan dan kekuatan tekannya.

Kata Kunci: agregat lumpur Sidoarjo, *Bacillus subtilis*, beton *self-healing*, kekuatan tekan, *artificial crack*, *Ultrasonic Pulse Velocity*.

EXPERIMENTAL STUDY OF COMPRESSIVE STRENGTH OF SELF-HEALING CONCRETE WITH SIDOARJO MUD AGGREGATE AND VARIATIONS IN *BACILLUS SUBTILIS* *BACTERIA CONTENT*

Michael Samuel Sugiharto
NPM: 6102001030

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)

BANDUNG
JULY 2024

ABSTRACT

Concrete is a construction material made from a mixture of cement, coarse aggregate, fine aggregate, water and other additives. Advances in concrete research have led to innovations such as self-healing concrete, which can repair its own cracks by the formation of calcium carbonate by microorganisms such as *Bacillus subtilis*. This experimental study investigates the impact of various content of *Bacillus subtilis* bacteria on the compressive strength and self-healing properties of concrete incorporating coarse aggregates from Sidoarjo mud. The bacterial content variations used are 0%, 1%, 1.5%, and 2% of the cement weight. Tests conducted on artificial crack observation, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test, and compressive strength test at age 7, 14, 21 and 28 days.

Observations of beam specimens with artificial cracks revealed that cracks were closed due to calcium carbonate production by *Bacillus subtilis* bacteria. UPV and compressive strength tests indicated an increase in wave velocity and compressive strength in concrete with higher bacterial content, suggesting enhanced strength and density. The highest recorded wave velocity made by 2% bacterial content was 3783.461 m/s and the characteristic compressive strength for cylindrical specimens was 22.730 MPa. Following the closure of cracks in the closure of cracks in beam specimens with artificial cracks, further compressive strength and UPV tests were performed to compare with results from specimens without artificial cracks. This experimental study concludes that incorporating *Bacillus subtilis* bacteria in concrete improves its self-healing ability, density and compressive strength.

Keywords: Sidoarjo mud aggregate, *Bacillus subtilis*, self-healing concrete, compressive strength, artificial crack, Ultrasonic Pulse Velocity.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas semua berkat yang disertakan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “STUDI EKSPERIMENTAL *SELF-HEALING CONCRETE* DENGAN AGREGAT LUMPUR SIDOARJO DAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*.” Penyelesaian skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan program sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Proses penyusunan skripsi ini memiliki banyak tantangan dan hambatan namun dapat dilalui dengan baik berkat dukungan, bantuan dan bimbingan terhadap penulis dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Andy Sugiharto dan Maria Regina Juliani Karmila Himawan atas dukungan dan doa yang telah diberi agar dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Dosen pembimbing, Dr. Johannes Adhijoso Tjondro atas bimbingan serta ilmu dan saran yang diberikan kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Laboran, Bu Lusiana Silvia, S.Si di Laboratorium Rekayasa Proses dan Produksi Pangan Program Studi Teknik Kimia atas bimbingan dan bantuannya ketika melaksanakan praktikum di lab.
4. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang membantu dalam proses persiapan, pembuatan, dan pengujian benda uji di Laboratorium Teknik Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
5. Seluruh tenaga kerja dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang sudah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan 4 tahun.
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan angkatan 2020 atas pengalaman dan kebersamaannya selama masa perkuliahan 4 tahun.

1. Tiara, Reynold, Raymond, Sulaiman, Erich, dan Timotius selaku teman-teman seperjuangan skripsi bimbingan Dr. Johannes Adhijoso Tjondro yang telah saling membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Teman-teman seperjuangan studi eksperimental beton yang telah saling membantu di lab.
3. Senua pihak yang telah meluangkan waktu dan tenaganya maupun secara langsung atau tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Bandung, 18 Juli 2024



Michael Samuel Sugiharto

6102001030



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Diagram Alir	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Beton	7
2.2 Material Beton	8
2.2.1 Agregat Kasar	8
2.2.2 Agregat Halus	9
2.2.3 Air	10
2.2.4 Semen	10

2.3 <i>Self-Healing Concrete</i>	11
2.4 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	12
2.5 Metode Pengembangbiakan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	14
2.5.1 Persiapan media kultur :.....	14
2.6 Metode Pengujian Material Beton.....	15
2.6.1 Pengujian Specific Gravity Agregat.....	16
2.6.2 Pengujian Specific Gravity Semen.....	16
2.6.3 Pengujian Berat Isi Agregat.....	17
2.6.4 Pengujian Fineness Modulus Agregat Halus.....	17
2.6.5 Pengujian Absorpsi.....	18
2.7 Uji Artificial Crack.....	18
2.8 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test.....	18
2.9 Uji Kuat Tekan.....	20
2.9.2 Pola Keretakan.....	21
BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN	23
3.1 Persiapan dan Karakteristik Material Beton.....	23
3.1.1 Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo.....	23
3.1.2 Agregat Halus.....	23
3.1.3 Air.....	24
3.1.4 Semen.....	24
3.1.5 Larutan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	25
3.1.6 Urea.....	25
3.1.7 Kalsium Laktat.....	25
3.2 Pengujian Bahan.....	25
3.2.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i>	25
3.2.2 Pengujian Berat isi Agregat Kasar.....	28

3.2.3 <i>Fineness Modul</i>	29
3.2.4 Pengujian Absorpsi	30
3.3 Persiapan Media dan Larutan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	31
3.3.1 <i>Nutrient Agar</i>	31
3.3.2 <i>Nutrient Broth</i>	33
3.3.3 Inokulasi Bakteri	34
3.3.4 Pembuatan Larutan Bakteri	35
3.3.5 Pembuatan Larutan Urea	38
3.3.6 Pembuatan Larutan Kalsium Laktat	38
3.4 Pengecekan Konsentrasi Bakteri	38
3.4.1 Pembuatan Larutan <i>McFarland</i>	39
3.4.2 Pengujian Konsentrasi Bakteri	40
3.5 <i>Mixed Design</i>	42
3.6 Pengecoran dan Proses Pencetakan Benda Uji	43
3.7 Perawatan (<i>Curing</i>)	46
3.8 Pengamatan Mikroskop	47
3.9 <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> (UPVT)	49
3.10 Uji Kekuatan Tekan	51
BAB 4 ANALISIS DATA	53
4.1 Analisis Berat Jenis pada Benda Uji Silinder Beton	53
4.2 Analisis Pengujian <i>Artificial Crack</i>	53
4.2.1 Analisis Penutupan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 0%	54
4.2.2 Analisis Penutupan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1%	55
4.2.3 Analisis Penutupan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1.5%	56
4.2.4 Analisis Penutupan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2%	58
4.2.5 Hasil Keseluruhan Penutupan <i>Artificial Crack</i>	60

4.3 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i>	62
4.3.1 Hasil Uji UPV pada Benda Uji Silinder Variasi 0% Bakteri	62
4.3.2 Hasil Uji UPV pada Benda Uji Silinder Variasi 1.5% Bakteri	65
Hasil Uji UPV pada Benda Uji Silinder Variasi 2% Bakteri	66
4.3.3	66
4.3.4 Analisis Hasil UPV hari ke-28 pada Benda Uji Silinder	68
4.3.5 Hasil Uji UPV pada Benda Uji dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Bakteri 0%	69
4.3.6 Hasil Uji UPV pada Benda Uji dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Bakteri 1%	70
4.3.7 Hasil Uji UPV pada Benda dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Bakteri 1,5%	71
4.3.8 Hasil Uji UPV pada Benda dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Bakteri 2%	72
4.3.9 Analisis Hasil Uji UPV hari ke-28 pada Benda Uji <i>Artificial Crack</i> ...	74
4.3.10 Analisis Hasil Uji UPV Hari ke-28 pada Benda Uji Silinder dan <i>Artificial Crack</i>	75
4.4 Analisis Kekuatan Tekan Beton	76
4.4.2 Analisis Faktor Umur	78
4.4.3 Analisis Uji Kekuatan Tekan Beton pada Benda Uji Silinder	79
4.4.4 Analisis Uji Kekuatan Tekan Beton pada Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i>	91
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	:	<i>American Society of Testing Materials</i>	
BaCl	:	Barium Klorida	
CaCO ₃	:	Kalsium Karbonat	
CTM	:	<i>Compression Testing Machine</i>	
f _c	:	Kekuatan Tekan Karakteristik Beton Silinder 50 x 100mm (MPa)	
f _{cb}	:	Kekuatan Tekan Beton	
FM	:	<i>Fineness Modulus</i>	
H ₂ SO ₄	:	Asam Sulfat	
g	:	gram	
OD	:	<i>Oven Dry</i>	
kg	:	kilogram	
kN	:	kilonewton	
M	:	Molaritas	
mm	:	milimeter	
PCC	:	<i>Portland Composite Cement</i>	
SG	:	<i>Specific Gravity</i>	(g/cm ³)
SNI	:	Standar Nasional Indonesia	
SSD	:	<i>Saturated Surface Dry</i>	
UPV	:	<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	
μs	:	mikrosekon	
w/c	:	Rasio air terhadap semen	
V	:	Volume	
V	:	Kecepatan rambat gelombang	(m/s)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Direct Method</i>	19
Gambar 2.2 <i>Semi-Indirect Method</i>	19
Gambar 2.3 <i>Semi-Indirect Method</i>	19
Gambar 2.4 Pola Keretakan Benda Uji	22
Gambar 3.1 Agregat Lusi (SSD)	23
Gambar 3.2 Pasir Galunggung (SSD)	24
Gambar 3.3 Semen PCC	24
Gambar 3.4 Larutan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	25
Gambar 3.5 Bubuk Nutrient Agar	32
Gambar 3.6 <i>Magnetic Stirrer</i>	32
Gambar 3.7 Penyimpanan tabung reaksi dengan keadaan miring	33
Gambar 3.8 Bubuk <i>Nutrient Broth</i>	33
Gambar 3.9 Alat <i>Autoclave</i>	34
Gambar 3.10 Persiapan Alat di Ruang Inokulasi	36
Gambar 3.11 Pensterilan Batang Ose	36
Gambar 3.12 Penggesekan batang ose pada bakteri yang menempel di dinding <i>nutrient agar</i>	37
Gambar 3.13 Penuangan Bakteri dari <i>Nutrient Agar</i> pada <i>Nutrient Broth</i>	37
Gambar 3.14 <i>Shaking Incubator</i>	38
Gambar 3.15 Pembuatan Larutan <i>McFarland</i>	39
Gambar 3.16 Alat <i>Spektrofotometer</i>	40
Gambar 3.17 Hasil Panjang Gelombang dan Absorpsi Larutan <i>McFarland</i>	41
Gambar 3.18 <i>Live Display</i> Absorpsi Larutan Bakteri	42
Gambar 3.19 <i>Mixer</i>	44
Gambar 3.20 <i>Slump Test</i> (7.5mm)	45

Gambar 3.21 Pemasangan Seng 0.15 mm pada Benda Uji	46
Gambar 3.22 Bak <i>Curing</i>	47
Gambar 3.23 Pengamatan Benda Uji menggunakan Mikroskop Digital	47
Gambar 3.24 Diagram penjelasan posisi pengambilan foto permukaan celah....	48
Gambar 3.25 Contoh Pengamatan Pembentukan CaCO ₃ pada permukaan celah	49
Gambar 3.26 <i>Direct Method</i>	50
Gambar 3.27 Posisi Pengujian UPV Balok dengan <i>Artificial Crack</i>	51
Gambar 3.28 Compression Testing Machine (CTM).....	51
Gambar 3.29 Posisi Pengujian Kekuatan Tekan Balok dengan <i>Artificial Crack</i>	52
Gambar 4.1 Permukaan Celah Variasi Kadar Bakteri 0%.....	55
Gambar 4.2 Permukaan Celah Variasi Kadar Bakteri 1%.....	56
Gambar 4.3 Permukaan Celah Variasi Kadar Bakteri 1.5%.....	58
Gambar 4.4	59
Gambar 4.5 Permukaan Celah Variasi Kadar Bakteri 2%.....	60
Gambar 4.6 Grafik Perkembangan Penutupan Lebar <i>Artificial Crack</i>	60
Gambar 4.7 Grafik Penutupan Crack Berdasarkan Hari Sebelumnya.....	61
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kecepatan Gelombang terhadap Umur Beton Tanpa Kadar Bakteri	62
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kecepatan Gelombang terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 1%	64
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Kecepatan Gelombang terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 1.5%	65
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kecepatan Gelombang terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 2%	66
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Kecepatan Gelombang Umur 28 Hari.....	68
Gambar 4.13 Grafik Kecepatan Gelombang Terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 0%.....	69

Gambar 4.14 Grafik Kecepatan Gelombang Terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 1%.....	70
Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Gelombang Terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 1.5%.....	71
Gambar 4.16 Grafik Kecepatan Gelombang Terhadap Umur Beton Variasi Kadar Bakteri 2%.....	73
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Pengujian UPV Benda Uji Silinder dan Balok <i>Artificial Crack</i>	75
Gambar 4.18 Pola Keretakan Tipe 2	76
Gambar 4.19 Pola Keretakan Tipe 3	77
Gambar 4.20 Pola Keretakan Tipe 5	77
Gambar 4.21 Grafik Faktor Umur Variasi 0%	80
Gambar 4.22 Grafik Faktor Umur Variasi 1%	82
Gambar 4.23 Grafik Faktor Umur Variasi 1.5%	84
Gambar 4.24	84
Gambar 4.25 Grafik Faktor Umur Variasi 2%	86
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Kekuatan Tekan Karakteristik.....	90
Gambar 4.27 Perbandingan Kekuatan Tekan Regresi.....	90
Gambar 4.28 Perbandingan Kekuatan Tekan Umur 28 Hari Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i>	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Gradasi Agregat Halus berdasarkan ASTM C-33.....	10
Tabel 2.2 <i>McFarland Standard</i>	14
Tabel 2.3 Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Rambat Gelombang (Sumber: International Atomic Energy Agency, 2002).....	20
Tabel 2.4 Estimasi korelasi kuat tekan silinder beton berdasarkan diameter benda uji ($L/D = 2$) (SNI 1974:2011).....	21
Tabel 3.1 <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar.....	26
Tabel 3.2 <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	27
Berikut merupakan hasil dari pengujian <i>Specific Gravity</i> semen	28
Tabel 3.3 <i>Specific Gravity</i> Semen	28
Tabel 3.4 Berat isi Agregat Kasar	28
Tabel 3.5 <i>Fineness Modulus</i> Agregat Halus.....	30
Tabel 3.6 Absorpsi Agregat Kasar	31
Tabel 3.7 Absorpsi Agregat halus	31
Tabel 3.8 <i>Mixed Design</i> (1m^3)	43
Tabel 3.9 <i>Mixed Design</i> Kebutuhan Total Pengecoran (0.0125 m^3).....	43
Tabel 4.1 Berat Jenis Beton pada umur ke-28.....	53
Tabel 4.2 Perkembangan Penutupan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Beton Variasi Kadar Bakteri 0%.....	54
Tabel 4.3 Perkembangan Penutupan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Beton Variasi Kadar Bakteri 1%.....	55
Tabel 4.4 Perkembangan Penutupan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Beton Variasi Kadar Bakteri 1.5%.....	57
Tabel 4.5 Perkembangan Penutupan <i>Artificial Crack</i> Pada Benda Uji Beton Variasi Kadar Bakteri 2%.....	59

Tabel 4.6 Perkembangan Lebar <i>Artificial Crack</i> Setelah 28 Hari (mm)	60
Tabel 4.7 Perkembangan Penutupan <i>Crack</i> Berdasarkan Hari Sebelumnya.....	61
Tabel 4.8 Hasil Pengujian UPV Beton Silinder Tanpa Kadar Bakteri.....	63
Tabel 4.9 Hasil Pengujian UPV Beton Silinder Variasi Kadar Bakteri 1%.....	64
Tabel 4.10 Hasil Pengujian UPV Beton Silinder Variasi Kadar Bakteri 1.5%....	65
Tabel 4.11 Hasil Pengujian UPV Beton Silinder Variasi Kadar Bakteri 2%.....	67
Tabel 4.12 Perbandingan Kecepatan Gelombang pada Hari ke-28 Benda Uji Silinder	68
Tabel 4.13 Tabel Hasil Data Pengujian UPV <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 0%	69
Tabel 4.14 Tabel Hasil Data Pengujian UPV <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1%	70
Tabel 4.15 Tabel Hasil Data Pengujian UPV <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1.5%	72
Tabel 4.16 Tabel Hasil Data Pengujian UPV <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2%	73
Tabel 4.17 Data Kecepatan Gelombang Hari ke-28 Benda Uji Silinder & Balok <i>Artificial Crack</i>	75
Tabel 4.18 Hasil Analisis Faktor Umur Kekuatan Tekan Variasi Kadar Bakteri 0%	79
Tabel 4.19 Hasil Regresi Variasi Kadar Bakteri 0%.....	79
Tabel 4.20 Hasil Analisis Faktor Umur Kekuatan Tekan Variasi Kadar Bakteri 1%	81
Tabel 4.21 Hasil Regresi Variasi Kadar Bakteri 1%.....	81
Tabel 4.22 Hasil Analisis Faktor Umur Kekuatan Tekan Variasi Kadar Bakteri 1.5%	83
Tabel 4.23 Hasil Regresi Variasi Kadar Bakteri 1.5%.....	83

Tabel 4.24 Hasil Analisis Faktor Umur Kekuatan Tekan Variasi Kadar Bakteri 2%	84
Tabel 4.25 Hasil Regresi Variasi Kadar Bakteri 2%.....	85
Tabel 4.26 Hasil Kekuatan Tekan Karakteristik	89
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Rata-Rata Tiga Benda Uji Umur 28 Hari.....	91
Tabel L1.1 Data Hasil <i>Fineness Modulus</i> Agregat Halus.....	102
Tabel L2.1 <i>Mixed Design</i> untuk volume pengecoran 1m ³	106
Tabel L2.2 Jumlah Benda Uji Silinder (50 x 10 mm).....	107
Tabel L2.3 Jumlah Benda Uji Balok <i>Artificial Crack</i> (50 x 50 x 100 mm).....	107
Tabel L2.4 <i>Mixed Design</i> Volume Kebutuhan Total (0.0125m ³).....	109
Tabel L3.1 Hasil Slump Variasi 0%, 1%, 1.5% dan 2%.....	110
Tabel L3.2 Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 0%	111
Tabel L3.3 Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1%	112
Tabel L3.4 Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1.5%	113
Tabel L3.5 Benda Uji Balok dengan <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 2%	114
Tabel L3.6 Benda Uji Silinder Variasi Kadar Bakteri 0%.....	116
Tabel L3.7 Benda Uji Silinder Variasi Kadar Bakteri 1%.....	116
Tabel L3.8 Benda Uji Silinder Variasi Kadar Bakteri 1.5%.....	116
Tabel L3.9 Benda Uji Silinder Variasi Kadar Bakteri 2%.....	117

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	98
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN MIXED DESIGN (SNI 7656: 2012)	103
LAMPIRAN 3 FOTO BENDA UJI.....	110



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semburan lumpur panas yang terjadi di Sidoarjo sejak 29 Mei 2006 sampai sekarang menimbulkan dampak yang cukup luas bagi masyarakat sekitarnya. Akibat dampak tersebut, telah dibentuk Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) yang dibentuk untuk mengendalikan luapan lumpur dan dampaknya. Badan penanggulangan tersebut sekarang sudah dibubarkan dan diubah menjadi Pusat Pengendalian Lumpur Sidoarjo (PPLS) yang dikelola oleh PUPR. Untuk pemanfaatan jangka panjang, lumpur Sidoarjo diharapkan dapat diteliti untuk dijadikan sebagai bahan konstruksi. Berdasarkan sifat-sifat dasar yang dimiliki serta hasil penelitian yang telah dilakukan ternyata lumpur tersebut setelah ditambah dengan abu batu bara dapat dikembangkan menjadi bahan keramik melalui proses pembakaran dengan hasil yang cukup baik, keras, stabil dan memiliki bobot relatif ringan dibanding dengan bahan keramik pada umumnya (Lasino, 2017).

Beton merupakan campuran yang terdiri dari air, semen, agregat kasar, dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Di dunia konstruksi, beton merupakan material yang sangat umum digunakan karena kekuatan, daya tahan terhadap cuaca dan fleksibilitas untuk membentuk struktur yang kompleks. Dengan banyaknya kelebihan, beton juga memiliki kekurangan seperti keretakan akibat dari susut dan faktor-faktor lain. Akibat dari retak ini dapat menurunkan kekuatan dan integritas bangunan secara perlahan dan dapat membahayakan pengguna bangunan. *Maintenance* dilakukan untuk menangani retakan dan membutuhkan biaya tambahan setiap jangka waktu tertentu.

Material *self-healing* ditemukan pada tahun 2006 oleh seorang mikrobiologis bernama professor Henk Jonkers di Delft University of Technology, Belanda. *Self Healing Concrete* (SHC) pada umumnya dibagi menjadi dua macam, *Autogenous* dan *Autonomous* SHC. *Autogenous self-healing concrete* merupakan jenis beton yang dapat memperbaiki retak mikro dengan mengandalkan hanya pada bahan

intrinsik matriks semen, sedangkan *Autonomous self-healing concrete* merupakan jenis beton yang dapat memperbaiki retak mikro dengan tambahan elemen lainnya seperti polimer atau bakteri (Guo & Chidiac 2019).

Pada studi eksperimental ini, eksperimen dilakukan terhadap kuat tekan beton yang mampu melakukan *Autonomous self-healing* menggunakan variasi kadar bakteri, dan lumpur Sidoarjo yang sudah melewati proses pembakaran sebagai material agregat kasar dan agregat halus. Bakteri yang digunakan merupakan bakteri *Bacillus subtilis* yang menghasilkan CaCO_3 saat bereaksi dengan O_2 dan H_2O . Hasil dari eksperimen ini diharapkan dapat menghasilkan beton yang kuat dan dapat memperbaiki keretakan sendiri dan dapat diaplikasikan dalam dunia konstruksi.

1.2 Inti Permasalahan

Inti dari permasalahan merupakan mengetahui pengaruh variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis* terhadap *self-healing* beton yang menggunakan lumpur Sidoarjo sebagai agregat kasar.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat *mixed design* beton menggunakan agregat kasar Lumpur Sidoarjo
2. Menganalisa hasil kuat tekan beton dengan lumpur Sidoarjo sebagai agregat kasar.
3. Mengetahui pengaruh kadar variasi bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai kekuatan tekan beton dengan lumpur Sidoarjo sebagai agregat.
4. Melakukan uji *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) terhadap beton sebelum dan sesudah mengalami proses *healing* oleh bakteri *Bacillus subtilis*.
5. Mengamati proses *self-healing* pada *artificial crack* beton.

1.4 Pembatasan Penelitian

Pembatasan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar yang digunakan merupakan lumpur Sidoarjo sudah dibakar sehingga menjadi keras, dengan ukuran maksimum 9,5 mm
2. Agregat halus yang digunakan merupakan Pasir Galunggung yang lolos saringan ASTM #4 (4,75mm)
3. Semen yang digunakan merupakan *Portland Composite Cement* (PCC)
4. Rasio air pada semen (w/c) yang digunakan adalah 0,57
5. Kekuatan *mixed design* yang direncanakan adalah sebesar 28 MPa
6. Variasi persentase bakteri *Bacillus subtilis* terhadap berat semen sebesar 1%, 1,5 % dan 2%.
7. *Curing* dilakukan dengan cara merendam sampel beton dengan air.
8. Metode perencanaan *mixed design* beton menggunakan SNI-7656 2012.
9. Pengembangbiakan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Katolik Parahyangan.
10. Dimensi benda uji beton merupakan silinder berdiameter 50 mm dengan tinggi 100mm.
11. Jumlah benda uji silinder yang digunakan untuk kuat tekan dan UPV *test* sebanyak 48 buah.
12. *Artificial crack* dilakukan pada beton dan akan diamati pada umur beton hari ke- 28 menggunakan benda uji balok berukuran 50 x 50 x 100 mm.

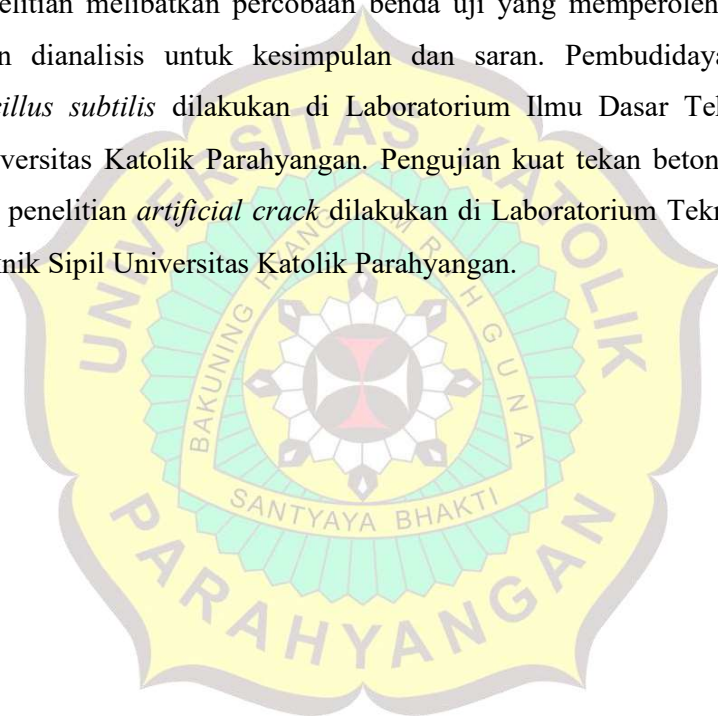
1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

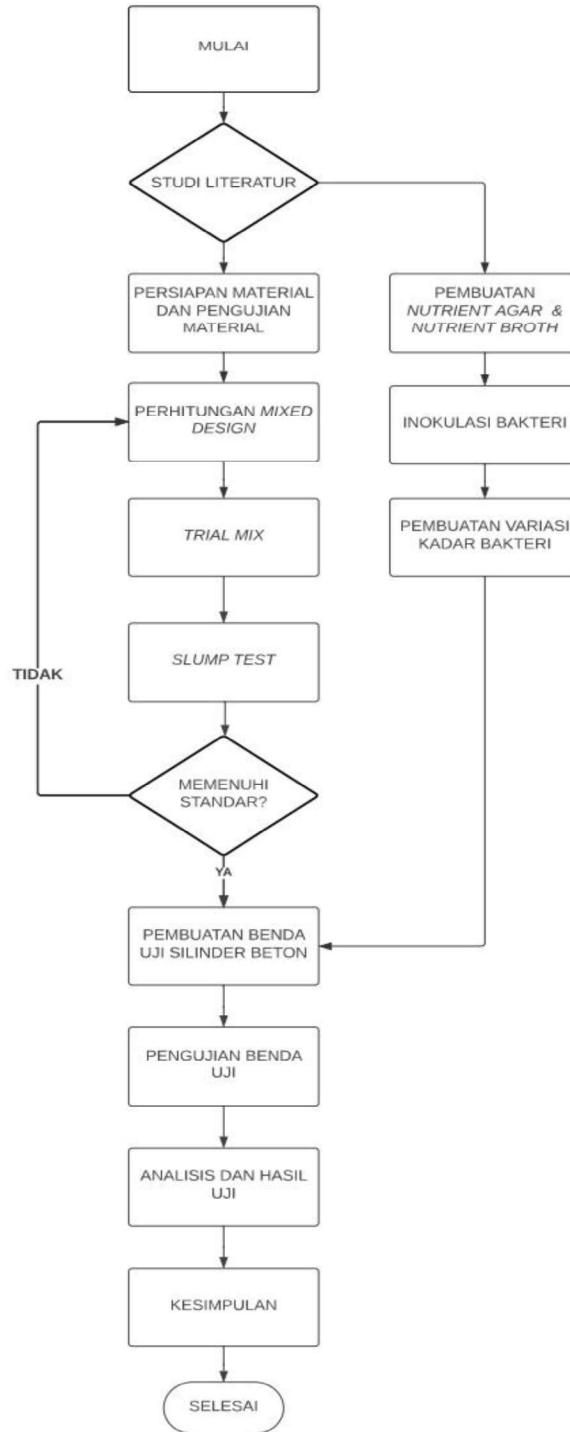
Metode penelitian studi literatur adalah pendekatan di mana peneliti melibatkan pengumpulan dan analisis informasi dari berbagai sumber tertulis seperti buku, jurnal ilmiah, artikel dan sumber lainnya.

2. Studi Eksperimental

Metode penelitian studi eksperimental adalah pendekatan di mana penelitian melibatkan percobaan benda uji yang memperoleh hasil yang akan dianalisis untuk kesimpulan dan saran. Pembudidayaan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan di Laboratorium Ilmu Dasar Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan. Pengujian kuat tekan beton, UPV *test*, dan penelitian *artificial crack* dilakukan di Laboratorium Teknik Struktur Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.



1.6 Diagram Alir



1.7 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pembahasan mengenai latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pembahasan mengenai landasan teori serta rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan bakteri dan beton.

BAB III Persiapan dan Pelaksanaan Pengujian

Pembahasan mengenai persiapan, pelaksanaan, dan hasil pengujian.

BAB IV Analisis Hasil Pengujian

Pembahasan mengenai analisis hasil pengujian yang dibandingkan dengan landasan teori sebelumnya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pembahasan terakhir yang merupakan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang didapatkan setelah pelaksanaan penelitian. Saran yang didapatkan diperoleh untuk pelaksanaan penelitian yang lebih optimum untuk kedepannya.