

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR
BETON *SELF-HEALING* DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RAYMOND ALDIAN GERIANTO
NPM : 6102001010**

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 LENTUR
BETON *SELF-HEALING* DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RAYMOND ALDIAN GERIANTO
NPM : 6102001010**

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 LENTUR
BETON *SELF-HEALING* DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RAYMOND ALDIAN GERIANTO
NPM : 6102001010**

BANDUNG, 20 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 LENTUR
BETON *SELF-HEALING* DENGAN AGREGAT
LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RAYMOND ALDIAN GERIANTO
NPM : 6102001010**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 1: Nenny Samudra, Ir., 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**

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Raymond Aldian Gerianto

NPM : 6102001010

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi~~¹⁾ dengan judul:

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR BETON *SELF-HEALING* DENGAN AGREGAT LUMPUR
SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 8 Juli 2024

A 10,000 Rupiah Indonesian banknote is shown with a signature written over it. The signature appears to be 'Raymond Aldian Gerianto'. The banknote features the Garuda Pancasila emblem and the number '10000'.

RAYMOND ALDIAN GERIANTO

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR BETON SELF-HEALING DENGAN AGREGAT LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI BACILLUS SUBTILIS

Raymond Aldian Gerianto
NPM: 6102001010

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

Material beton seringkali menjadi pilihan material struktur dalam pekerjaan konstruksi, tetapi seiring bertambahnya kegiatan pembangunan, material yang digunakan tidak dapat memenuhi kebutuhan, tidak jarang juga ditemukan keretakan yang dapat menurunkan kekuatan beton itu sendiri. Telah banyak inovasi yang dilakukan terhadap beton, salah satunya adalah dengan memanfaatkan material limbah sebagai bahan dasar seperti Lumpur Sidoarjo dan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan aditif agar beton dapat menutup retakan atau biasa lebih dikenal dengan *self-healing concrete*. Penelitian akan dilakukan terhadap kekuatan tarik lentur, proses penutupan *artificial crack*, dan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) pada balok beton dengan variasi kadar bakteri 0%, 1%, 1,5%, dan 2%. Hasil pengujian *artificial crack* menunjukkan bahwa benda uji dengan kadar bakteri 1%, 1,5%, dan 2% yang telah direndam selama 28 hari dapat menutup retakannya dengan baik dan hasil UPV 2% menunjukkan hasil terbesar diikuti dengan variasi 1,5% dan 1%. Pengujian kekuatan tarik lentur pada umur 28 hari pada benda uji dengan variasi 0%, 1%, 1,5%, dan 2% berturut-turut memperoleh hasil sebesar 3,67 Mpa, 3,70 Mpa, 3,52 MPa, dan 4,04 MPa. Pengujian UPV yang dilakukan pada benda uji kekuatan tarik lentur menunjukkan bahwa pengujian menggunakan metode direct memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode semi – direct dan indirect.

Kata Kunci: agregat Lumpur Sidoarjo, *artificial crack*, *Bacillus Subtilis*, kekuatan tarik lentur, *Ultrasonic Pulse Velocity*

EXPERIMENTAL STUDY OF FLEXURAL STRENGTH OF SELF-HEALING CONCRETE WITH SIDOARJO MUD AGGREGATES WITH VARIATIONS OF *BACILLUS SUBTILIS* BACTERIA CONTENT

Raymond Aldian Gerianto
NPM: 6102001010

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

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 materials are often the choice of structural materials in construction work, but as the number of developments increases, the materials used cannot meet the demand, it is common to find cracks that can reduce the strength of the concrete itself. There have been many innovations made in concrete, one of which is by utilizing waste materials such as Sidoarjo Mud and *Bacillus Subtilis* bacteria as additives so that concrete can close its own cracks or commonly known as self-healing concrete. Research will be conducted on flexural tensile strength, artificial crack closure process, and *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) testing on concrete beams with variations in bacteria content of 0%, 1%, 1.5%, and 2%. The results of artificial crack tests showed that the test specimens with 1%, 1.5%, and 2% bacterial content that had been soaked in the water for 28 days could close the cracks well and with the UPV results of 2% content showing the largest results followed by variations of 1.5% and 1%. Flexural tensile strength test result on age 28 days on 0%, 1%, 1.5%, and 2% variation test specimens obtained the value of 3.67 MPa, 3.70 MPa, 3.52 MPa, and 4.04 MPa. UPV testing conducted on the flexural tensile strength test specimens found that testing using the direct method showed better results than the semi-direct and indirect methods.

Keywords: artificial crack, *Bacillus Subtilis*, flexural tensile strength, *Ultrasonic Pulse Velocity*, Sidoarjo mud aggregate

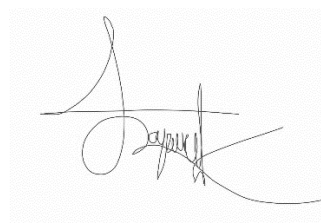
PRAKATA

Puji dan syukur penulis naikkan pada Tuhan Yesus Kristus, oleh karena berkat dan rahmatNya yang besar penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Eksperimental Pengukuran Kekuatan Lentur Beton *Self-Healing* Dengan Agregat Lumpur Sidoarjo dan Variasi Bakteri *Bacillus Subtilis*”. Tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang ikut serta membantu dan mendukung agar skripsi ini dapat diselesaikan secara tuntas. Oleh karena itu, penulis ingin berterimakasih kepada :

1. Andrey R. Gerianto dan Helin Herawati sebagai orang tua penulis, serta Stevia Hanna Gerianto dan Andeani Hanna Gerianto sebagai kakak penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan ilmu pengetahuan, masukan, dan dorongan kepada penulis.
3. Ibu Lusiana Silvia, S.Si selaku laboran Laboratorium Rekayasa Proses dan Produksi Pangan Program Studi Teknik Kimia yang selalu dengan sabar memberikan ilmu pengetahuan, masukan, dan dorongan kepada penulis selama pelaksanaan praktikum di laboratorium.
4. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi selaku laboran Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil yang selalu membantu proses persiapan, pembuatan, dan pengujian benda uji selama pelaksanaan praktikum di laboratorium.
5. Seluruh jajaran dosen dan staf Fakultas Teknik yang pernah mengajar, membimbing, dan mendukung penulis selama proses studi penulis di Universitas Katolik Parahyangan.
6. Seluruh teman mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2020 atas pengalaman dan kebersamaan selama 4 tahun.
7. Michael, Sulaiman, Reynold, Erich, Timotius, Tiara selaku teman seperjuangan skripsi bimbingan Dr. Johannes Adhijoso Tjondro yang saling membantu dan memberikan dukungan dalam pengerjaan skripsi ini.

8. Teman – teman dan seluruh rekan penulis yang turut meluangkan waktu dan mendukung penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Bandung, 20 Juli 2024



Raymond Aldian Gerianto

6102001010



DAFTAR ISI

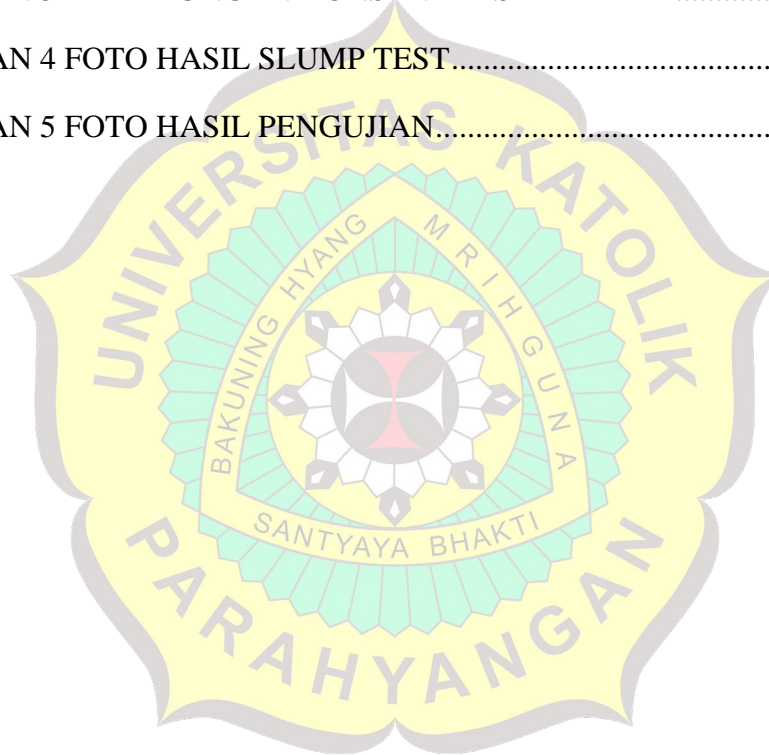
LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Diagram Alir	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	7
2.1 Beton	7
2.2 Beton Self-Healing	8
2.2.1 Autogenous Self-Healing	9
2.2.2 Autonomous Self-Healing	9
2.3 Material Beton	10
2.3.1 Agregat Kasar	10

2.3.2 Agregat Halus.....	12
2.3.3 Semen Portland	13
2.3.4 Air	14
2.4 Bakteri Bacillus Subtilis.....	14
2.5 Metode Pengujian Material	18
2.5.1 Pengujian Fineness Modulus	18
2.5.2 Pengujian Specific Gravity	18
2.5.3 Pengujian Absorpsi	19
2.5.4 Pengujian Berat Isi	20
2.6 Metode Pengujian Benda Uji	20
2.6.1 Pengujian Kuat Lentur (Flexural Strength Test).....	20
2.6.2 Pengujian Artificial Crack	23
2.6.3 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test.....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Bahan Uji	25
3.1.1 Agregat Kasar.....	25
3.1.2 Agregat Halus.....	25
3.1.3 Semen.....	26
3.1.4 Air	26
3.1.5 Air Aquades	26
3.1.6 Natrium Hidroksida (NaOH).....	27
3.1.7 Nutrient Agar	27
3.1.8 Nutrient Broth	27
3.1.9 Kalsium Laktat.....	28
3.1.10 Urea	28
3.1.11 Barium Klorida (BaCl ₂)	28

3.1.12 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	29
3.1.13 Larutan McFarlan.....	29
3.2 Benda Uji	29
3.3 Pengujian Material	29
3.3.1 Fineness Modulus	30
3.3.2 Specific Gravity	31
3.3.3 Absorpsi	33
3.3.4 Berat Isi	34
3.4 Pengembangbiakkan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	34
3.4.1 Pembuatan Media Bakteri.....	34
3.4.2 Proses Inokulasi Bakteri.....	36
3.4.3 Pemindahan Bakteri Dari Nutrient Agar Ke Nutrient Broth.....	37
3.4.4 Pemeriksaan Konsentrasi Bakteri	38
3.4.5 Pembuatan Larutan Urea dan Kalsium Laktat	42
3.5 Trial Mix	42
3.6 Prosedur Pelaksanaan Pengecoran Beton <i>Self-Healing</i>	43
3.6.1 Mixed Design.....	43
3.6.2 Pencampuran Material dan Pengecoran.....	44
3.6.3 Perawatan (<i>Curing</i>) Beton	46
3.7 Proses Pengujian Benda Uji.....	47
3.7.1 <i>Artificial</i> Crack Pada Benda Uji Balok Beton.....	47
3.7.2 Ultrasonic Pulse Velocity Test Pada Benda Uji Balok Beton	48
3.7.2.1 Metode <i>Direct</i>	48
3.7.2.2 Metode Semi – Direct.....	48
3.7.2.3 Metode Indirect	49
3.7.3 Pengujian Kuat Lentur Pada Benda Uji Balok Beton.....	50

BAB 4 ANALISIS DATA	52
4.1 Analisis Berat Jenis Pada Benda Uji Balok Beton.....	52
4.2 Analisis Artificial Crack	52
4.2.1 Analisis Artificial Crack Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1%	53
4.2.2 Analisis Artificial Crack Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1,5%	55
4.2.3 Analisis Artificial Crack Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 2%	58
4.2.4 Analisis <i>Artificial Crack</i> Secara Keseluruhan.....	60
4.3 Analisis Ultrasonic Pulse Velocity Test.....	61
4.3.1 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Pada Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri	61
4.3.2 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1%	63
4.3.3 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1,5%	64
4.3.4 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 2%	65
4.3.5 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Secara Keseluruhan.....	66
4.4 Analisis Kekuatan Lentur Balok Beton.....	67
4.4.1 Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri	67
4.4.2 Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1%	71
4.4.3 Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 1,5%	77
4.4.4 Analisis Kekuatan Lentur Pada Benda Uji Dengan Variasi Kadar Bakteri 2%	84

4.4.5 Analisis Kekuatan Lentur Secara Keseluruhan.....	90
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	95
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN MIXED DESIGN.....	104
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN KONSENTRASI BAKTERI	115
LAMPIRAN 4 FOTO HASIL SLUMP TEST.....	118
LAMPIRAN 5 FOTO HASIL PENGUJIAN.....	120



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

%	:	Persen
μs	:	Micro sekon
ASTM	:	<i>American Society of Testing Materials</i>
BaCl	:	Barium klorida
CaCl	:	Kalsium karbonat
FM	:	<i>Fineness Modulus</i>
f_r	:	Nilai kuat tarik lentur
g	:	Gram
H ₂ SO ₄	:	Asam sulfat
I	:	Inersia
LuSi	:	Lumpur Sidoarjo
M	:	Molaritas
mm	:	milimeter
N	:	Newton
NaOH	:	Natrium Hidroksida
PCC	:	<i>Portland Composite Cement</i>
SG	:	<i>Specific Gravity</i>
SNI	:	Standar Nasional Indonesia
SSD	:	<i>Saturated-Surface-Dry</i>
UPV	:	<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
UTM	:	<i>Universal Testing Machine</i>
V	:	Volume
v	:	Kecepatan rambat gelombang ultrasonic
w/c	:	<i>Water-to-cement ratio</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pembuatan Agregat Lumpur Sidoarjo.....	12
Gambar 2.2 Pengujian kuat lentur <i>Third Point Loading</i>	21
Gambar 2.3 Bidang Momen Dan Gaya Lintang Akibat Beban <i>P2</i>	21
Gambar 3.1 Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo.....	25
Gambar 3.2 Agregat Halus Pasir Galunggung	26
Gambar 3.3 Semen Tiga Roda.....	26
Gambar 3.4 Nutrient Agar	27
Gambar 3.5 Nutrient Broth.....	28
Gambar 3.6 Pembuatan <i>Nutrient Agar</i> Diatas <i>Hotplate</i>	35
Gambar 3.7 Penggoresan Batang Ose Pada <i>Nutrient Agar</i>	38
Gambar 3.8 Larutan Bakteri Dalam Shaker Incubator	38
Gambar 3.9 Larutan <i>McFarland</i>	39
Gambar 3.10 Output Panjang Gelombang Larutan <i>McFarland</i> Pada Alat Spektrofotometri	40
Gambar 3.11 Output Konsentrasi Larutan Bakteri Pada Alat Spektrofotometri .	41
Gambar 3.12 Proses Pencampuran <i>Trial Mix</i>	43
Gambar 3.13 Contoh Slump <i>Test</i>	46
Gambar 3.14 Proses <i>Curing</i> Benda Uji Dalam Air	47
Gambar 3.15 Pelaksanaan Metode <i>Direct</i> (sumber : BEST2019).....	48
Gambar 3.16 Pelaksanaan Metode <i>Semi – Direct</i> (sumber : BEST2019).....	49
Gambar 3.17 Pelaksanaan Metode <i>Indirect</i> (sumber : BEST2019)	50
Gambar 3.18 Pengujian Kekuatan Tarik Lentur Beton	51
Gambar 4.1 Hubungan Kecepatan Penutupan – Umur Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Variasi 1%	54

Gambar 4.2 Hubungan Kecepatan Penutupan – Umur Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Variasi 1,5%	57
Gambar 4.3 Hubungan Kecepatan Penutupan – Umur Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Variasi 2%	59
Gambar 4.4 Hubungan Kecepatan Penutupan – Umur Benda Uji <i>Artificial Crack</i>	60
Gambar 4.5 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Tanpa Kadar Bakteri Umur 28 Hari	61
Gambar 4.6 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 1%	63
Gambar 4.7 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 1,5%	64
Gambar 4.8 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 2%	65
Gambar 4.9 Grafik UPV <i>Test</i> Dengan Tiga Metode	66
Gambar 4.10 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 0% - 1 Pada Umur 28 Hari.....	67
Gambar 4.11 Benda Uji 0% - 1 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	68
Gambar 4.12 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 0% - 2 Pada Umur 28 Hari.....	68
Gambar 4.13 Benda Uji 0% - 2 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	69
Gambar 4.14 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 0% - 3 Pada Umur 28 Hari.....	69
Gambar 4.15 Benda Uji 0% - 3 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	70
Gambar 4.16 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 1 Pada Umur 28 Hari.....	71
Gambar 4.17 Benda Uji 1% - 1 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	71

Gambar 4.18 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 2 Pada Umur 28 Hari.....	72
Gambar 4.19 Benda Uji 1% - 2 Setelah Pengujian Kekuatan Lentur.....	72
Gambar 4.20 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 3 Pada Umur 28 Hari.....	73
Gambar 4.21 Benda Uji 1% - 3 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	73
Gambar 4.22 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 1 Pada Umur 56 Hari.....	74
Gambar 4.23 Benda Uji 1% - 1 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	74
Gambar 4.24 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 2 Pada Umur 56 Hari.....	75
Gambar 4.25 Benda Uji 1% - 2 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	75
Gambar 4.26 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1% - 3 Pada Umur 56 Hari.....	76
Gambar 4.27 Benda Uji 1% - 3 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	76
Gambar 4.28 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 1 Pada Umur 28 Hari	77
Gambar 4.29 Benda Uji 1,5% - 1 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	78
Gambar 4.30 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 2 Pada Umur 28 Hari	78
Gambar 4.31 Benda Uji 1,5% - 2 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	79
Gambar 4.32 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 3 Pada Umur 28 Hari	79
Gambar 4.33 Benda Uji 1,5% - 3 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	80
Gambar 4.34 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 1 Pada Umur 56 Hari	80
Gambar 4.35 Benda Uji 1,5% - 1 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	81

Gambar 4.36 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 2 Pada Umur 56 Hari	81
Gambar 4.37 Benda Uji 1,5% - 2 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	82
Gambar 4.38 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 1,5% - 3 Pada Umur 56 Hari	82
Gambar 4.39 Benda Uji 1,5% - 3 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur .	83
Gambar 4.40 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 1 Pada Umur 28 Hari.....	84
Gambar 4.41 Benda Uji 2% - 1 Setelah Pengujian Kekuatan Lentur.....	84
Gambar 4.42 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 2 Pada Umur 28 Hari.....	85
Gambar 4.43 Benda Uji 2% - 2 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	85
Gambar 4.44 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 3 Pada Umur 28 Hari.....	86
Gambar 4.45 Benda Uji 2% - 3 28 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	86
Gambar 4.46 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 1 Pada Umur 56 Hari.....	87
Gambar 4.47 Benda Uji 2% - 1 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	87
Gambar 4.48 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 2 Pada Umur 56 Hari.....	88
Gambar 4.49 Benda Uji 2% - 2 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	88
Gambar 4.50 Hubungan Lentutan – Beban Pada Benda Uji Variasi Bakteri 2% - 3 Pada Umur 56 Hari.....	89
Gambar 4.51 Benda Uji 2% - 2 56 Hari Setelah Pengujian Kekuatan Lentur	89
Gambar 4.52 Hubungan Kekuatan Tarik Lentur – Variasi Kadar Bakteri.....	90
Gambar 5.1 Grafik UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Variasi Kadar Bakteri 1%.....	124

Gambar 5.2 Grafik Hasil UPV *Test* Pada Benda Uji *Artificial Crack* Variasi Kadar Bakteri 1,5% 124

Gambar 5.3 Grafik Hasil UPV *Test* Pada Benda Uji *Artificial Crack* Variasi Kadar Bakteri 2% 125



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Analisis Kimia Lumpur Sidoarjo (Lasino 2016).....	11
Tabel 2.2 McFarland Standard	17
Tabel 2.3 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang (Sumber: International Atomic Energy Agency, 2002).....	24
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Kekuatan Lentur Beton.....	29
Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji <i>Artificial Crack</i> Beton	29
Tabel 3.3 <i>Fineness Modulus Agregat Halus</i>	30
Tabel 3.4 <i>Specific Gravity Agregat Kasar</i>	31
Tabel 3.5 <i>Specific Gravity Agregat Halus</i>	32
Tabel 3.6 <i>Specific Gravity Semen</i>	32
Tabel 3.7 Absorpsi Agregat halus	33
Tabel 3.8 Absorpsi Agregat Kasar	33
Tabel 3.9 Berat Isi (Padat) Agregat Kasar.....	34
Tabel 3.10 Kebutuhan <i>Trial Mix</i> Variasi 0%	42
Tabel 3.11 Kebutuhan <i>Trial Mix</i> Variasi 2%	42
Tabel 3.12 Kebutuhan Campuran Beton Normal Dengan Variasi Kadar Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	44
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Balok Beton Pada Umur ke – 28.....	52
Tabel 4.2 Pengamatan Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji 1 Variasi 1%	53
Tabel 4.3 Pengamatan Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji 1 Variasi 1,5%	55
Tabel 4.4 Pengamatan Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji 1 Variasi 2%	58
Tabel 4.5 Hasil UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Tanpa Kadar Bakteri ...	62
Tabel 4.6 Hasil UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 1%	63

Tabel 4.7 Hasil UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 1,5%	64
Tabel 4.8 Hasil UPV <i>Test</i> Pada Benda Uji Balok Beton Variasi Kadar Bakteri 2%	65
Tabel 4.9 Analisis Kekuatan Lentur Dan Modulus Elastisitas Benda Uji Tanpa Kadar Bakteri	70
Tabel 4.10 Analisis Kekuatan Lentur Dan Modulus Elastisitas Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%	77
Tabel 4.11 Analisis Kekuatan Lentur Dan Modulus Elastisitas Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%	83
Tabel 4.12 Analisis Kekuatan Lentur Dan Modulus Elastisitas Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%	90
Tabel L1.1 Specific Gravity Agregat Kasar.....	96
Tabel L1.2 Specific Gravity Agregat Kasar.....	97
Tabel L1.3 Specific Gravity Semen.....	99
Tabel L1.4 Fineness Modulus Agregat Halus.....	99
Tabel L1.5 Absorpsi Agregat Kasar.....	101
Tabel L1.6 Absorpsi Agregat Halus.....	102
Tabel L1.7 Berat Isi (Padat) Agregat Kasar.....	103
Tabel L2.1 Rekapitulasi <i>Mixed Design Volume 1m³</i>	107
Tabel L2.2 Perhitungan Benda Uji 200 x 100 x 100 mm	108
Tabel L2.3 Perhitungan Benda Uji 350 x 100 x 100 mm	108
Tabel L2.4 Benda Uji Balok 200 x 100 x 100 mm	108
Tabel L2.5 Benda Uji Balok 350 x 100 x 100 mm	111
Tabel L3.1 Benda Uji Kekuatan Tarik Lentur Beton.....	116
Tabel L3.2 Benda Uji <i>Artificial Crack</i>	117
Tabel L4.1 Hasil Slump Test	119

Tabel L5.1 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1%	121
Tabel L5.2 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 1,5%	122
Tabel L5.3 Perkembangan <i>Artificial Crack</i> Benda Uji Variasi Kadar Bakteri 2%	123



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	95
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN MIXED DESIGN.....	104
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN KONSENTRASI BAKTERI	115
LAMPIRAN 4 FOTO HASIL SLUMP TEST.....	118
LAMPIRAN 5 FOTO HASIL PENGUJIAN.....	120



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan populasi penduduk telah lama menjadi masalah untuk Indonesia, sehingga diperlukan lebih banyak infrastruktur untuk memenuhi dan menyejahterakan kebutuhan masyarakat. Proses pembangunan infrastruktur sendiri tidak terlepas dari berbagai macam material yang digunakan, terutama material beton sebagai material struktur. Dari berbagai macam material yang dapat digunakan, beton paling sering digunakan karena mudah dibuat menjadi beragam bentuk, berkekuatan struktur yang baik, harga terjangkau, dan tahan terhadap suhu tinggi.

Pada dasarnya, beton terdiri dari campuran agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah) dengan air dan semen sebagai *binder* atau bahan pengikat, sehingga kekuatan beton sangat ditentukan dari kualitas *mix design* yang baik. Namun, penggunaan beton secara berlebihan dengan menggunakan agregat alami dapat merusak ekosistem sehingga diperlukan pemanfaatan bahan dasar alternatif, salah satunya adalah limbah lumpur Sidoarjo yang masih menjadi masalah penduduk Sidoarjo sampai saat ini.

Kegagalan pada pengeboran minyak bumi pada tanggal 29 Mei 2006 mengakibatkan munculnya semburan lumpur panas yang menyebabkan setidaknya 8 desa dan 30 pabrik tutup karena terdampak lautan lumpur ini. Menurut IDN Times, lebih dari 25.000 jiwa harus diungsikan, serta lebih dari 600 hektare tanah dengan 1810 rumah, 18 sekolah, 2 kantor, 15 pabrik, 15 masjid, dan mushola (Khusuma, 2016). Lumpur yang disemburkan memiliki kapasitas sebesar 30.000 m³ sampai dengan 80.000 m³ perhari (Lasino dan Setiati, 2017). Sebagai upaya penanggulangannya, lumpur Sidoarjo ini dapat dimanfaatkan sebagai agregat, baik agregat halus maupun kasar.

Dari banyak kelebihan penggunaan beton sebagai material dalam sebuah pembangunan infrastruktur, beton juga memiliki kekurangan seperti rentan terhadap kerusakan struktural berupa retakan yang dapat disebabkan karena

berbagai hal. Retakan pada beton dapat mempengaruhi kekuatan beton dalam menahan beban struktur sehingga banyak inovasi yang dilakukan terhadap beton dalam upaya pencegahan kerusakan lanjut, salah satunya adalah inovasi beton *self-healing* yang dapat menghasilkan beton dengan daya lentur tinggi dan dapat memperbaiki diri sendiri termasuk menutup retakan yang muncul pada beton.

Pada studi eksperimental kali ini, digunakan benda uji balok beton dengan menggunakan lumpur Sidoarjo sebagai agregat kasar dan halus dengan variasi kadar bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai *self-healing agent*. Bakteri *Bacillus Subtilis* akan ditambahkan ke dalam beton sebagai bahan aditif yang akan aktif apabila terdapat kerusakan berupa retakan atau paparan dengan O₂ (Oksigen) dan H₂O (Air) yang akan mendorong bakteri untuk menghasilkan endospora berupa CaCO₃ (Kalsium Karbonat) yang akan menjadi mineral dalam pembuatan adukan semen.

1.2 Inti Permasalahan

Mempelajari pengaruh dari bakteri *Bacillus Subtilis* pada campuran beton *self-healing* terhadap kekuatan lentur beton dengan agregat kasar lumpur Sidoarjo. Kekuatan lentur beton dengan variasi kadar bakteri sebanyak 0%, 1%, 1.5%, dan 2% diuji pada umur 28 dan 56 hari. Dilakukan juga pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* dan *artificial crack test* pada beton dengan variasi kadar bakteri yang sama pada umur 28 hari.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh dari variasi kadar bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap kekuatan lentur pada beton dengan agregat kasar lumpur Sidoarjo.
2. Mengetahui pengaruh dari variasi kadar bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap kecepatan proses *healing* dari *artificial crack* pada beton dengan agregat kasar lumpur Sidoarjo.
3. Mengetahui perbedaan hasil *Ultrasonic Pulse Velocity Test* menggunakan metode *direct*, *semi – direct*, dan *indirect* pada beton dengan agregat kasar lumpur Sidoarjo.

1.4 Pembatasan Penelitian

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran agregat halus yang digunakan adalah pasir Galunggung yang lolos saringan ASTM No. 4 (4,75 mm).
2. Ukuran agregat kasar yang digunakan adalah lumpur Sidoarjo yang telah dibakar menjadi keras yang lolos saringan ASTM No.1 (10 mm).
3. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) merk Tiga Roda.
4. Rasio air terhadap binder (w/b) yang digunakan adalah sebesar 0,568.
5. Kekuatan *mix design* yang direncanakan adalah sebesar 28 MPa.
6. Metode perencanaan *mix design* beton menggunakan SNI-7656 2012 dengan menggunakan perhitungan volume absolut.
7. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *Bacillus Subtilis*.
8. Variasi persentase bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap berat agregat total ditetapkan sebesar 0%; 1%; 1,5%; 2%.
9. *Curing* dilakukan dengan cara merendam benda uji balok beton dalam air.
10. Pengembangbiakkan bakteri *Bacillus Subtilis* di Laboratorium Teknologi Pangan dan Bioproses, Fakultas Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan.
11. Pada pengujian *artificial crack*, *crack* dibuat menggunakan pelat logam dengan ketebalan 0,17 mm yang dipasang tegak lurus dengan kedalaman 50 mm di permukaan balok beton saat pengecoran. Benda uji balok dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 200 mm yang digunakan sebanyak 9 buah.
12. Menguji *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) *Test* pada benda uji balok beton berdimensi 100 mm x 100 mm x 350 mm dengan metode *direct*, *indirect*, dan *semi-direct*.
13. Menguji kekuatan tarik lentur dengan alat *Universal Testing Machine* pada benda uji balok beton berdimensi 100 mm x 100 mm x 350 mm sebanyak 21 buah.

1.5 Metode Penelitian

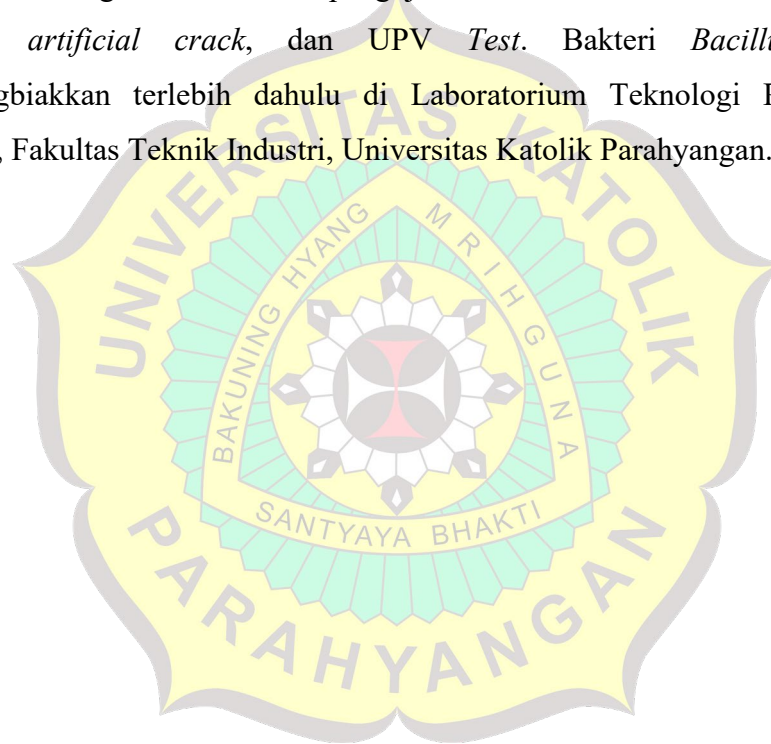
Metode penelitian yang digunakan adalah:

1. Studi Literatur

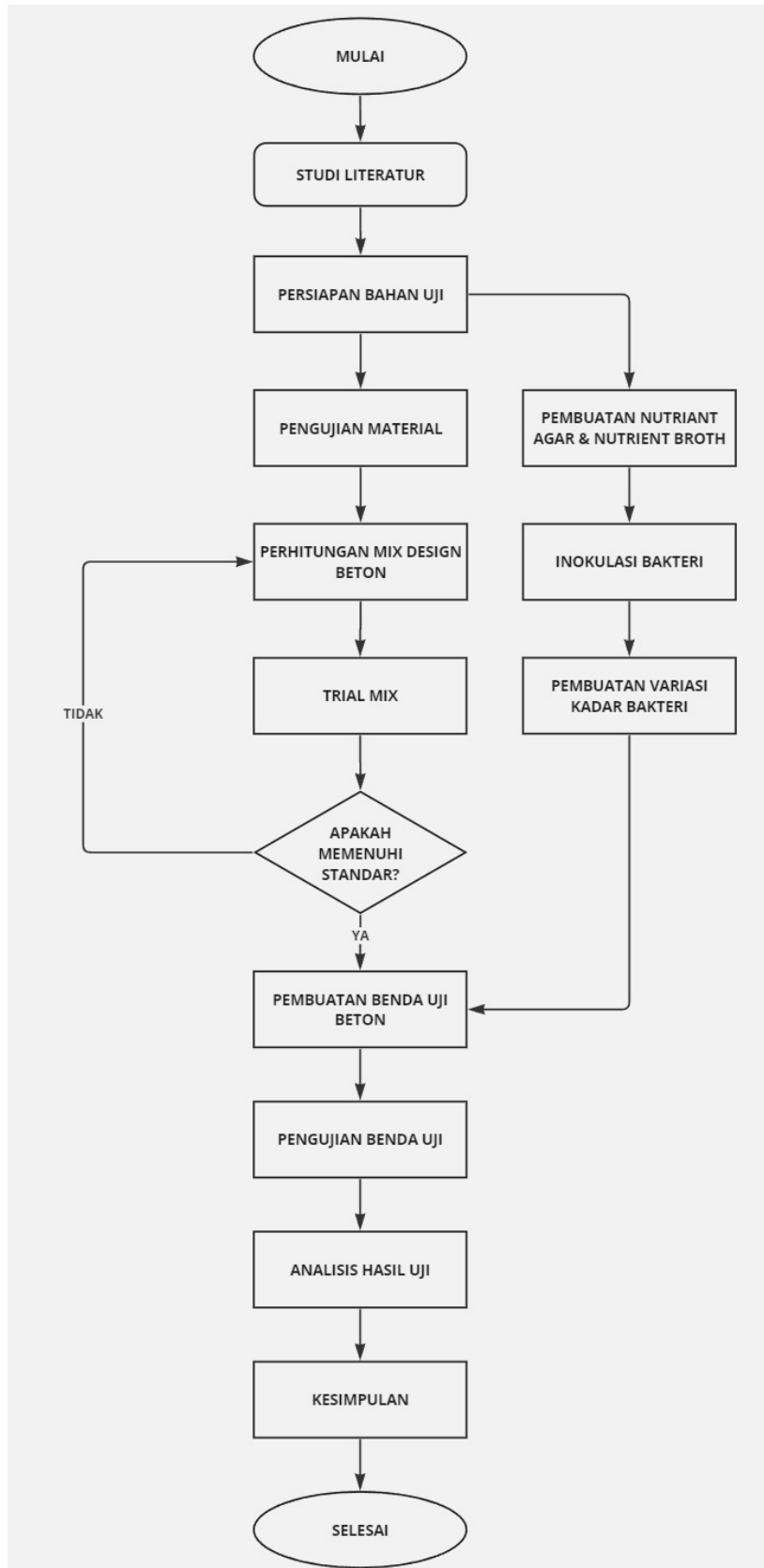
Studi literatur merupakan pengumpulan informasi yang akan digunakan sebagai acuan dan gambaran dalam melaksanakan seluruh proses penelitian. Studi literatur yang digunakan dapat berupa jurnal, buku, paper, internet, dan sebagainya.

2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Katolik Parahyangan dengan melibatkan pengujian kekuatan tarik lentur benda uji, penelitian *artificial crack*, dan UPV *Test*. Bakteri *Bacillus Subtilis* dikembangbiakkan terlebih dahulu di Laboratorium Teknologi Pangan dan Bioproses, Fakultas Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan.



1.6 Diagram Alir



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini dilakukan secara sistematis dalam 5 bab, yaitu:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Studi Pustaka

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

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini membahas mengenai persiapan pengujian, pelaksanaan pengujian, dan pencatatan hasil pengujian.

BAB IV Analisis Data

Bab ini membahas mengenai analisis serta hasil pengujian dan perbandingan hasil pengujian.

BAB V Kesimpulan Dan Saran

Bab ini membahas mengenai kesimpulan dari keseluruhan penulisan dan analisis hasil pengujian serta saran terkait pengujian yang telah dilakukan.

