

**SKRIPSI**  
**ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF-**  
***HEALING CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI***  
***BACILLUS SUBTILIS***



**OLIE STIAWAN RANDY**  
**03011181520037**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

**SKRIPSI**  
**ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF-  
HEALING CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI  
*BACILLUS SUBTILIS***

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLIE STIAWAN RANDY  
03011181520037**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

### **ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF-HEALING CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***

#### **SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**OLIE STIAWAN RANDY**

**03011181520037**

Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil,



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah ini berupa skripsi dengan judul “Analisa Perbandingan Kuat Tekan *Self-Healing Concrete* Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis*” telah dipertahankan dihadapan tim penguji tim penguji karya tulis ilmiah Jurusan Teknik Sipil Sriwijaya pada tanggal 18 Juli 2019.

Indralaya, 18 Juli 2019

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa skripsi:

Ketua:

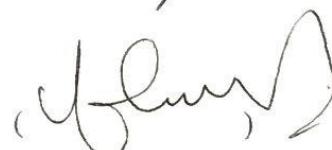
1. Dr. Rosidawani, S.T., M.T.  
NIP 1976050920000122001

(  )

2. Dr. Ir. Hanafiah, M.S.  
NIP 195603141985031002

(  )

3. Ir. Yakni Idris, M.Sc., MSCE  
NIP 195812111987031002

(  )

4. Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng.  
NIP 195604241990031001

(  )

5. Dr. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T  
NIP 197705172008012039

(  )



## PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Olie Stiawan Randy

NIM : 03011181520037

Judul Skripsi : ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF-HEALING  
CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil dari penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Indralaya, Juli 2019



Olie Stiawan Randy

NIM. 03011181520037

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Penyusunan proposal ini terdapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu, ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, dan saudara untuk doa, semangat dan nasihat yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Ir. Subryer Nasir, M.S., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Helmi Hakki, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil yang telah turut membantu dan mengarahkan dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Rosidawani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dalam menyusun laporan tugas akhir ini.
6. Hidayat, Davis, Juliasi, dan Tri El sebagai teman teman yang telah membantu sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Selvi Adrianti sebagai penyemangat mengerjakan laporan tugas akhir ini.
8. Apartemen Company yang telah menemani hari-hari berat saat mengerjakan laporan tugas akhir ini
9. Rekan Teknik Sipil Angkatan 2015 yang memberikan saran dan semangat dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua yang membaca dan bagi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Indralaya, Juli 2019

Olie Stiawan Randy

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman.....	i
Halaman Pernyataan Integritas.....	ii
Halaman Pengesahan.....	iii
Halaman Persetujuan.....	iv
Berita Acara.....	v
Halaman Persetujuan Publikasi.....	vi
Riwayat Hidup.....	vii
Ringkasan.....	viii
<i>Summary</i> .....	ix
Kata Pengantar.....	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel.....	xvi
 <b>1. PENDAHULUAN .....</b>	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.5. Metode Pengumpulan Data.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
 <b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	 6
2.1. <i>Self-Healing Concrete (SHC)</i> .....	6
2.1.1. Kemampuan penyembuhan diri pada beton.....	6
2.1.2. Mekanisme penambahan bakteri ke dalam beton.....	7
2.1.3. Mekanisme pembentukan CaCO <sub>3</sub> pada SHC.....	8
2.1.4. Viabilitas bakteri pada SHC.....	10
2.1.5. Pengaruh bakteri terhadap kuat tekan beton.....	10

2.1.6. Pengaplikasian SHC.....	12
2.2. Material Penyusun SHC.....	13
2.2.1. Semen.....	13
2.2.2. Air.....	14
2.2.3. Agregat.....	16
2.2.4. Bakteri sebagai bahan tambahan beton.....	19
2.3. Faktor yang Mempengaruhi SHC.....	23
2.3.1. Faktor air semen.....	23
2.3.2. Kualitas agregat halus.....	24
2.3.3. Kualitas agregat kasar.....	25
2.3.4. Metode perawatan pada beton.....	25
2.4. Pengujian Material.....	26
2.4.1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.....	26
2.4.2. Pengujian bahan organik dalam agregat halus.....	28
2.4.3. Pengujian kadar lumpur .....	29
2.4.4. Pengujian gradasi pada agregat.....	29
2.5. Pengujian Bakteri.....	29
2.5.1. Pengujian Hemasitometer.....	29
2.5.2. Pengujian mikroskopik.....	30
2.6. Pengujian SHC.....	30
2.6.1. Pengujian slump.....	30
2.6.2. Pengujian kuat tekan beton.....	31
2.6.3. Pengujian SEM.....	31
2.7. Pemetaan Penelitian.....	32
 <b>3. METODELOGI PENELITIAN.....</b>	 34
3.1. Studi Literatur.....	34
3.2. Alur Penelitian.....	34
3.3. Persiapan Material Penyusun <i>Self-Healing Concrete</i> .....	36
3.4. Persiapan Alat.....	39
3.5. Tahapan Pengujian di Laboratorium.....	45
3.5.1. Tahap I.....	46
3.5.2. Tahap II.....	46

3.5.3. Tahap III.....	48
3.5.4. Tahap IV.....	48
3.5.5. Tahap V.....	50
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus.....	52
4.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	53
4.3. Hasil Pengujian Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	55
4.3.1. Pengamatan mikroskop.....	55
4.3.2. Pengujian hemasitometer.....	56
4.3. Hasil Pengujian Beton Segar.....	57
4.4. Hasil Pengujian Beton.....	58
4.4.1. Hasil pengujian berat jenis.....	58
4.4.2. Pengujian absorpsi air.....	60
4.4.3. Hasil pengujian kuat tekan.....	62
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>65</b>
5.1. Kesimpulan.....	65
5.2. Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Komposisi Campuran Beton Untuk 1 m <sup>3</sup> (Elisa, 2018).....	11
2.2. Komposisi Campuran Beton Untuk 1 m <sup>3</sup> (Alshalif, 2018).....	11
2.3. Standar gradasi agregat halus.....	17
2.4. Gradasi agregat kasar.....	19
2.5. Kuat tekan karakteristik dengan variasi w/c.....	24
2.6. Tabel perubahan warna pada uji kadar zat organik pasir.....	28
2.7. Pemetaan penelitian.....	33
3.1. Komposisi campuran SHC dalam 1m <sup>3</sup> .....	48
3.2. Rencana jumlah benda uji.....	48
4.1. Data hasil pengujian agregat halus.....	52
4.2. Data hasil pengujian agregat kasar.....	54
4.3. Hasil pengamatan hemasitometer.....	56
4.4. Persentase perubahan slump pada campuran beton SHC terhadap hasil <i>slump test</i> .....	58
4.5. Persentase peningkatan berat jenis terhadap umur beton SHC.....	59
4.6. Tabel hasil penyerapan air.....	61
4.7. Persentase peningkatan kuat tekan beton SHC terhadap umur beton.....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Retak beton yang telah tertutup dengan baik .....	6
2.2. Presipitasi CaCO <sub>3</sub> oleh bakteri.....	9
2.3. Grafik nilai kuat tekan beton pulih mandiri terhadap umur benda uji.....	11
2.4. Kuat tekan Untuk Beton Pulih Mandiri Dengan <i>E. faecalis</i> dan <i>B. Cereus</i> ...	12
2.5. Tampilan <i>Bacillus Subtilis</i> .....	21
2.6. Tampilan <i>Bacillus Cereus</i> .....	22
2.7. Tampilan <i>Enterococcus Faecalis</i> .....	23
3.1. Diagram tahap metodelogi penelitian.....	36
3.2. Semen PCC.....	37
3.3. Air.....	37
3.4. Agregat halus.....	38
3.5. Agregat kasar.....	38
3.6. <i>Bacillus Subtilis</i> .....	39
3.7. Bekisting silinder.....	39
3.8. <i>Slump test</i> .....	40
3.9. Timbangan.....	40
3.10. Gelas ukur.....	41
3.11. Mixer pengaduk adukan beton.....	41
3.12. Mikroskop cahaya.....	42
3.13. Hemasitometer.....	42
3.14. <i>Magnetic stirrer</i> dengan <i>hot plate</i> .....	43
3.15. <i>Autoclave</i> .....	43
3.16. Erlenmeyer.....	44
3.17. Tabung reaksi.....	44
3.18. Alat pemeriksaan zat organik.....	45
3.19. Alat uji kuat tekan.....	45
3.20. Pembuatan larutan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	46
3.21. Pengujian hemasitometer.....	47
3.22. Pengukuran <i>slump</i> .....	49
3.23. Perawatan beton dengan metode perendaman.....	50

3.24. Pengujian kuat tekan.....	50
3.25. Penimbangan benda uji.....	51
4.1. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus.....	53
4.2. Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar.....	54
4.3. Hasil pengamatan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	55
4.4. Grafik hasil pengujian slump.....	57
4.5. Hasil pengujian berat jenis beton SHC pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.....	60
4.6. Grafik hasil pengujian absorbsi air.....	61
4.7. Grafik perbandingan kuat tekan campuran beton SHC terhadap umur beton.....	64

# ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF-HEALING CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Olie Stiawan Randy<sup>1</sup>, Rosidawani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Sriwijaya  
Jalan Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, South Sumatera  
E-mail: [oliestiawan@gmail.com](mailto:oliestiawan@gmail.com)

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Sriwijaya University  
Jalan Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, South Sumatera  
E-mail: [rosidawani@gmail.com](mailto:rosidawani@gmail.com)

## Abstrak

Beton adalah bahan *brittle* dan memiliki kekuatan tarik rendah dibandingkan bahan lainnya. Ketika retak terjadi, kualitas beton akan menurun, sehingga inovasi baru akan dibuat untuk menutup kelemahan dari beton. Inovasinya adalah *self-healing concrete* yang menggunakan bakteri sebagai agen yang dapat menutup celah beton. Penelitian ini menggunakan larutan *Bacillus Subtilis* 4%, 5% dan 6% dengan konsentrasi  $10^6$  sel / ml sebagai pengganti sebagian air dalam campuran beton. Metode perawatan yang digunakan adalah metode perendaman dalam air selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji *slump*, uji kuat tekan, berat jenis dan penyerapan air. Dalam uji *slump* yang diamati dalam penelitian ini disimpulkan bahwa penambahan bakteri pada campuran beton tidak secara signifikan mempengaruhi sifat beton segar. Untuk pengujian kuat tekan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri pada campuran beton mampu meningkatkan kuat tekan beton dengan kode campuran B-5 merupakan campuran yang memiliki peningkatan kuat tekan maksimum sebesar 28,86. % pada usia 28 hari. Uji berat jenis yang diperoleh dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak bakteri yang dicampur menjadi beton dapat meningkatkan berat jenis beton. Dalam uji absroksi air dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* mengakibatkan semakin sedikit pori yang diproduksi dalam beton, tetapi peningkatannya tidak signifikan setelah lebih dari 5% penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis*.

**Kata kunci:** self-healing concrete, bakteri, bacillus subtilis

Pembimbing I



Dr. Rosidawani, S.T., M.T.  
NIP. 1976050920000122001

Indralaya, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Pembangunan infrasrtuktur di Indonesia hingga saat ini yang paling dominan adalah menggunakan beton pada konstruksi utamanya. Beton biasanya diaplikasikan pada balok, kolom, dinding geser (*shear wall*), plat lantai, pondasi, jembatan dan bendungan. Pada umumnya beton tersusun dari semen, agregat kasar dan halus serta air. Selain itu dapat pula dicampurkan dengan bahan tambahan yang mampu meningkatkan mutu dan kinerja beton.

Beton memiliki keunggulan teknis yaitu kekuatan tekan yang tinggi serta kemudahan dalam penggerjaannya. Namun karakteristik lain pada beton adalah sifatnya yang mudah mengalami keretakan. Kelelahan akibat pembebangan, susut dan rangkak, faktor lingkungan hingga kurang teliti dalam penggerjaan merupakan penyebab utama terjadinya keretakan pada beton.

Menurut Tziviloglou (2016), bahwa keretakan yang timbul pada beton jika tidak ditangani akan menjadi jalan masuknya partikel-partikel yang dapat menyebabkan kerusakan seiring berjalannya waktu. Keretakan pada beton bersifat progresif, sehingga potensi keretakkannya harus dicegah secara dini. Kecendrungan beton untuk retak ini dapat mempengaruhi kinerja pada beton. Jika terjadi secara terus menerus, tentunya akan mengurangi bahkan mereduksi kekuatan dari beton, serta dapat meningkatkan biaya perbaikan struktur yang menggunakan beton sebagai bahan kontruksinya.

Selain itu, terdapat pula kelemahan yang perlu diperhatikan yaitu beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki oleh air. Hal ini dapat terjadi pada bagian-bagian struktur beton yang secara langsung terkena air, misalnya plat beton untuk atap, *ground water tank*, dinding *basement* dan bisa juga disebabkan karena adanya perbedaan kelembaban kedua sisi beton.

Jika air mencapai tulangan dapat menyebabkan korosi sehingga mengurangi mutu pada tulangan tersebut. Untuk mendapatkan beton yang berkualitas baik, diperlukan beton yang padat dengan sedikit pori. Apabila beton memiliki pori yang banyak artinya beton menjadi tidak awet dan umur pemakaiaanya juga tidak akan panjang.

Maka, diperlukan suatu inovasi yang dapat mencegah keretakan beton dan meningkatkan durabilitas beton. Berdasarkan kajian literatur yaitu *self-healing concrete* adalah beton yang memanfaatkan mikroba pada komposisi campuran beton yang dapat membuat beton bersifat pulih mandiri dan memiliki umur pemakaian yang panjang. Selain itu kuat tekan yang dihasilkan juga akan bertambah sehingga dapat mencegah keretakan yang terjadi pada beton secara dini.

Menurut Khaliq dan Ehsan (2016), bahwa penggunaan mikroba tersebut ditunjukkan untuk dapat menambah kuat tekan beton dengan cara menutup pori-pori yang ada didalam beton dengan zat kapur sehingga beton menjadi lebih kuat dan padat. Selain itu dalam pengaplikasiannya diharapkan dapat mencegah secara dini keretakan pada beton dengan memproduksi mineral yang diakibatkan oleh aktivitas mikroba didalam beton. Jenis bakteri yang umumnya digunakan beton pulih mandiri adalah bakteri dari genus *Bacillus* sp. seperti *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Cereus*, *Bacillus Spaericus*, dll.

Dalam penelitian ini, bakteri yang digunakan adalah *Bacillus Subtilis*. Bakteri ini dipilih karena dapat menghasilkan senyawa zat kapur yang merupakan bahan utama semen. Menurut Afiffah (2017), bakteri *Bacillus Subtilis* memiliki sistem pertahanan diri yang kuat dengan membentuk endospora yang dapat tahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem. Endospora ini memberikan kemampuan proteksi diri yang dapat mentolerir faktor lingkungan seperti panas, asam, basa dan garam dalam jangka waktu yang lama sehingga cocok untuk menjadi bahan tambah pada beton.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui kuat tekan *self-healing concrete* atau SHC menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* yang didapat dari Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Bakteri tersebut masih dalam bentuk isolat sehingga dilakukan pengenceran di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya. Dari latar belakang diatas maka diberikan judul untuk penelitian ini yaitu "ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN SELF HEALING CONCRETE MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*".

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah dari penelitian analisis perbandingan kuat tekan *self healing concrete* menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* ini adalah:

1. Bagaimana menentukan komposisi campuran *self-healing concrete* menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis*?
2. Bagaimana pengaruh variasi persentase bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap kuat tekan *self-healing concrete*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah dari penelitian analisis perbandingan kuat tekan *self-healing concrete* menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* ini adalah:

1. Menentukan komposisi optimum dalam campuran *self-healing concrete* yang menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis*.
2. Menganalisis dan mempelajari pengaruh variasi persentase bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap kuat tekan *self-healing concrete*.

## 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

1. *Self-healing concrete* dibuat dengan menambahkan mikroba pada campuran beton disebut dengan beton pulih mandiri
2. Ukuran benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Pembuatan *self-healing concrete* menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* dengan kuat tekan rencana 25 MPa.
4. Semen yang digunakan adalah PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merek Semen Baturaja.
5. Agregat halus yang digunakan berupa pasir lokal yang berasal dari Tanjung Raja.
6. Agregat kasar yang digunakan pada campuran *self-healing concrete* berasal dari Tanjung Enim.
7. Pengujian beton SHC yang dibahas adalah pengujian *slump*, pengujian berat jenis, pengujian penyerapan air dan pengujian kuat tekan.
8. Pengujian kuat tekan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari.

9. Perawatan beton dilakukan dengan cara benda uji direndam didalam air.
10. Bakteri yang diperoleh berbentuk isolat yang didapat dari Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Sehingga dilakukan pengenceran di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya untuk mendapatkan bakteri berbentuk larutan.
11. Pemeriksaan, pembuatan, dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
12. Pengujian material mengikuti standar SNI dan ASTM.
13. Standar komposisi campuran menggunakan standar ACI 211.1-91 dan dimodifikasi menggunakan jurnal yang terkait dengan penelitian.
14. Variasi persentase bakteri *Bacillus Subtilis* yang digunakan adalah 0%, 4%, 5% dan 6%.

### **1.5. Metode Pengumpulan Data**

Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan dua cara, yaitu:

1. Data primer

Data yang diperoleh peneliti secara langsung dari objek penelitian di laboratorium disebut dengan data primer. Data primer pada penelitian ini meliputi percobaan dan pengamatan langsung di laboratorium dan data yang didapatkan pada pengujian.

2. Data sekunder

Data yang diperoleh secara tidak langsung dari objek penelitian, tetapi melalui sumber lain, baik lisan maupun tulisan disebut dengan data sekunder. Data sekunder pada penelitian ini meliputi studi pustaka sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan merupakan susunan atau tahapan dalam menulis suatu karya ilmiah. Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir ini sebagai berikut:

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan kajian literatur dan membahas tentang landasan teori yang berasal dari pustaka dan literatur tentang definisi *self-healing concrete*, bahan penyusun, mekanisme *self-healing*, komposisi campuran, dan pengujian benda uji *self-healing concrete* serta berisi penelitian terdahulu yang menjadi acuan berkaitan dengan penelitian ini.

## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai material dan alat yang digunakan, pelaksanaan penelitian, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian *slump*, pengujian kuat tekan umur 28 hari, pengujian absorpsi air, dan pengujian berat jenis beton.

## **BAB 5 PENUTUP**

Bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari penelitian ini serta saran untuk perbaikan penelitian di masa yang akan datang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. USA. American Concrete Institute
- Afifah, S. 2017. Pengaruh Kuat Lentur Balok Self Healing Concrete Dengan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Umur Perawatan Beton. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 1–3.
- Agung, Subagia (2017) Pengukuran Panas Hidrasi Pada Semen PCC (Portland Cement Composite). Diploma thesis, Universitas Andalas.
- Alshalif, Abdullah Faisal, Mohd Irwan Juki, Norzila Othman, Adel Ali Al-Gheethi, and Faisal Sheikh Khalid. 2019. Improvement of Mechanical Properties of Bio-Concrete Using Enterococcus Faecalis and Bacillus Cereus Strains. *Environmental Engineering Research*.
- Anbu, Periasamy, Chang-Ho Kang, Yu-Jin Shin, and Jae-Seong So. 2016. Formations of Calcium Carbonate Minerals by Bacteria and Its Multiple Applications. *SpringerPlus* 5 (1): 250.
- ASTM C1602-06. Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials
- ASTM C31/C31M Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials
- ASTM C-33. Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.

ASTM C171. Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.

ASTM C 136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.

Bansal, Roohi, Navdeep Dhami, Abhijit Mukherjee, and Mondem Reddy. 2016. Biocalcification by Halophilic Bacteria for Remediation of Concrete Structures in Marine Environment. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. Vol. 43.

Elisa, N. 2018. Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri Bacillus Subtilis Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri. Jom FTEKNIK. Vol. 5 No. 2

Evans, M, J K Davies, G Sundqvist, and David Figdor. 2002. Mechanisms Involved In The Resistance Of Enterococcus Faecalis To Calcium Hydroxide. *International Endodontic Journal*. Vol. 35.

J Bottone, Edward. 2010. *Bacillus Cereus*, a Volatile Human Pathogen. *Clinical Microbiology Reviews*. Vol. 23.

Joshi, Sumit, Shweta Goyal, Abhijit Mukherjee, and Mondem Reddy. 2017. Microbial Healing of Cracks in Concrete: A Review. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. Vol. 44.

Khaliq, Wasim, and Muhammad Basit Ehsan. 2016. Crack Healing in Concrete Using Various Bio Influenced Self-Healing Techniques. *Construction and Building Materials* 102 (P1): 349–57.

Machmud, M. 2001. Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba. *Buletin AgroBio* 4(1):24-32.

- Moghadas, Leila, Mahdi Shahmoradi, and Tahmineh Narimani. 2012. Antimicrobial Activity of a New Nanobased Endodontic Irrigation Solution: In Vitro Study. *Dental Hypotheses*. Vol. 3.
- Onal Okyay Tugba A4 - Frigi Rodrigues, Debora, Tugba A4 - Onal Okyay. 2014. Optimized Carbonate Micro-Particle Production by Sporosarcina Pasteurii Using Response Surface Methodology. *Ecological Engineering* v. 62: 168-174
- Pang, Bo, Zonghui Zhou, Pengkun Hou, Peng Du, Lina Zhang, and Hongxin Xu. 2016. Autogenous and Engineered Healing Mechanisms of Carbonated Steel Slag Aggregate in Concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 107.
- Park, Sung-Jin. 2012. Application of Bacillus Subtilis 168 as a Multifunctional Agent for Improvement of the Durability of Cement Mortar. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 22: 1568–74.
- Rao, M S, V S Reddy, M Hafsa, P Veena, and P Anusha. 2013. Bioengineered Concrete—A Sustainable Self-Healing Construction Material. *Res. J. Eng. Sci.* Vol. 2.
- Seifan, Mostafa, Ali SAMANI, and Aydin Berenjian. 2016. Bioconcrete: Next Generation of Self-Healing Concrete. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 100.
- Sharma, Piyush. 2016. A Study on Self Healing Mecanism of Microcracks in Concrete Structures Using Bacillus Bacteria. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 02.
- Srinivasan, Maheswaran, Sam Dasuru, A Murthy, Balu Bhuvaneshwari, V R Kumar, G Palani, Nagesh Iyer, Sarayu Krishnamoorthy, and S Sandhya. 2014. Strength Improvement Studies Using New Type Wild Strain Bacillus Cereus on Cement Mortar. *Current Science*. Vol. 106.
- SNI 2049-2015. Semen Portland. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

- SNI 0302:2014. Semen portland pozolan. Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 7064:2014. Semen portland komposit Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 15-3758-2004. Semen masonry. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2943-2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972-2008. Cara uji slump beton. Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- SNI-1970-2008. Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2816-2014. Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI- 1969-2008. Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2417-2008. Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2493-2011. Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1974-2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Suwaini, Leni, Joni Arliansyah, and Saloma. 2018. Performance of *Bacillus Subtilis* Bacteria to Natural Improvement Process on Rigid Pavement Cracks. Ho Chi Minh, Vietnam, AIP Conference Proceedings.
- Thakur, Abhishek, and Khushpreet Singh. 2017. Bacterial Concrete and Effect of Different Bacteria on the Strength and Water Absorbtion Characteristic of Concrete: a Review.

- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1992. Teknologi Beton. Biro Penerbit, Yogyakarta.
- Tziviloglou, Eirini, V Wiktor, H M Jonkers, and Erik Schlangen. 2016. Bacteria-Based Self-Healing Concrete to Increase Liquid Tightness of Cracks. *Construction and Building Materials*. Vol. 122.
- Wang, J Y, D Snoeck, S Van Vlierberghe, W Verstraete, and N De Belie. 2014. Application of Hydrogel Encapsulated Carbonate Precipitating Bacteria for Approaching a Realistic Self-Healing in Concrete. *Construction and Building Materials* 68 (C): 110–19.
- Wang, Jianyun, Arn Mignon, Didier Snoeck, Virginie Wiktor, Nico Boon, and Nele De Belie. 2015. Application of Modified-Alginate Encapsulated Carbonate Producing Bacteria in Concrete: A Promising Strategy for Crack Self-Healing. *Frontiers in Microbiology*. Vol. 6.
- Wiktor, V, and H M Jonkers. 2016. Bacteria-Based Concrete: From Concept to Market. *Smart Materials and Structures* 25 (8): 84006.
- Zamarreño, Dania V, Rob Inkpen, and Eric May. 2009. Carbonate Crystals Precipitated by Freshwater Bacteria and Their Use as a Limestone Consolidant. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 75.