

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TINGKAT
PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE*
VOIDS MORTAR *SELF-HEALING* DENGAN VARIASI
KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RICHARDO GUSTIN
NPM : 6101901007**

**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
JULI 2023**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TINGKAT
PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE
VOIDS* MORTAR *SELF-HEALING* DENGAN VARIASI
KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***



**RICHARDO GUSTIN
NPM : 6101901007**

BANDUNG, 12 JUNI 2023

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

**Dr. Johannes Adhijoso
Tjondro**

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
JULI 2023**

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TINGKAT PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE* *VOIDS* MORTAR *SELF-HEALING* DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*



NAMA: RICHARDO GUSTIN

NPM: 6101901007

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

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

PENGUJI 1: Herry Suryadi Ph.D

PENGUJI 2: Liyanto Eddy, PhD

**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
JULI 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Richardo Gustin

Tempat, tanggal lahir : Padang, 31 Maret 2001

NPM : 6101901007

Judul skripsi : **STUDI EKSPERIMENTAL TINGKAT**

PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE*

VOIDS MORTAR SELF-HEALING 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 kesarjanaan.

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, 24 Juli 2023



Richardo Gustin

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TINGKAT
PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE VOIDS*
MORTAR *SELF-HEALING* DENGAN VARIASI KADAR
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***

**Richardo Gustin
NPM: 6101901007**

**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
JULII 2023**

ABSTRAK

Konstruksi adalah industri yang sedang berkembang pesat. Mortar adalah salah satu material penting dalam konstruksi. Mortar kuat, kaku, mudah dibentuk, terjangkau, tapi rentan terhadap retak. Salah satu teknologi yang dikembangkan adalah teknologi *self-healing* dengan campuran bakteri *Bacillus subtilis*. Ketika terjadi retak bakteri *Bacillus subtilis* akan mengisi retakan dengan kalsium karbonat. Durabilitas mortar dipengaruhi lingkungan, campuran, proses, dan pekerjaan. Dengan teknologi *self-healing*, mortar dapat memperbaiki diri sendiri dan meningkatkan durabilitas terhadap keretakan dan deformasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis* terhadap tingkat penyerapan air dan VPV pada umur 28 hari. Penelitian ini menggunakan variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis* sebesar 0% (normal); 1%; 1,5%; dan 2% dengan rasio air terhadap *binder* sebesar 0.5 dan perbandingan semen banding pasir sebesar 1:3. Dari pengujian diperoleh *sorptivity ratio* untuk variasi 0%; 1%; 1,5%; dan 2% sebesar 1,234; 1,3958; 1,6765; dan 2,15. Untuk persentase VPV variasi 0%; 1%; 1,5%; dan 2% sebesar 19,16%; 19,28 %; 19,76%; dan 19,82%. Dapat dilihat hubungan *sorptivity ratio* dan nilai VPV berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan, dimana semakin kecil *sorptivity ratio* dan nilai VPV maka akan semakin besar nilai kuat tekan, begitu pula sebaliknya.

Kata Kunci: *Self-healing*, *Bacillus subtilis*, Tingkat penyerapan air, *Volume of Permeable Voids*

EXPERIMENTAL STUDY RATE OF ABSORPTION AND VOLUME OF PERMEABLE VOIDS ON SELF-HEALING MORTAR WITH RATE VARIATION OF BACILLUS SUBTILIS BACTERIA.

Richardo Gustin
NPM: 6101901007

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 Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG
JULY 2023

ABSTRACT

Construction is a rapidly growing industry. Mortar is one of the important materials in construction. Mortar is strong, rigid, easily moldable, affordable, but susceptible to cracking. One of the developed technologies is self-healing technology with a mixture of *Bacillus subtilis* bacteria. When cracks occur, *Bacillus subtilis* bacteria fill the cracks with calcium carbonate. The durability of mortar is influenced by the environment, mixture, process, and workmanship. With self-healing technology, mortar can repair itself and improve durability against cracking and deformation. This study was conducted to determine the effect of varying levels of *Bacillus subtilis* bacteria on water absorption rate and Volume of Permeable Voids (VPV) at 28 days. The study used variations of *Bacillus subtilis* bacteria levels at 0% (normal); 1%; 1.5%; and 2%, with a water-to-binder ratio of 0.5 and a cement-to-sand ratio of 1:3. From the testing, the sorptivity ratio for the variations of 0%; 1%; 1.5%; and 2% were 1,234; 1,3958; 1,6765; and 2,15, respectively. The percentage of VPV for the variations of 0%; 1%; 1.5%; and 2% were 19.16%, 19.28%, 19.76%, and 19.82%, respectively. It can be observed that the sorptivity ratio and VPV values are inversely related to the compressive strength, where smaller sorptivity ratio and VPV values correspond to higher compressive strength, and vice versa.

Keywords: Self-healing, *Bacillus subtilis*, sorptivity, Volume of Permeable Voids

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas semua berkat berupa hikmat, rahmat, kesehatan dan penyertaan-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “STUDI EKSPERIMENTAL PENGUKURAN TINGKAT PENYERAPAN DAN *VOLUME OF PERMEABLE VOIDS* MORTAR *SELF-HEALING* DENGAN VARIASI KADAR BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan program sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa dengan selesainya skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut terlibat ataupun membantu dalam proses penyusunan skripsi hingga selesai, yaitu:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar, baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis; Papa Gustin dan Mama Linda serta saudara penulis; Cynthia yang senantiasa memberi doa, perhatian, motivasi, dan kesabaran yang tidak pernah ada habisnya kepada penulis.
3. 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 membimbing, memberi saran dan wawasan, serta masukan kepada penulis dalam proses penulisan skripsi ini maupun saat perkuliahan.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Judy Retti B. Witono, M. App. Sc. Selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Proses dan Produk Pangan Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ijin penggunaan laboratorium untuk melakukan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

5. Ibu Lusiana Silvia selaku laboran di Laboratorium Rekayasa Proses dan Produk Pangan Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah senantiasa membantu, mengajarkan, dan memberikan arahan selama penelitian yang dilakukan penulis di laboratorium.
6. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustadi yang telah membantu dan memberikan arahan dalam persiapan material dan pengujian yang dilakukan penulis di Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
7. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan kritik, saran, ilmu serta waktu dan usaha untuk dapat hadir saat seminar judul, seminar isi, dan sidang.
8. Anastasia Tasib, Michael Prasetio, Rivan Nibrasy Milano, Robertus Rifael dan Ryan Suheil Milano yang telah menjadi sahabat terbaik bagi penulis. Terima kasih atas canda, riang, dan tawa yang selama ini telah diberikan kepada penulis. Terima kasih sudah setia menjadi sahabat penulis hingga detik ini. Terima kasih juga atas dukungan, motivasi, dan semangat yang diberikan kepada penulis selama ini.
9. Christine Kieswanti dan Felicia Kelvianti selaku teman dekat penulis yang telah menemani dan memberikan hiburan serta berbagi cerita kepada penulis selama penulisan skripsi dan selama masa perkuliahan.
10. Andreas Lukito dan Mario Santos selaku teman seperjuangan dalam melakukan penelitian mortar *self-healing* yang telah membantu dan saling bekerja sama selama proses penelitian dan pengerjaan skripsi.
11. Felicia Kelvianti, Theresia Agustina, Nathanael Calvin, Silvia, Athaya Kaustsara M.S, dan Albert Susanto selaku teman-teman seperjuangan skripsi studi eksperimental yang senantiasa saling membantu dan bekerja sama dalam persiapan, pengujian, dan penyusunan skripsi ini.
12. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2019 atas kebersamaannya selama masa perkuliahan.

13. Semua pihak yang telah memberikan waktu, usaha, dan kontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis menerima saran dan masukan yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk penelitian maupun penerapan di masa yang akan datang.

Bandung, 11 Juli 2023

TANDA TANGAN



Richardo Gustin
Richardo Gustin
6101901007

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Tahapan Penelitian	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Mortar	7
2.2 Semen	8
2.3 Agregat Halus	9
2.4 Air	10

2.5 Mortar <i>Self-Healing</i>	11
2.5.1 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	12
2.5.2 Larutan Bakteri.....	13
2.5.3 <i>Nutrient Agar</i>	13
2.5.4 <i>Nutrient Broth</i>	14
2.5.5 Metode Pengkulturan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	15
2.5.6 Metode Perhitungan Konsentrasi Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	16
2.6 Pengujian Material Campuran Mortar <i>Self-Healing</i>	18
2.6.1 Pengujian Specific Gravity Agregat Halus	18
2.6.2 Pengujian Specific Gravity Semen	19
2.6.3 Pengujian Absorpsi Agregat Halus	20
2.6.4 Pengujian <i>Fineness Modulus</i> (Modulus Kehalusan).....	20
2.7 <i>Mix Design Self-Healing</i> dengan Metode Volume Absolut.....	21
2.8 Perawatan Mortar (<i>Curing</i>).....	24
2.9 Uji Flowability	25
2.10 Uji <i>Volume of Permeable Voids</i>	26
2.11 Uji Tingkat Penyerapan Air (Uji <i>Sorptivity</i>).....	27
BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN	29
3.1 Properti Material Campuran Mortar <i>Self-Healing</i>	29
3.1.1 Semen.....	29
3.1.2 Agregat Halus.....	29
3.1.3 Air	30
3.1.4 Air Aquades	30
3.1.5 NaOH	31
3.1.6 <i>Nutrient Agar</i>	32
3.1.7 <i>Nutrient Broth</i>	32

3.1.8 Kalsium Asetat	32
3.1.9 Urea	33
3.1.10 Barium Klorida Dihydrate (BaCl ₂)	34
3.1.11 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	34
3.1.12 Larutan <i>McFarlan</i>	34
3.2 Benda Uji	35
3.3 Pengujian Karakteristik Material Campuran Mortar <i>Self-Healing</i>	35
3.3.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	36
3.3.2 Pengujian <i>Specific Gravity Semen</i>	37
3.3.3 Pengujian Absorpsi Agregat Halus	38
3.3.4 Pengujian Modulus Kehalusan (<i>Finenes Modulus</i>) Agregat Halus	38
3.4 Pembuatan Material	40
3.4.1 Pembuatan Media Bakteri	40
3.4.2 Pembuatan <i>Nutrient Agar</i>	40
3.4.3 Pembuatan <i>Nutrient Broth</i>	43
3.4.4 Pembuatan Isolat Bakteri	46
3.4.5 Pembuatan Larutan Bakteri.....	49
3.4.6 Pembuatan Larutan Urea dan Kalsium Asetat	52
3.5 Pengujian Konsentrasi Larutan Bakteri	53
3.5.1 Peralatan	54
3.5.2 Bahan	55
3.5.3 Pengujian konsentrasi bakteri.....	57
3.6 Trial Mix	60
3.7 Proporsi Campuran (<i>Mix Design</i>) Mortar <i>Self-Healing</i>	62
3.8 Pembuatan Benda Uji.....	63
3.8.1 Prosedur Pengecoran (<i>Mixing</i>).....	64

3.8.2 Pengujian <i>Flowability</i> Mortar	68
3.8.3 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	70
3.9 Pengujian Benda Uji	73
3.9.1 Pengujian Volume of Permeable Voids	74
3.9.2 Pengujian Tingkat Penyerapan Air (Uji <i>Sorptivity</i>).....	78
3.9.2.1 Pengukuran Panjang dan Lebar Benda Uji	82
3.9.2.2 Pengukuran Berat Benda Uji.....	82
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	84
4.1 Analisis Berat Jenis Benda Uji.....	84
4.2 Analisis Pengujian <i>Volume of Permeable Voids</i>	85
4.3 Analisis Pengujian Tingkat Penyerapan Air (<i>Sorptivity</i>).....	88
4.3.1 Analisis Pengujian <i>Sorptivity</i> Variasi Mortar Normal	88
4.3.2 Analisis Pengujian <i>Sorptivity</i> Variasi 1% Bakteri	92
4.3.3 Analisis Pengujian <i>Sorptivity</i> Variasi 1,5% Bakteri	96
4.3.4 Analisis Pengujian <i>Sorptivity</i> Variasi 2% Bakteri	100
4.3.5 Analisis Hubungan Tingkat Penyerapan dengan Waktu (\sqrt{t}) Untuk Setiap Variasi	104
4.3.6 Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan dan <i>Sorptivity Ratio</i> dengan Variasi Benda Uji	105
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	112
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN <i>MIXED DESIGN</i>	118
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN KONSENTRASI BAKTERI	127



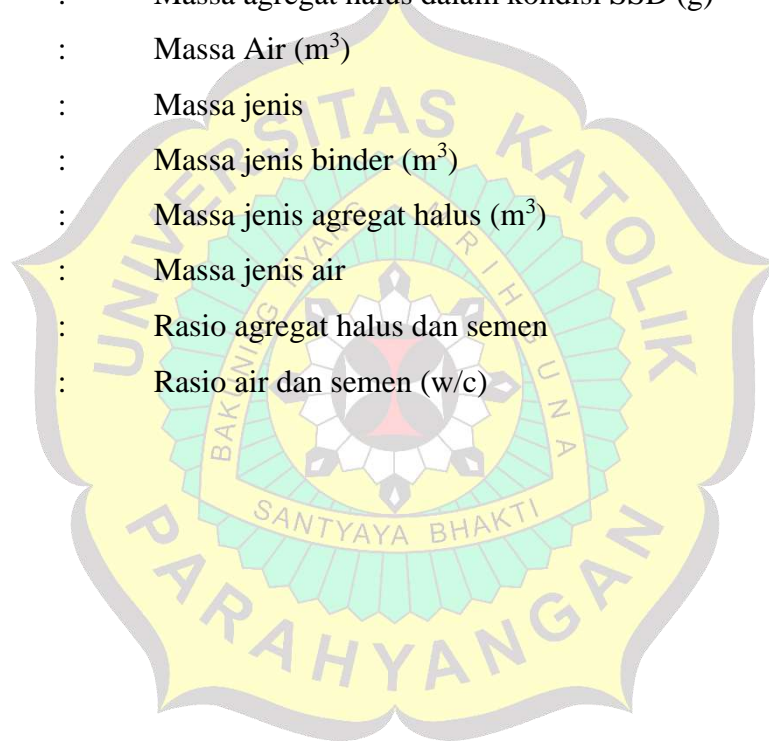
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Tuliskan seluruh notasi (terutama yang tidak umum) yang Anda gunakan dalam penulisan skripsi ini. Urutkan sesuai abjad dan notasi berupa simbol latin diletakkan pada posisi paling akhir.

$^{\circ}\text{C}$:	Derajat Celcius
μm	:	mikro meter
A	:	Luas Daerah Aliran Sungai (km^2)
a	:	Luas permukaan yang bersentuhan dengan air (mm^2)
A	:	Massa benda uji dalam kondisi kering oven (g)
Al_2O_3	:	Aluminium Oksida
ASTM	:	<i>American Society for Testing and Material</i>
BaCl_2	:	Barium Klorida Dihydrate
C	:	Massa benda uji di dalam kondisi SSD setelah direndam dan direbus (g)
Ca	:	Kalsium
$Ca\text{CO}_3$:	Kalsium Karbonat
CaO	:	Kalsium Oksida
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$:	Urea
CO_3^{2-}	:	Karbonat Radikal
D	:	Massa benda uji di dalam air dalam kondisi SSD setelah direbus (g)
Fe_2O_3	:	Ferri Oksida
FM	:	<i>Fineness Modulus</i>
g_1	:	<i>Bulk density, dry</i> (g/cm^3)
g_2	:	<i>Apparent density</i> (g/cm^3)
H_2O	:	Air
H_2SO_4	:	Asam Sulfat
I	:	Tingkat penyerapan air (mm)
In	:	Inch
m	:	meter
M	:	Molar

M_0	:	Massa labu + minyak (g)
M_b	:	Massa labu + minyak tanah + semen (g)
ml	:	mili meter
mm	:	mili meter
MPa	:	Megapascal
m_t	:	Perubahan massa benda uji dalam gram, tiap interval waktu
NA	:	<i>Nutrient Agar</i>
NaOH	:	Natrium Hidroksida
NB	:	<i>Nutrient Broth</i>
NH^+	:	Ion Ammonia
nm	:	nano meter
No.	:	Nomor
O_2	:	Oksigen
OD	:	<i>Oven Dry</i>
PCC	:	<i>Portland Composite Cement</i>
pH	:	<i>Potential Hydrogen</i>
PSI	:	<i>Pound Per Square Inch</i>
RPM	:	<i>Revolution Per Minute</i>
SG	:	<i>Specific Gravity</i>
SG_c	:	<i>Specific gravity semen</i>
SG_{fa}	:	<i>Specific gravity agregat halus</i>
SiO_2	:	Silikon Dioksida
SNI	:	Standar Nasional Indonesia
SSD	:	<i>Saturated Surface Dry</i>
V	:	Volume
V	:	Volume minyak tanah yang berpindah setelah ditambah semen (cm ³)
V_b	:	Volume binder (m ³)
V_{fa}	:	Volume agregat halus (m ³)
VPV	:	<i>Volume of Permeable Voids</i>
V_w	:	Volume Air (m ³)
W	:	Massa

W/B	:	Water to binder ratio
W/C	:	Water to cement ratio
W_{0D}	:	Massa agregat halus dalam kondisi OD (g)
W_b	:	Massa binder (m^3)
W_{fa}	:	Massa agregat halus (m^3)
$W_{pcy,SSD}$:	Massa <i>pcynometer</i> + air + agregat halus pada kondisi SSD (g)
W_{pyc}	:	Massa <i>pcynometer</i> + air hingga batas kalibrasi (g)
W_{SSD}	:	Massa pasir dalam kondisi SSD (g)
W_{SSD}	:	Massa agregat halus dalam kondisi SSD (g)
W_w	:	Massa Air (m^3)
ρ	:	Massa jenis
ρ_b	:	Massa jenis binder (m^3)
ρ_{fa}	:	Massa jenis agregat halus (m^3)
ρ_w	:	Massa jenis air
γ	:	Rasio agregat halus dan semen
λ	:	Rasio air dan semen (w/c)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir.....	6
Gambar 2. 1 <i>Sieve Shaker</i>	21
Gambar 2. 2 Water Curing	25
Gambar 2. 3 Electric Flow Table.....	26
Gambar 2. 4 Skema Pengujian Sorptivity (ASTM C1585-04).....	28
Gambar 3. 1 Semen PCC.....	29
Gambar 3. 2 Agregat Halus	30
Gambar 3. 3 Air.....	30
Gambar 3. 4 Air Aquades	31
Gambar 3. 5 NaOH 1M	31
Gambar 3. 6 Nutrient Agar	32
Gambar 3. 7 Nutrient Broth.....	32
Gambar 3. 8 Kalsium Asetat.....	33
Gambar 3. 9 Urea.....	33
Gambar 3. 10 Barium Klorida Dihydrate	34
Gambar 3. 11 Peralatan dan Gelas Kimia untuk Pembuatan Wadah Bakteri.....	40
Gambar 3. 12 Penimbangan Nutrient Agar	41
Gambar 3. 13 Pemeriksaan pH dari Air Aquades	41
Gambar 3. 14 Proses Pengadukan dan Pemanasan dengan Magnetic Stirrer.....	42
Gambar 3. 15 Memasukkan Nutrient Agar Kedalam Tabung Reaksi.....	42
Gambar 3. 16 Proses Sterilisasi Menggunakan Autoclave.....	43
Gambar 3. 17 Pemiringan Nutrient Agar.....	43
Gambar 3. 18 Penimbangan Nutrient Broth	44
Gambar 3. 19 Pengadukan Nutrient Broth	45
Gambar 3. 20 Penutupan Nutrient Broth Sebelum Dimasukkan ke Autoclave...	45
Gambar 3. 21 Sterilisasi Menggunakan Autoclave	46
Gambar 3. 22 Disinfeksi Loop Ose	47
Gambar 3. 23 Pembakaran Ujung Tabung Reaksi	47
Gambar 3. 24 Pengambilan Bakteri Dengan Loop Ose	48
Gambar 3. 25 Proses Inkubasi Dengan Inkubator	49

Gambar 3. 26 Isolat Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Setelah 24 Jam.....	49
Gambar 3. 27 Isolat Bakteri dan Nutrient Broth	50
Gambar 3. 28 Pengambilan Bakteri dari Isolat.....	50
Gambar 3. 29 Pembakaran Ujung Gelas Erlenmeyer.....	51
Gambar 3. 30 Melarutkan Bakteri Ke Nutrient Broth.....	51
Gambar 3. 31 Suhu dan Kecepatan Shaking Inkubator.....	52
Gambar 3. 32 Shaking Inkubator.....	52
Gambar 3. 33 Bubuk Urea dan Bubuk Kalsium Asetat.....	53
Gambar 3. 34 Larutan Urea dan Kalsium Asetat.....	53
Gambar 3. 35 Peralatan Uji Konsentrasi Bakteri	54
Gambar 3. 36 Spektrofotometri.....	54
Gambar 3. 37 Mikropipet	55
Gambar 3. 38 Pengambilan H_2SO_4	56
Gambar 3. 39 Pencampuran Larutan H_2SO_4 Dengan Air.....	57
Gambar 3. 40 Blanko Bakteri	58
Gambar 3. 41 Absorban Larutan McFarland.....	59
Gambar 3. 42 Absorban Bakteri.....	60
Gambar 3. 43 Cetakan yang Dilumasi Minyak.....	64
Gambar 3. 44 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> , Urea, dan Kalsium Asetat.....	65
Gambar 3. 45 Proses Dry Mix.....	65
Gambar 3. 46 Proses Pengadukan Setelah Dimasukkan Air, Bakteri, Urea, dan Kalsium Asetat.....	66
Gambar 3. 47 Uji Flowability.....	66
Gambar 3. 48 Proses Pemasukkan Campuran ke Dalam Cetakan	67
Gambar 3. 49 Penutupan Cetakan Dengan Plastic Wrap	67
Gambar 3. 50 Proses Water Curing.....	68
Gambar 3. 51 Proses Penumbukan $\frac{1}{2}$ Mini Slump Cone	69
Gambar 3. 52 Pengisian Mini Slump Cone Hingga Penuh Kemudian Diratakan.....	69
Gambar 3. 53 Pengukuran Diameter	70
Gambar 3. 54 Kontainer untuk Water Curing	71
Gambar 3. 55 Pengapuran yang Terjadi ketika Water Curing	71
Gambar 3. 56 Pengapuran pada Benda Uji Mortar Self-Healing.....	72

Gambar 3. 57 Benda Uji Setelah Dibersihkan.....	72
Gambar 3. 58 Lapisan Kapur yang Muncul Kembali Setelah Dibersihkan	73
Gambar 3. 59 Benda Uji VPV dalam Desikator.....	74
Gambar 3. 60 Benda Uji VPV Setelah Mencapai Suhu Ruangan	75
Gambar 3. 61 Benda Uji VPV Direndam Selama Tidak Kurang dari 48 Jam	75
Gambar 3. 62 Perebusan Benda Uji VPV pada Suhu 200 °C.....	76
Gambar 3. 63 Penimbangan Berat Benda Uji di dalam Air	77
Gambar 3. 64 Pengelupasan pada Lapisan Kapur Setelah Dikeluarkan dari Oven	77
Gambar 3. 65 Chamber.....	78
Gambar 3. 66 Suhu & Humidity di dalam Chamber	79
Gambar 3. 67 Lem Epoxy yang Digunakan	79
Gambar 3. 68 Benda Uji Sorptivity Setelah Dilapisi Lem Epoxy, Plastic Wrap, dan Selotip Listrik.....	79
Gambar 3. 69 Wadah dan Batangan Plastik untuk Pengujian Sorptivity	80
Gambar 3. 70 Pengukuran Initial Absorption.....	81
Gambar 3. 71 Pengujian Sorptivity	81
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Volume of Permeable Voids (VPV) terhadap Variasi Benda Uji	86
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Volume of Permeable Voids dengan Variasi Benda Uji	87
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0.5}$) Variasi Normal (Benda Uji 1)	90
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0.5}$) Variasi Normal (Benda Uji 2)	90
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0.5}$) Variasi Normal (Benda Uji 2)	91
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air Rata-Rata (I) Terhadap Waktu ($s^{0.5}$) Variasi Normal.....	91
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0.5}$) Variasi Bakteri 1% (Benda Uji 1)	94

Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 1% (Benda Uji 2)	94
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 1% (Benda Uji 3)	95
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air Rata-Rata (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi 1% Bakteri	95
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 1,5% (Benda Uji 1)	98
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 1,5% (Benda Uji 2)	98
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 1,5% (Benda Uji 3)	99
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air Rata-Rata (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi 1,5% Bakteri	99
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 2% (Benda Uji 1)	102
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 2% (Benda Uji 2)	102
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi Bakteri 2% (Benda Uji 3)	103
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Tingkat Penyerapan Air Rata-Rata (I) Terhadap Waktu ($s^{0,5}$) Variasi 2% Bakteri	103
Gambar 4. 19 Hubungan Tingkat Penyerapan (Initial Absorption) dengan waktu ($s^{0,5}$) untuk Setiap Variasi	104
Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Sorptivity Ratio dengan Variasi Benda Uji	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Rekapitulasi Benda Uji Volume of Permeable Voids	4
Tabel 1. 2	Rekapitulasi Benda Uji Tingkat Penyerapan.....	4
Tabel 2. 1	Persen Lolos Agregat Halus (ASTM C33).....	10
Tabel 2. 2	McFarland Standard	18
Tabel 3. 1	Jenis Benda Uji.....	35
Tabel 3. 2	Jumlah dan Rincian Benda Uji.....	35
Tabel 3. 3	Hasil Pengujian Specific Gravity Agregat Halus	36
Tabel 3. 4	Hasil Pengujian Specific Gravity Semen	37
Tabel 3. 5	Hasil Pengujian Absorpsi Agregat Halus.....	38
Tabel 3. 6	Hasil Pengujian Fineness Modulus Agregat Halus	39
Tabel 3. 7	Kebutuhan Aktual Trial Mix Variasi I.....	61
Tabel 3. 8	Kebutuhan Aktual Trial Mix Variasi II.....	61
Tabel 3. 9	Proporsi Kebutuhan Aktual Campuran Mortar Normal	62
Tabel 3. 10	Proporsi Kebutuhan Aktual Campuran Mortar Bakteri 1%	63
Tabel 3. 11	Proporsi Kebutuhan Aktual Campuran Mortar Bakteri 1,5%	63
Tabel 3. 12	Proporsi Kebutuhan Aktual Campuran Mortar Bakteri 2%	63
Tabel 3. 13	Hasil Pengujian Flowability Mortar	70
Tabel 3. 14	Hasil Pengukuran Panjang dan Lebar Benda Uji.....	82
Tabel 3. 15	Hasil Pengukuran Berat Benda Uji	83
Tabel 4. 1	Berat Jenis Mortar untuk Semua Variasi.....	84
Tabel 4. 2	Hasil Pengujian Volume of Permeable Voids (VPV)	85
Tabel 4. 3	Kekuatan Tekan (Sumber: Skripsi Andreas Lukito dengan Judul Studi Kekuatan Tekan dan Modulus Elastisitas Mortar Self-Healing dengan Variasi Kadar Bakteri Bacillus Subtilis).....	87
Tabel 4. 4	Hasil Pengujian Sorptivity pada Variasi Mortar Normal	89
Tabel 4. 5	Hasil Pengujian Sorptivity pada Variasi 1% Bakteri	93
Tabel 4. 6	Hasil Pengujian Sorptivity pada Variasi 1,5% Bakteri	97
Tabel 4. 7	Hasil Pengujian Sorptivity pada Variasi 2% Bakteri	101
Tabel 4. 8	Hasil Pengujian Tingkat Penyerapan Air dan Sorptivity Ratio untuk Setiap Variasi Benda Uji.....	105

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	112
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN <i>MIXED DESIGN</i>	118
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN KONSENTRASI BAKTERI	127
LAMPIRAN 4 FOTO PENGUJIAN BENDA UJI.....	129



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini konstruksi merupakan hal yang sangat berkembang pesat dan banyak teknologi yang turut dikembangkan. Dalam pelaksanaan konstruksi itu sendiri dibutuhkan berbagai macam material. Salah satu material penting dan yang paling sering digunakan dalam konstruksi itu sendiri adalah mortar. Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu, sehingga kualitas mortar sangat ditentukan oleh kualitas bahan susunnya. Oleh karena itu untuk memperoleh mortar yang baik, maka harus memilih bahan penyusun yang berkualitas juga (Asroni, 2010).

Mortar ini banyak digunakan sebagai material dalam konstruksi dikarenakan memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi, mudah dibentuk dan murah. Selain memiliki keunggulan-keunggulan seperti diatas, material ini mempunyai beberapa kekurangan diantaranya adalah lemah dalam menahan tarik. Mortar yang lemah terhadap gaya tarik menjadi penyebab utama terjadinya retak pada bangunan. Seiring dengan perkembangannya teknologi maka ditemukanlah teknologi *self-healing* yang dapat diterapkan baik pada beton maupun mortar, dimana dengan teknologi *self-healing* ini dapat menghasilkan beton atau mortar dengan daya lentur tinggi dan disatu sisi dapat memperbaiki diri sendiri sehingga dapat mengatasi masalah keretakan dan deformasi pada beton dan mortar.

Pada penelitian ini, agen *self-healing* yang digunakan adalah bakteri *Bacillus subtilis*. Cara kerja bakteri *Bacillus subtilis* sebagai agen mortar *self-healing* ini adalah ketika terjadi kerusakan berupa crack atau retak, kemudian retak tersebut mengenai enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis*. Maka secara perlahan enkapsulasi dari bakteri *bacillus subtilis* tersebut akan mengisi bagian yang retak dari mortar tersebut dengan cara menumbuhkan endospora yang dipicu atau dibantu

oleh oksigen O₂ dan air H₂O. Endospora yang dikeluarkan ini berupa CaCO₃ (Kalsium Karbonat), dimana kalsium karbonat ini berguna sebagai salah satu mineral yang digunakan pada pembuatan adukan semen.

Durabilitas beton adalah kemampuan beton untuk bertahan terhadap kondisi lingkungan seperti cuaca, serangan kimia, dan abrasi tanpa ada kerusakan yang signifikan selama masa layannya (Olivia, 2011). Durabilitas dari beton atau mortar selain disebabkan oleh lingkungan, durabilitas ini juga dapat dipengaruhi kualitas campuran mortar, proses pembuatan campuran mortar, dan pelaksanaan pekerjaannya. Durabilitas dari mortar dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap tingkat penyerapan air dan *Volume of Permeable Voids* (VPV) pada mortar.

Pada studi eksperimental kali ini lebih berfokus kepada penelitian material beton, dimulai pada level mortar. Pada mortar *self-healing* ini akan dilakukan pengujian terhadap tingkat penyerapan air dan *Volume of Permeable Voids* (VPV) dari mortar dengan bahan tambahan bakteri *Bacillus subtilis* dengan melakukan pengujian pada saat mortar mencapai umur 28 hari.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi kadar bakteri *bacillus subtilis* sebagai bahan tambah pada campuran mortar *self-healing* terhadap tingkat penyerapan air dan *Volume of Permeable Voids* (VPV).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari durabilitas mortar dengan mengukur tingkat penyerapan air pada mortar *self-healing* dengan variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis*.
2. Mempelajari durabilitas mortar dengan mengukur *Volume of Permeable Voids* (VPV) pada mortar *self-healing* dengan variasi kadar bakteri *Bacillus subtilis*.

1.4 Pembatasan Masalah

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. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) merk semen tiga roda.
3. Rasio air terhadap binder (w/b) yang digunakan adalah sebesar 0.5.
4. Mixed design mortar akan dilakukan dengan menggunakan semen:pasir yaitu 1:3.
5. Dimensi benda uji mortar yaitu kubus ukuran 50 x 50 x 50 mm dan balok ukuran 50 x 50 x 200 mm.
6. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *bacillus subtilis*.
7. Variasi persentase bakteri *bacillus subtilis* terhadap agregat halus ditetapkan sebesar 0% (normal); 1%; 1,5 %; 2%.
8. Curing untuk mortar dilakukan dengan cara direndam dengan air.
9. Perencanaan campuran mortar menggunakan metode volume absolut.
10. Pengujian tingkat penyerapan air diuji pada benda uji kubus dengan dimensi 50 x 50 x 50 mm dimana data diambil pada 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 menit untuk menentukan *initial absorption* dan setelah itu pengambilan data satu hari sekali hingga 7 hari untuk menentukan *secondary absorption* sesuai dengan ASTM C1585.
11. *Volume of permeable voids* mortar diuji pada benda uji balok dengan dimensi 50 x 50 x 200 mm yang diuji pada saat mortar mencapai umur 28 hari sesuai dengan ASTM C642.
12. Jumlah total benda uji adalah sebanyak 24 benda uji dengan jumlah benda uji kubus sebanyak 12 buah dan jumlah benda uji balok sebanyak 12 buah juga seperti yang terlihat pada **Tabel 1.1.** dan **Tabel 1.2.**
13. Pengembangbiakkan bakteri *Bacillus subtilis* di laboratorium Fakultas Teknik Kimia Universitas Khatolik Parahyangan.

Tabel 1. 1 Rekapitulasi Benda Uji *Volume of Permeable Voids*

Jumlah Benda Uji Tingkat Penyerapan Air						
Umur Pengujian	Jenis Mortar	Variasi Kadar Bakteri				Total Benda Uji
		0%	1%	1,50%	2%	
28	Mortar Normal	3	-	-	-	3
	Mortar Selfhealing	-	3	3	3	9
Total Benda Uji Tingkat Penyerapan Air						12

Tabel 1. 2 Rekapitulasi Benda Uji Tingkat Penyerapan

Jumlah Benda Uji Volume of Permeable Voids						
Umur Pengujian	Jenis Mortar	Variasi Kadar Bakteri				Total Benda Uji
		0%	1%	1,50%	2%	
28	Mortar Normal	3	-	-	-	3
	Mortar Selfhealing	-	3	3	3	9
Total Benda Uji Volume of Permeable Voids						12

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah :

1. Studi Literatur

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

2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan di laboratorium struktur dengan melakukan persiapan material, pembuatan, dan pengujian benda uji. Studi eksperimental dilakukan dengan melakukan pengujian tingkat penyerapan air dan *Volume of Permeable Voids* pada mortar *self-healing*.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini akan membahas mengenai landasan dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian pada skripsi ini.

BAB III Persiapan Dan Pelaksanaan Pengujian

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

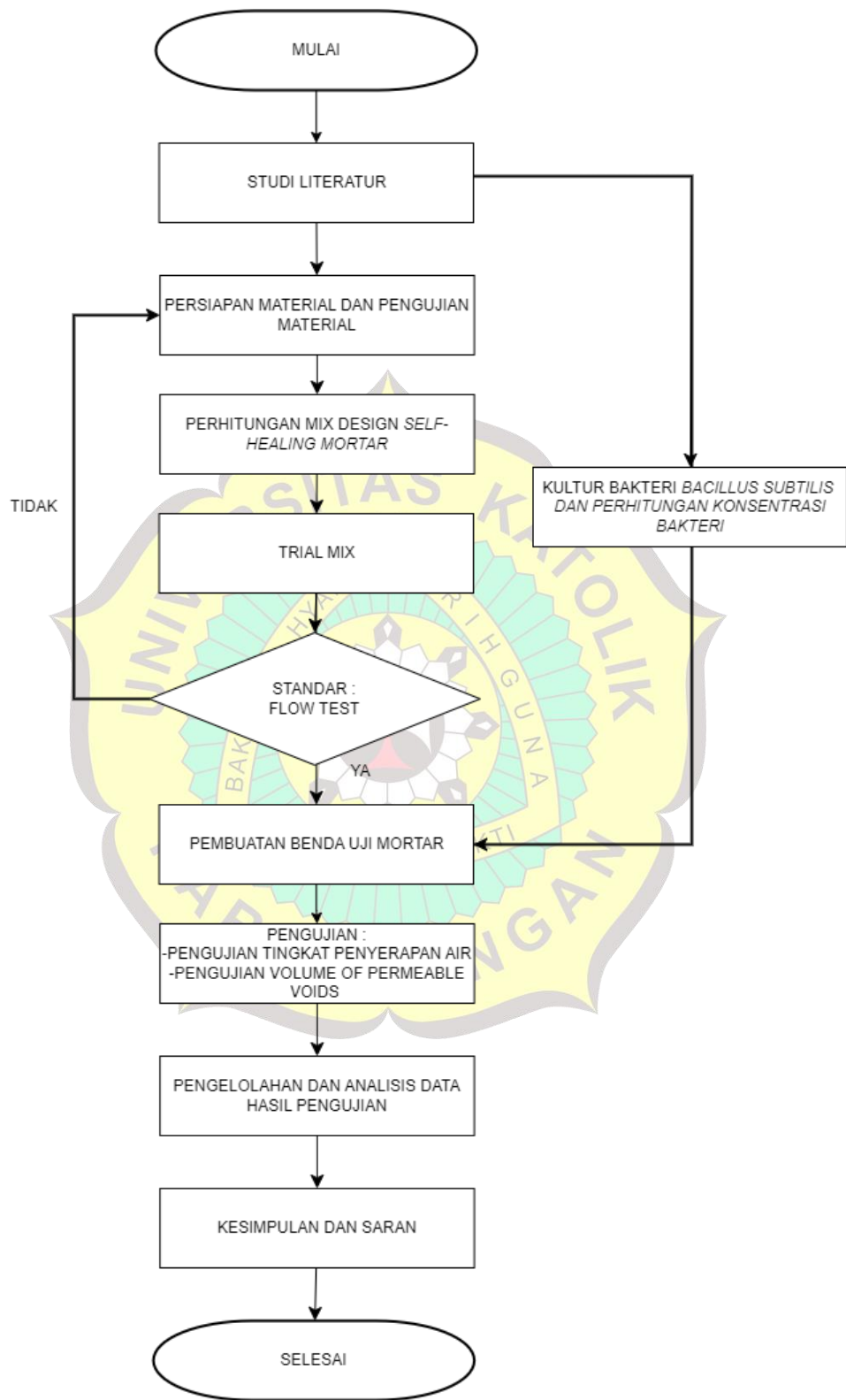
BAB IV Analisis Data Dan Pembahasan

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

BAB V Kesimpulan Dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan penulisan dan pengujian yang berasal dari hasil analisis perhitungan, serta berisi saran dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

1.7 Tahapan Penelitian



Gambar 1. 1 Diagram Alir