

# **SKRIPSI**

## **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERSENTASE CAMPURAN BAKTERI *BACILLUS CEREUS* TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA *SELF HEALING CONCRETE* (SHC)**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik**

**Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**HIDAYAT TULLAH**

**03011281520126**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

*Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Healing Concrete (SHC)*

### TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**HIDAYAT T ULLAH**  
03011281520126

Palembang, November 2019  
Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing,



**Dr. Rosidawani. S.T, M.T**  
NIP. 197605092000122001

Mengetahui/Menyetujui  
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



**Ir. Helmi Haki, M.T.**  
NIP. 196107031991021001

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal 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 Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE., selaku Rektor Universitas Sriwijaya dan selaku dosen yang selalu memberikan motivasi bagi saya.
2. Bapak Prof. Ir. Subryer Nasir, M.S., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Ir. Helmi Hakki, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu dan mengarahkan dalam proses penyelesaian penelitian ini.
4. Dr. Rosidawani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, motivasi serta saran yang sangat bermanfaat dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Ir. Hj. Ika Juliantina, M.S., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan masukan, nasihat dan semangat dalam menjalani perkuliahan.
6. Ibu Heni Fitrianti, S.T. M.T., Ph.D selaku dosen dan yang seperti kakak bagi penulis sendiri, beliau selalu memberikan motivasi, bimbingan dan semangat secara terus menerus.
7. Ir. Yakni Idris, M.Sc., MSCE selaku dosen yang menginspirasi bagi penulis dengan segudang ilmunya dan beliau sangat mirip dan mengingatkan dengan alm orang tua penulis
8. Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T., selaku dosen yang menjadi inspirasi untuk tetap semangat dan teliti dalam penulisan ini
9. Rekan jurusan Teknik Sipil Angkatan 2015 yang memberikan saran dan semangat dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis Berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua yang membaca dan bagi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Palembang, 25 November 2019

Hidayat Tullah

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>iv</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Beton ( <i>Concrete</i> ).....	5
2.2. <i>Self Healing Concrete</i> (SHC).....	5
2.2.1. Bakteri yang digunakan pada pembuatan Self-Healing Concrete .....	6
2.3. Material Penyusun Beton .....	6
2.4. Bakteri Sebagai Bahan Tambah Pada Beton.....	13
2.4.1. Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> .....	13
2.4.2. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	14

2.4.3. Bakteri <i>Enterococcus Faecalis</i> .....	15
2.5. Pengaruh Bakteri Terhadap Kuat Tekan Beton .....	16
2.6. Mekanisme Proses Bakteri Pada Mekanisme CaCo <sub>3</sub> Pada <i>Self Healing Concrete</i> .....	17
2.7. Kuat Tekan Beton .....	18
2.8. Kuat Tarik Belah .....	18
2.9. Kuat Tarik Lantur.....	19
2.10. Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton.....	19
2.11. Pengujian Himasitometer .....	20
2.12. Pengujian Slump .....	21
2.13. Aplikasi <i>Self Healing Concrete</i> Terhadap Infrastruktur Yang Rendah Biaya.....	22
<b>BAB III. METODELOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1. Studi Literatur .....	24
3.2. Alur Penelitian .....	24
3.3. Persiapan Alat .....	27
3.4. Persiapan Material Penyusun <i>Self-Healing Concrete</i> .....	32
3.5. Tahapan Pengujian di Laboratorium.....	34
3.5.1. Tahap I.....	34
3.5.2. Tahap II.....	35
3.5.3. Tahap III .....	35
3.5.4. Tahap IV .....	36
3.5.5. Tahap V .....	37

<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus .....	38
4.1.1. Analisa Saringan.....	38
4.1.2. Pemeriksaan Zat Organik .....	39
4.1.3. Pemeriksaan Kadar Lumpur .....	39
4.1.4. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus .....	39
4.1.5. Pemeriksaan Specific Gravity dan Penyerapan Agregat Halus .....	39
4.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar .....	40
4.2.1. Analisa Saringan.....	40
4.2.2. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar .....	41
4.2.3. Pemeriksaan <i>Specific Gravity</i> dan Penyerapan Agregat Kasar .....	41
4.3. Hasil Pengujian Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> .....	42
4.3.1. Pengujian mikroskop .....	42
4.3.2. Pengujian himasitometer .....	43
4.4. Hasil Pengujian Beton Segar.....	44
4.5. Hasil Pengujian Beton.....	45
4.5.1. Pengujian Absorpsi Air .....	45
4.5.2. Pengujian Berat Jenis Beton .....	46
4.5.3. Pengujian Kuat Tekan Beton .....	48
4.5.4. Perbandingan Kuat Tekan Beton Penelitian dengan Kuat Tekan Rencana .....	51
4.5.5. Analisa SEM .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1. Kesimpulan .....	56
5.2. Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus .....	11
Tabel 3.1. Komposisi Campuran SHC .....	35
Tabel 4.1. Hasil pengujian <i>specific gravity</i> dan penyerapan agregat halus .....	40
Tabel 4.2. Data hasil pemeriksaan <i>specific gravity</i> dan penyerapan agregat kasar .....	41
Tabel 4.3. Hasil pengamatan himasitometer .....	43
Tabel 4.4. Persentase perubahan <i>slump</i> pada campuran beton SHC terhadap hasil <i>slump test</i> .....	45
Tabel 4.5. Perbandingan Berat Jenis Beton .....	47
Tabel 4.6. kuat tekan beton dan persentase peningkatan pada beton normal .....	49
Tabel 4.7. Perbandingan Kuat Tekan Rencana Dengan Penelitian Kuat Tekan Beton Normal .....	51
Tabel 4.8. Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> 4% .....	52
Tabel 4.9 Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> 5% .....	52
Tabel 4.10. Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> 6% .....	52

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> .....	14
Gambar 2.2. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	15
Gambar 2.3. Bakteri <i>Entracoccus Faecalis</i> .....	15
Gambar 2.4. Kuat Tekan Beton Pulih Mandiri Terhadap Umur Benda Uji .....	16
Gambar 2.5. Kuat Tekan Untuk Beton Pulih Mandiri Dengan <i>E. faecalis</i> dan <i>B. Cereus</i> .....	17
Gambar 3.1. Alat Pemeriksaan Zat Organik .....	28
Gambar 3.2. Oven .....	28
Gambar 3.3. Mikroskop Cahaya	29
Gambar 3.4. Tabung Reaksi.....	29
Gambar 3.5. Erlenmeyer. ....	29
Gambar 3.6. <i>Magnetic Strirrer</i> dengan <i>hotplate</i> .....	30
Gambar 3.7. <i>Himasitomete</i> .....	30
Gambar 3.8. Slump tes .....	31
Gambar 3.9. <i>Universal Testing Machine</i> .....	32
Gambar 3.10. Alat Pengujian SEM.....	32
Gambar 3.11. <i>Bacillus Cereus</i> . ....	34
Gambar 3.12. Pembuatan Media Pengecoran Isolat.....	34
Gambar 3.13. Proses Pengujian <i>Slump Flow</i> .....	36
Gambar 4.1. Grafik Hasil Pengujian analisa saringan agregat halus .....	38
Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengujian analisa saringan agregat Kasar .....	41

Gambar 4.3. Hasil Pengamatan Bakteri <i>Bacillus Cereus</i> .....	42
Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Slump Flow .....	44
Gambar 4.5. Persentase Absorpsi Air .....	46
Gambar 4.6. Perbandingan Berat Jenis Beton Normal Dengan beton SHC dalam kg/m <sup>3</sup> .....	47
Gambar 4.7. Persentase Berat Jenis Beton SHC Terhadap Beton Normal.....	48
Gambar 4.8. Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Usia Beton .....	50
Gambar 4.9. Persentase Peningkatan kuat tekan beton SHC terhadap beton Normal.....	50
Gambar 4.10. Persentase kuat tekan beton normal pada penelitian terhadap kuat tekan rencana .....	53
Gambar 4.11 Persentase kuat tekan beton bacillus cereus 4% terhadap kuat tekan rencana .....	53
Gambar 4.12 Persentase kuat tekan beton bacillus cereus 5% terhadap kuat tekan rencana .....	53
Gambar 4.13 Persentase kuat tekan beton bacillus cereus 6% terhadap kuat tekan rencana .....	54
Gambar 4.14. Analisa SEM Pada Beton Normal Usia 28 Hari .....	55
Gambar 4.15. Analisa SEM Perkembangan Spora Bakteri Pada Beton Normal..	55

## RINGKASAN

*Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Healing Concrete (SHC)*

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, 25 November 2019

Hidayat Tullah; Dibimbing oleh Dr. Rosidawani, ST,MT

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xiv + 62 halaman, 33 gambar, 11 tabel, 2 lampiran

Perkembangan Teknologi dan Riset sekarang ini sangat cepat dan semakin banyak inovasi terbaru, diantaranya penelitian pada beton, salah satunya *Self Healing Concrete*, dimana beton ini adalah salah satu beton bakteri yang menggunakan organisme dari bakteri *bacillus cereus*, beton ini dimodifikasi dengan mencampurkan antara beton segar normal dengan organisme bakteri *bacillus cereus* yang mempunyai proporsi campuran untuk bakteri tersebut antara lain 4%, 5% dan 6% dari substitusi dengan air pada campuran rencana beton, Proporsi tersebut di ambil karena terdapat dari penelitian sebelumnya kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran 5% oleh sebab itu penelitian ini meninjau apakah dengan persentase lain dapat menaikkan kuat tekan pada *self healing concrete* dan apakah bakteri tersebut dapat mengisi rongga pada beton. Hasil pengujian yang dilakukan yaitu untuk Kuat Tekan Beton tertinggi terdapat pada beton dengan tipe B-5% atau beton yang memiliki kandungan bakteri sebesar 5%, yaitu dengan kuat tekan 31 Mpa, dari kuat tekan rencana sebesar 25 Mpa dengan peningkatannya yaitu sebesar 33,75%. Sedangkan untuk pengujian Absorpsi Air sendiri pada beton B-5%, memiliki daya serap hanya 0,83% lebih kecil dibandingkan dengan beton tipe B-4% dan B-6%, dan untuk penyerapan beton normal sendiri yaitu sebesar 1,61% lebih tinggi dari tipe beton B-4%, B-5% dan B-6%. Sedangkan pada pengujian berat jenis beton, yaitu nilainya tidak jauh berbeda dengan berat jenis beton normal yaitu 0,18% pada beton B-5% pada umur maksimum, jika dilihat menggunakan pengujian SEM, bakteri yang terdapat pada beton dapat menutupi rongga yang ada di beton, dengan perkembangan spora hingga berukuran 16,49  $\mu\text{m}$ . oleh karena itu beton Self Healing Concrete dengan menggunakan campuran bakteri *bacillus cereus* sebesar 5% dapat dimanfaatkan untuk beton berkelanjutan baik pada pembangunan struktur maupun non struktur.

**Kata kunci:** Self Healing Concrete, Bakteri Bacillus Cereus, Kuat Tekan Beton,

*Uji SEM*

## SUMMARY

Experimental Study Effect of Bacillus Cereus Bacteria Mix Percentage Against Concrete Compressive Strength In Self Healing Concrete (SHC)

Scientific papers in the form of Final Projects, 25 November 2019

Hidayat Tullah; Supervised by Dr. Rosidawani, ST, MT

Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Sriwijaya

xiv + 62 pages, 33 images, 11 tables, 2 attachments

Technology developments and research is now very fast and the more innovation is renewable, including research on concrete, one of which Self Healing Concrete, where the concrete is one of the concrete bacteria that use organisms from bacteria Bacillus cereus, concrete is modified by mixing the fresh concrete normal with the bacterial organism bacillus cereus which has a mixture proportions for the bacterium include 4%, 5% and 6% of substitution with water at a mix concrete plan, proportion is taken as indications from previous studies compressive strength is highest in a mixture of 5% by cause the study is reviewing whether the other percentage can increase the compressive strength in self-healing concrete and whether the bacteria can fill the voids in the concrete. Results of tests performed, namely for Concrete Compressive Strength highest in concrete with type B-5% or concrete which has a bacterial content of 5%, with 31 MPa compressive strength, of the compressive strength of 25 Mpa plan with the increase in the amount of 33.75 %. As for the testing itself on concrete Water Absorption B-5%, has the absorptive capacity is only 0.83% lower than the concrete type B-4% and B-6%, and for the absorption of normal concrete itself which is 1.61% more high of concrete type B-4%, 5% and B-B-6%. While the density of concrete testing, that value is not much different from the weight of normal concrete types, namely 0.18% in concrete B-5% at maximum, if viewed using SEM testing, the bacteria present in the concrete to cover the cavity in concrete, with the development of the spores up to size 16.49  $\mu\text{m}$ . therefore concrete Self Healing Concrete with bacillus cereus bacteria using a mixture of 5% can be used for either continuous concrete on the construction of the structure and non-structure.

**Keywords:** Self Healing Concrete, Bacillus Cereus Bacteria, Concrete Compressive Strength, SEM test

## PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hidayat Tullah

NIM : 03011281520126

Judul Skripsi : *Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Healing Concrete (SHC)*

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

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



Inderalaya, November 2019



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “**Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri *Bacillus Cereus* Terhadap Kuat Tekan Beton Pada *Self Healing Concrete* (SHC)**” yang disusun oleh **Hidayat Tullah, 03011281520126** telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 November 2019.

Palembang, 25 November 2019  
Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Ketua:

1. Dr. Rosidawani, S.T, M.T  
NIP. 197605092000122001

(  )

Anggota:

2. Heni Fitriani, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197905062001122001

(  )

3. Ir. Helmi Haki, M.T.  
NIP. 196107031991021001

(  )

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

(  16/11/2019 )

5. Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.  
NIP. 197311032008121003

(  )

**Mengetahui,**  
**Dekan Fakultas Teknik**

**Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D.**  
**NIP. 196009091987031004**

**Ketua Jurusan Teknik Sipil**  
  
**Ir. Helmi Haki, M.T.**  
**NIP. 196107031991021001**  


## PERNYATAAN PESETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hidayat Tullah  
NIM : 03011281520126  
Judul Skripsi : *Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Healing Concrete (SHC)*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

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

Palembang, 30 November 2019



HIDAYAT TULLAH  
NIM. 03011281520126

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : HIDAYAT TULLAH

Jenis Kelamin : Laki-Laki

E-mail : dayat.burhayan@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDN 1 KIKIM SELATAN			SD	2003-2009
SMPN 1 KIKIM SELATAN			SLTP	2009-2012
SMAN 1 KIKIM SELATAN		IPA	SLTA	2012-2015
UNIVERSITAS SRIWIJAYA	TEKNIK	TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN	STRATA 1	2015-2019

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



(Hidayat Tullah)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur menggunakan bahan dasar beton sangat marak sekali digunakan dikarenakan beton tersebut mudah dibentuk pada saat beton masih segar dan kuat terhadap tekan serta rendah biaya, menurut widika, dkk (2018) jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, material beton memiliki keunggulan teknis yaitu memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan pengerjaannya (*workability*). Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan salah satu yang cukup signifikan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga mudah retak sebelum mencapai kekuatan batasnya, kekurangan lainnya seperti bentuk yang telah dibuat sulit diubah serta keretakan pada beton.

Selain itu banyak beton yang rusak dan mengalami retak juga diakibatkan oleh faktor cuaca diantaranya pada pergantian musim hujan dan musim panas, selain itu yang menyebabkan keretakan yaitu getaran dari permukaan tanah akibat lalu lintas sekitar, dan keretakan juga dapat terjadi akibat dari beban sendiri bangunan maupun pada jembatan, beban yang di akibatkan oleh beban kendaraan yang melewati di atasnya, serta zat kimia yang ter dapat pada lingkungan sekitar merupakan salah satu penyebab keretakan dari struktur bangunan jalan.

Menurut kurnia, dkk (2018) Terdapat beberapa permasalahan yang timbul pada beton karena seringnya digunakan, salah satunya keretakan pada beton. Keretakan pada beton sering terjadi karena kelelahan akibat pembebanan, rangkakan dan susut pada beton, faktor lingkungan, hingga kurang teliti dalam pengerjaan. Salah satu cara untuk mengurangi masalah pada keretakan, digunakan bahan tambah berupa bakteri yang dapat membuat beton bersifat pulih mandiri.

Beton ini dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing concrete*) yang mana jika terjadi kerusakan terhadap beton itu sendiri seperti keretakan maka beton itu dapat tertutupi oleh spora dari perkembangan bakteri itu sendiri, sehingga seolah –

olah beton tersebut dapat merapat kembali. Teknologi ini menggunakan bakteri sebagai bahan campurannya pada penelitian ini menggunakan bakteri *cereus* sebagai bahan tambah campurannya, dimana bahan bakteri yang digunakan juga tidak berbahaya dan mudah untuk ditemukan karena bakteri tersebut banyak ditemukan pada tanah yang beriklim seperti di Indonesia, dan untuk pengelolaan itu sendiri bisa diperbanyak, dan jika ingin lebih mudah bakteri tersebut banyak dijual dipasaran, selain dari itu beton ini dapat tahan terhadap suhu hingga 100°C ESR (2010), sehingga beton ini pada pembuatannya mudah dan pada aplikasinya tidak banyak mengeluarkan biaya.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah dari penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Merencanakan campuran mix desain concrete pada pembuatan beton bakteri (*self healing concrete*).
2. Bagaimana cara menghitung kebutuhan bakteri *bacillus cereus* untuk campuran beton SHC
3. Bagaimana prosedur campuran bakteri terhadap beton
4. Berapakah perbedaan berat jenis beton normal dengan berat jenis beton SHC
5. Berapa banyak campuran persentase bakteri yang menjadi kuat tekan maksimum pada beton SHC
6. Apa Pengaruh bakteri *bacillus cereus* terhadap porositas pada beton *self healing concrete*.
7. Apa yang dihasilkan oleh beton setelah mengalami kerusakan/keretakan.

### **1.3. Tujuan Penulisan**

Melakukan perencanaan beton *self healing concrete* dan penelitian terhadap penggunaan beton bakteri yang menggunakan bakteri *bacillus cereus* sebagai bahan campuran, serta membandingkan dengan hasil penelitian terhadap beton normal dengan campuran material yang sama.

### **1.4. Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup penelitian ini berdasarkan pada permasalahan dan tujuan diatas adalah sebagai berikut:

1. Beton yang di buat adalah beton normal yang diinovasikan menjadi beton *self healing concrete*.
2. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *bacillus cereus*.
3. Dalam penelitian ini bahan bakteri diolah dan diproduksi oleh laboratorium pertanian dan laboratorium microbiologi.
4. Pembuatan beton dan pengujian kuat tekan beton dilakukan di laboratorium material dan bahan jurusan teknik sipil.
5. Dalam perawatan yang dilakukan menggunakan sistem rendam sampel selama dibutuhkan pada saat untuk pengujian beton.
6. Pengujian beton ini yang dilakukan, uji material, uji, berat jenis beton, uji kuat tekan beton, uji absorpsi, uji SEM

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini diuraikan pada penjelasan berikut ini:

#### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, metode penelitian, ruang lingkup penulisan dan sistematika penulisan.

2. **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan kajian literatur yang menjelaskan mengenai teori, temuan dan penelitian terdahulu yang menjadi acuan untuk melaksanakan penelitian ini.

3. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini meliputi metode yang diperlukan dalam penulisan, metode pengumpulan data, teknik penyajian dan analisis data yang digunakan

4. **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi mengenai hasil analisa serta penjabaran dari data-data yang didapat dari analisa tersebut yang dapat berupa tabel atau grafik.

5. **BAB V PENUTUP**

Bab ini merupakan penutup yaitu terdiri dari kesimpulan serta saran terhadap penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada bab analisa dan pembahasan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Beton (*concrete*)**

Beton atau *concrete* adalah salah satu bahan bangunan yang terdiri dari campuran material semen, air, agregat halus, agregat kasar yang menjadi satu kesatuan dan dapat juga di tambah dengan bahan tambahan.

Berdasarkan SNI 2847:2013, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat.

Beton banyak sekali digunakan pada infastrukur bangunan dikarenakan material beton memiliki keunggulan teknis yaitu memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan pengerjaannya (*workability*). Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan salah satu yang cukup signifikan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga mudah retak sebelum mencapai kekuatan batasnya widika dkk(2018)

#### **2.2. *Self Healing Concrete***

*Self healing Concrete* atau beton pulih mandiri adalah suatu kemampuan dimana beton yang mengalami retak atau *crack* dapat memperbaiki diri sendiri dengan perkembangan dari bakteri yang di tambahkan dalam susunan komposisi beton. menurut (Kholiq dan Ehsan, 2016) *Bio concrete* adalah suatu produk yang dapat melakukan perbaikan secara mandiri (*self healing concrete*) dengan produksi mineral yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba didalam beton.

Pada keadaan yang cukup lembab retak berkemungkinan dapat memperbaiki dengan sendirinya, baik dalam proses kimia, fisika maupun proses mekanikal. Menurut (Tziviloglou et al., 2016.) Faktor utama yang berperan dalam hal ini ialah formasi dari  $\text{CaCO}_3$ .

Dengan adanya kemampuan yang dapat memperbaiki diri sendiri pada konstruksi beton yang mengalami keretakan, sehingga struktur beton yang lebih tahan lama dihasilkan, serta pembiayaan untuk infrastruktur dapat dikurangi (Khaliq dan Ehsan, 2016).

### **2.2.1. Bakteri yang dapat digunakan pada pembuatan Self-healing Concrete**

Menurut Mostafa Seifan, dkk (2018), Bakteri yang dapat digunakan untuk pembuatan *self healing concrete* dan bekerja pada campuran beton antara lain *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus pseudofirmus*, *B. Cohnii*, *Bacillus alkalinitrilicus*, *Bacillus sphaericus*, *S. pasteurii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Sporosarcina soli*, *Bacillus amyloliquedaciens*, *Bacillus massiliensis*, *Arthrobacter crystallopoietes*, *Lysinibacillus fusiformis*, *Diaphorobacter nitroreducens*, *Bacillus sphaericus*. dan menurut Elisa (2018), Yaitu Bakteri *Bacillus subtilis*

Pada penelitian ini kenapa penggunaan bakteri *bacillus cereus* dikarenakan pada penelitian sebelumnya bakteri ini dapat bertahan pada suhu yang ekstrem hingga 100°C menurut ESR 2010, selain itu bakteri ini ,mempunyai bacill (batang) yang lebih panjang sehingga lebih mudah berkembang dan menutupi keretakan pada beton.

## **2.3. Material Penyusun Beton**

### **1. Semen**

Semen adalah pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta sebagai pengikat setiap material pengisi jika dibereaksi dengan air, pada setiap penamaan pada campuran semen juga berbeda-beda, untuk campuran semen dengan air akan di sebut pasta, jika di tambah agregat halus akan menjadi mortar dan jika di tambah agregat kasar maka akan di sebut beton.pada pembuatan beton normal jenis semen yang biasa digunakan adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*).

Terdapat jenis-jenis semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) yang diatur oleh SNI (15-2049-2004) yang di bedakan menjadi lima antara lain:

- 1) Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain Semen Portland tipe ini dipergunakan untuk pengerasan jalan, gedung, jembatan, dan lain-lain. Semen tipe ini untuk jenis konstruksi yang tidak ada kemungkinan mendapat serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi.
- 2) Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang. Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton masa yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
- 3) Tipe III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen Portland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.
- 4) Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (setting time lama).
- 5) Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

## 2. Agregat

Pada pembuatan beton agregat dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Menurut SNI-2943-2011, Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4,75 mm, sedangkan agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm.

### 1) Agregat Kasar

Agregat kasar mempunyai ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm atau tertahan saringan dengan diameter lubang 4,8 mm, contoh agregat kasar dapat berupa krikil, batu sungai, batu pecah atau split, seiring dengan berkembangnya zaman dan teknologi, agregat kasar dimasa sekarang dapat di modifikasi baik berat jenis maupun keseragaman, biasanya penggunaan agregat yang ringan misalnya untuk pembuatan beton apung, dan lain-lain. Bentuk agregat kasar yang baik digunakan yaitu berbentuk segiempat dikarenakan dapat saling mengunci pada setiap agregat dan saling mengikat antar material pengisi beton.

### 2) Agregat Halus

Agregat Halus adalah material yang mempunyai ukuran butiran kurang dari 4,75 mm atau lolos saringan dengan diameter lubang 4,7 mm. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Agregat ini berukuran 0,063 mm - 4,76 mm yang meliputi pasir kasar (*Coarse Sand*) dan pasir halus (*Fine Sand*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus.

- a. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus menurut spesifikasi bahan bangunan adalah sebagai berikut:
  - a) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\pm 2,2$ .
  - b) Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
  - c) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
    1. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%.
    2. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%.
  - d) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah

bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.

- e) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder. Untuk itu, bila direndam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap daripada warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama.
- f) Susunan besar butir agregat halus harus memenuhi modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut zona 1, 2, 3, dan 4 dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
  - a) Sisa di atas ayakan 4,8 mm harus maksimum 2% berat.
  - b) Sisa di atas ayakan 1,2 mm harus maksimum 10% berat.
  - c) Sisa di atas ayakan 0,3 mm harus maksimum 15% berat.
- g) Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negatif.
- h) Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
- i) Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan di atas (pasir pasang).

## b. Karakteristik umum pasir

Berikut ini adalah beberapa karakteristik umum pasir:

### a) Berat jenis pasir

Berat jenis pasir adalah rasio antara massa padat pasir dengan massa air yang mempunyai volume sama pada suhu yang sama. Berdasarkan berat jenisnya, agregat secara umum dapat dibedakan menjadi (Tjokrodinuljo, 1996):

1. Agregat normal, yaitu agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya.
2. Agregat berat, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 misalnya magnetic ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), barites ( $\text{BaSO}_4$ ) atau serbuk besi.
3. Agregat ringan, mempunyai berat jenis kurang dari 2 dan biasanya digunakan untuk bagian non struktural.

### b) Gradasi Pasir

Gradasi pasir adalah distribusi ukuran butiran dan pasir. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai presentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat di dalam ayakan. Gradasi agregat akan memberikan variasi ukuran butir yang bervariasi sehingga akan memberikan pengaruh pada penempatan yang tinggi sejalan dengan peningkatan kekuatan. Butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang besar sehingga pori yang terbentuk akan menjadi sedikit.

Berdasarkan pengertian pasir diatas maka susunan ayakan untuk menentukan gradasi pasir berturut-turut adalah ayakan dengan lubang 10 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. Menurut SK SNI T-15-1990-03, kekasaran pasir di bedakan menjadi 4 kelompok menurut gradasinya yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus dan pasir halus. Penjelasn nya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan(mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (SK SNI T-15-1990-03)

### 3 Air

Air pada pembuatan beton adalah air yang bersih bebas dari kandungan zat kimia (dapat dikonsumsi). Dalam penerapannya air pada beton sangat penting, karena semen dapat bereaksi dengan air, yang akan membentuk pasta dan akan mengikat bahan material lain pembentuk beton, selain itu air dapat mempengaruhi kuat tekan beton dimana jika kelebihan air akan mengalami bleeding, sehingga semen akan ikut bersama air keatas permukaan beton pada beton segar yang baru saja dituang. Kemudian jika kekurangan air beton juga akan membentuk butiran yang menggumpal dan dapat menimbulkan retak pada beton yang sudah keras.

Adapun syarat mutu air pencampur untuk adukan beton menurut British Standard (BS.3148-1980) yaitu:

- a. Garam organik, ion utama yang biasanya terdapat dalam air adalah Kalsium, Magnesium, Natrium, Kalium, Bikarbonat, Sulfat, Chlorida, Nitrat dan kadang-kadang karbonat. Air yang mengandung ion tersebut dalam jumlah gabungan tidak lebih dari 2.000 mg per liter, pada umumnya baik untuk beton.
- b. Adanya garam klorida didalam beton dapat merusak atau menimbulkan korosi pada logam yang tertanam pada beton. Sebagai pedoman, kadar klorida dalam

air tidak boleh melampaui 500 mg per liter. Air laut telah dipakai untuk membuat beton tanpa tulangan, tetapi terdapat kecenderungan menimbulkan basah terhadap permukaan dan kristal berwarna putih di permukaan beton, serta sedikit mengurangi kekuatan. Air laut tidak boleh dipergunakan untuk membuat beton bertulang dan beton pra tekan.

- c. Garam sulfat yang diijinkan adalah maksimum 1.000 mg SO<sub>3</sub> per liter. Kadar sulfat yang dapat diizinkan dalam air pencampur tergantung dari jumlah kadar sulfat yang terkandung dalam beton. Kadar sulfat dalam beton tidak boleh melampaui 4% SO<sub>3</sub> terhadap berat semen, seperti ditentukan dalam BS 5328:1976.
- d. Air yang mengandung Alkali Karbonat dan Bikarbonat mempengaruhi waktu pengikatan semen dan kekuatan beton. Demikian pula adanya resiko terjadinya reaksi Alkali agregat dalam beton. Diisyaratkan jumlah gabungan garam-garam ini tidak lebih dari 1.000 mg per liter.
- e. Nilai pH air netral untuk memudahkan dalam mengelola pekerjaan beton.
- f. Air dengan kandungan natrium hidroksida konsentrasi basa lebih tinggi dari 0,5 % berat semen mempengaruhi kekuatan beton.
- g. Air gula sebanyak 0,25% berat semen atau lebih mengakibatkan bertambah cepatnya waktu pengikatan secara signifikan dan berkurangnya kekuatan beton pada umur 28 hari.
- h. Minyak mineral atau minyak tanah dengan konsentrasi lebih dari 25% berat semen dapat mengurangi kekuatan beton hingga 20%.
- i. Bercampurnya rumput laut dengan semen mengakibatkan berkurangnya daya lekat dan menimbulkan terjadinya sangat banyak gelembung udara dalam beton. Beton menjadi keropos dan pada akhirnya kekuatannya berkurang.
- j. Zat organik seperti lempung dan kandungan zat organik dalam air dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen dan kekuatan beton. Air yang berwarna tua, yang berbau tidak sedap atau tampak adanya butiran lumut perlu diragukan dan harus dilakukan pengujian sebelum dipakai untuk pembuatan beton.

#### 4. *Admixture*

Pada beton normal biasanya tidak ada menambahkan bahan tambah *additive*, sedangkan untuk beton yang mempunyai variasi seperti; Beton mutu tinggi, beton ringan (*foam concrete*), *pervious concrete*, dan sebagainya, menggunakan bahan tambahan baik kimia ataupun biologi, misalnya pada beton mutu tinggi menggunakan penambahan *plastilizer*, ataupun penambahan sika, dll.

#### 2.4. **Bakteri Sebagai Bahan Tambah Pada Beton**

Bakteri adalah makhluk mikrobiologi yang hidup dan sangat banyak disekitar kita, bentuknya yang sangat kecil sehingga tidak bisa dilihat dengan mata telanjang, seperti antara lain, berbentuk bulat (*kokus*), batang (*basil*), dan spiral (*sprilia*). bakteri memiliki struktur yang sederhana yaitu bersel tunggal (*uniseluler*), dan keberadaannya bisa di tanah, gurun, salju, udara, lautan hingga pada makanan. Karena keberadaannya tersebut bisa dikatakan kalau bakteri adalah makhluk hidup berukuran mikro yang paling terdekat dengan kita.

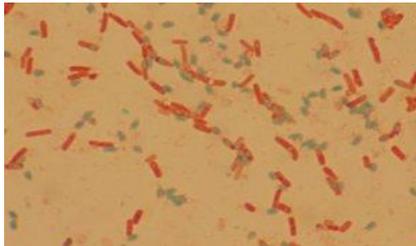
##### 2.4.1. **Bakteri *Bacillus Cereus***

Bakteri *Bacillus Cereus* adalah salah satu jenis bakteri yang digunakan untuk media restorasi (memulihkan seperti keadaan semula) pada struktur beton. bakteri ini banyak hidup dikehidupan sehari-hari yang memiliki banyak kandungan bakteri seperti yang diketahui adalah tanah dimana tanah adalah salah satu tempat tumbuh dan berkembangbiaknya bakteri, selain itu bakteir ini banyak ditemukan pada makanan yang sudah dibiarkan dingin.

Berdasarkan penelitian sebelumnya bakteri *bacillus* ditemukan pada nasi goreng yang sudah dingin, atau dibiarkan dingin disuhu ruangan. pada penelitian sebelumnya bakteri ini dapat tahan terhadap suhu panas atau lebih tahan terhadap bakteri kelas bacill yang lain.

Berdasarkan penelitian (ESR,2010) bakteri *cereus* berkembang pada temperature optimum 30°C-140°C dan sporanya tahan terhadap 100°C, resisten terhadap pH 4,5-9,3, *Bacillus cereus* memiliki beberapa karakter morfologi

diantaranya: gram positif dengan lebar sel 0,9 – 1,2  $\mu\text{m}$  dan panjang 3 – 5  $\mu\text{m}$ . selain itu bakteri *cereus* dikembangkan didalam *anaerobic agar* dan jika ingin memprosesnya menggunakan larutan *Nutrien broth*, dimana campuran dari *nutrient broth* sendiri menggunakan 99,3% aquades yang berat jenisnya sama dengan air yaitu 1000  $\text{kg/m}^3$ , sehingga jika ingin menggunakan bakteri ini sebagai campuran pada saat pembuatan beton bisa langsung disubstitusikan dengan air. Gambar spora bakteri *bacillus cereus* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bakteri *bacillus cereus* (sumber: Bottone, 2010)

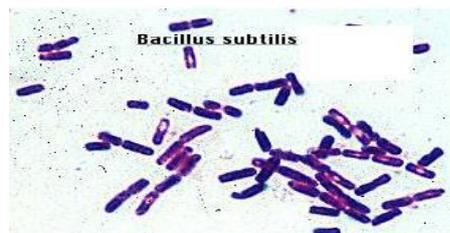
Proses pencampuran bakteri *bacillus cereus* kedalam campuran beton dilakukan substitusi terhadap air dengan cara, air yang akan digunakan dikali dengan persentase bakteri, hasil tersebut didapatkan kebutuhan bakteri, hasil dari kebutuhan bakteri tersebut dikurangkan dengan kebutuhan air dan hasil dari pengurangan air tersebut diganti dengan kebutuhan bakteri. Selain itu untuk berat jenis antara larutan bakteri dengan air yang akan digunakan nilainya sama sehingga *w/c* pada campuran beton tersebut tidak berubah dan hasilnya tetap sama.

#### **2.4.2. Bakteri *bacillus subtilis***

Bakteri *bacillus subtilis* adalah jenis bakteri yang banyak hidup di tanah bakteri ini adalah salah satu jenis bakteri yang bergenus *bacillus* dimana bakteri ini juga sudah banyak digunakan untuk penambahan bahan campuran pada beton *self healing concrete*, bakteri ini pada saat bekerja pada beton reksinya sama

dengan bakteri *cereus* yang membedakan bakteri *Bacillus cereus* lebih tahan suhu tinggi berdasarkan peneliti sebelumnya.

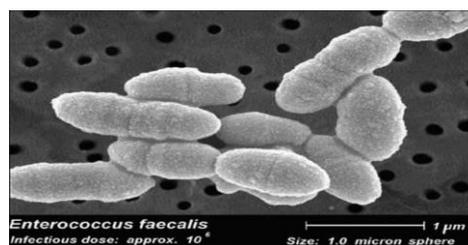
Menurut Sharma, (2016) bakteri *Bacillus Subtilis* memiliki beberapa keunggulan yaitu mampu membentuk *endospore* protektif ini terbentuk saat terjadi tekanan pada bakteri sehingga dapat memungkinkan bertahan pada kondisi yang ekstrim. *Endospore* protektif ini terbentuk saat terjadi tekanan pada bakteri sehingga dapat memungkinkan bertahan pada kondisi yang ekstrim. *Bacillus Subtilis* merupakan bakteri termofilik yang dapat hidup pada suhu 4°C -80°C.



Gambar 2.2. *Bacillus Subtilis* (sumber: Sharma, 2016)

#### 2.4.3. Bakteri *Enterococcus Faecalis*

Menurut Evan, (2002) *Enterococcus Faecalis* merupakan bakteri gram positif, berbentuk bulat dengan rantai yang kecil. Bakteri ini memiliki ciri yang khas, sehingga lebih mudah dibedakan dengan bakteri-bakteri yang lainnya dan juga merupakan bakteri fakultatif. Moghadas (2012) menjelaskan *Enterococcus Faecalis* berbentuk ovoid dan dalam karakteristiknya kadang tunggal, berpasangan atau membentuk rantai yang pendek dengan diameter 0,5-1µm seperti pada Gambar 2.3.

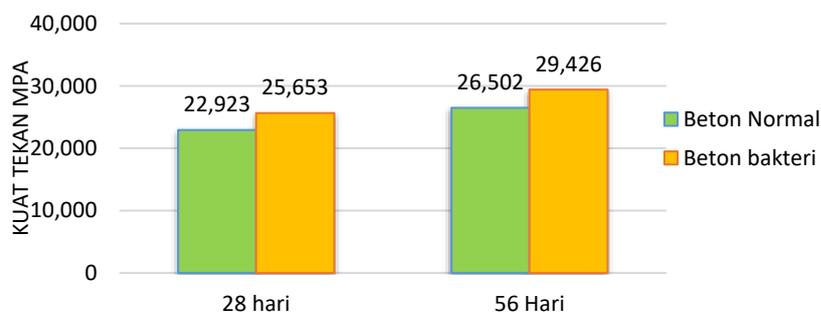


Gambar 2.3. *Enterococcus Faecalis* (Moghadas, 2012)

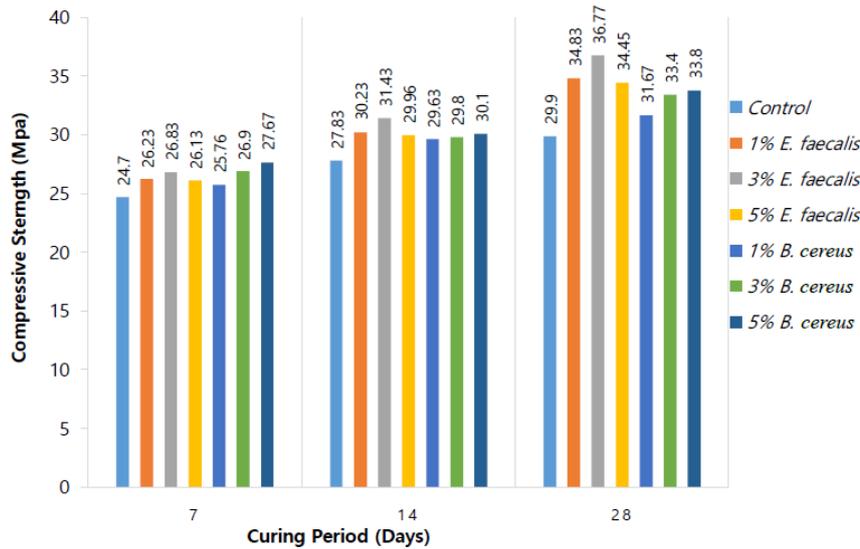
Berdasarkan penelitian Alshalif (2018) dengan menggunakan bakteri *Enterococcus Faecalis* dengan kadar persentase 1%, 3%, dan 5% terhadap air dapat meningkatkan kuat tekan masing-masing sebesar 16,5%, 22,97% dan 15,21% seperti pada Gambar 2.5. Jika melihat gambar tersebut dapat disimpulkan tren fluktuatif kuat tekan beton dengan persentase bakteri *Enterococcus Faecalis* optimum sebesar 3%.

## 2.5. Pengaruh Bakteri Terhadap Kuat Tekan Beton

Tujuan utama pada beton yaitu kualitas pada kuat tekan beton. Kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas yang dihasilkan oleh mesin tekan. Apabila beton diberi beban melebihi kapasitas beton maka beton akan hancur. Hasil dari pengujian kuat tekan beton digunakan untuk mengetahui kesesuaian campuran beton dengan spesifikasi beton yang diperlukan dalam suatu konstruksi. Beberapa studi yang berkaitan dengan pengaruh bakteri terhadap kuat tekan beton contohnya penelitian dilakukan oleh Elisa (2018), Dalam penelitian yang dilakukannya ia menggunakan benda uji silinder 15x30 dengan bahwa penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 15,64% pada umur beton 28 hari dan 14,71% pada umur 56 hari seperti pada Gambar 2.4. Penelitian dari Alshalif (2018) menyatakan *penambahan Bacillus Cereus* meningkatkan kuat tekan sebesar 13% dan penambahan bakteri *Enterococcus Faecalius* meningkatkan kuat tekan terbesar 22,97% pada umur 28 hari seperti pada Gambar 2.5.



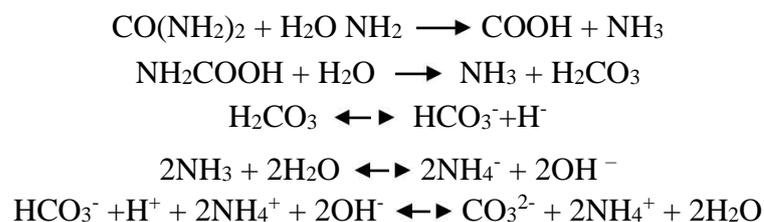
Gambar 2.4 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Pulih Mandiri Terhadap Umur Benda Uji. (Elisa, 2018)



Gambar 2.5 Kuat Tekan Untuk Beton Pulih Mandiri Dengan *E. faecalis* dan *B. Cereus* (Alshalif, , 2018)

## 2.6. Mekanisme Proses Bakteri Pada Mekanisme Pembentukan CaCo<sub>3</sub> Pada *Self-Healing Concrete*

Penelitian oleh hyun jung et al (2016) mengenai pembentukan biomineral mengatakan bahwa pembentukan CCP (*Calcium Carbonat Precipitation*) dengan kadar tinggi dipengaruhi dari aktivitas mikroorganisme serta muncul akibat adanya kontrol biologis, oleh sebab itu berdasarkan penelitian tersebut perlu menentukan jenis oraganisme yang tepat untuk dapat digunakan pada proses ini. Dimana dibutuhkan bakteri yang bisa tahan terhadap alkali, lingkungan dengan kadar garam yang tinggi dan bisa tahan terhadap panas. Maka disimpulkan mikroorganisme yang bisa melengkapi itu semua salah satunya bakteri *bacillus* sp (*bacillus cereus*).



## 2.7. Kuat Tekan Beton (*Compressive Strenght*)

Kuat tekan beton adalah dimana suatu proses yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan terhadap beton (mutu beton). Menurut SNI 1974-2011 cara menghitung kuat tekan benda uji adalah dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan sebagaimana yang diuraikan pada pasal 5 dinyatakan hasilnya pembulatan satu desimal dengan satuan 0.1 MPa.

Dinyatakan dengan Rumus 2.1.

$$f'c = \frac{P}{A} \text{-----} (2.1)$$

Dengan :

P = gaya maksimum dari mesin tekan (N)

A = luas penampang yang diberi tekanan (mm<sup>2</sup>)

f'c = kuat tekan (MPa) atau N/mm<sup>2</sup>

## 2.8. Kuat Tarik Belah

Pengujian tarik belah beton dilakukan dengan memberikan pembebanan tegak lurus sumbu benda uji. Kuat tarik belah beton relatif lebih kecil dibandingkan kuat tekannya. Menurut SNI 03-2847-2002, kuat tarik belah beton dapat dihitung menggunakan Rumus 2.2.

$$Fct = \frac{2P}{\pi LD} \text{-----} (2.2)$$

Dengan:

Fct = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

## 2.9. Kuat Tarik Lentur

Pengujian kuat tarik lentur beton menggunakan benda uji berbentuk balok, yang diletakkan pada dua perletakan, kemudian dibebani dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah. Pada saat dibebani, benda uji akan mengalami deformasi dan menimbulkan momen lentur sebagai bentuk perlawanan beton. Kuat tarik lentur pada beton dapat dihitung menggunakan Rumus 2.3:

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2} \text{-----(2.3)}$$

Dengan:

$f_r$  = Kuat tarik lentur (MPa)

$P$  = Beban pada waktu lentur (kN)

$a$  = Jarak dari perletakan ke titik pembebanan (mm)

$b$  = Lebar penampang balok (mm)

## 2.10. Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

### 1. Rasio Air dan Semen

Rasio air dan semen (W/C) merupakan salah satu yang mempengaruhi kualitas beton terutama pada kekuatan beton, jika air terlalu banyak maka dapat mengalami bleeding dan dapat terjadi segregasi, selain itu jika air tersebut kurang maka dapat terjadi kekeringan sehingga dapat terjadi keropos dan berongga, oleh sebab itu sangat diperhatikan sekali air pada pencampuran beton ini karena dapat mempengaruhi kekuatannya.

### 2. Metode Pelaksanaan

Metode atau cara pelaksanaan yang salah dapat mempengaruhi kualitas beton, seperti setting time, dan kecepatan serta prosedur pencampuran material yang salah, penjatuhan beton mortar dan penggetaran yang terlalu lama dapat menjadikan beton mengalami *bleeding*.

### 3. Rasio Massa Agregat halus dan Prekursor

Perbandingan antara massa agregat halus dan prekursor pada campuran beton *self healing concrete* mempengaruhi karakteristik beton yang dihasilkan, jika campuran beton tidak menggunakan agregat halus, kuat tekan beton kecil.

### 4. Perawatan

Perawatan beton sangat menjadi perhatian karena jika tidak dilakukan perawatan maka dapat terjadi penguapan oleh beton sehingga dapat mempengaruhi kualitas beton, ada beberapa metode perawatan yang biasa dilakukan yaitu, metode perendaman, metode wiping, metode steam, dan penyiraman sehingga dengan perawatan yang maksimal dapat menjadikan beton mencapai mutu rencananya pada umur maksimalnya.

## 2.11. Pengujian Himasitometer

Pengujian Himasitometer bertujuan untuk mengetahui banyak populasi sell bakteri pada setiap chamber. Pada pembuatan bakteri *bacillus cereus* yang dilakukan di laboratoriom microbiologi, dengan tahapan peremajaan awal dari isolat gel miring (na agar), dengan kebutuhan setiap 1 liter larutan natrium broth menggunakan 4 botol kaca miring bakteri *bacillus cereus* yang telah diremajakan.

Pada pembuatan larutan nutrisi cair (larutan *natrium broth*) perencanaan awal dengan mencampur *nutrient broth* sebanyak 8 gram dengan aquades sebanyak 1 liter menggunakan gelas ukur berupa *erlenmayer* dengan volume minimal 1 liter, *nutrient broth* sendiri berfungsi sebagai nutrisi bagi bakteri *bacillus cereus* pada larutan tersebut, setelah itu dilakukan pengenceran melalui pemanasan dengan menggunakan *hotplate* hingga larut atau tidak ada butiran sama sekali, kemudian didiamkan hingga larutan tersebut dingin, setelah larutan mendingin ambil larutan *natrium broth* yang sudah siap dan masukkan kedalam tabung *natrium agar* yang terdapat bakteri *bacillus cereus* didalam tabung kaca sebanyak 10 ml per tabung kaca, lalu tabung kaca yang sudah berisi larutan *Natrium broth* tersebut dikorek pada permukaan *natrium agar* yang berwarna putih hingga warna putih tersebut lepas, setelah lepas masukan kembali larutan

tersebut kedalam *erlenmeyer* yang berisi larutan *sodium broth*. Setelah dimasukkan larutan tersebut dilakukan inkubasi selama 12 jam dan selama inkubasi larutan tersebut diaduk dengan cara digoyang *erlenmeyer* tersebut oleh mesin inkubasi yang bertujuan supaya perkembangan bakteri pada larutan *sodium broth* tetap *homogen*.

Setelah diinkubasi larutan tersebut pada alat incubator dapat diamati dengan melihat kepadatan populasi bakteri menggunakan *hemacytometer* dan pembesaran menggunakan mikroskop, larutan yang sudah siap diambil sebanyak 1 ml menggunakan *micropipet* lalu diletakkan diatas *hemacytometer* dan dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop. Pada alat *hemacytometer* terdapat 9 kotak besar dan pada setiap 1 kotak besar terdapat 16 kotak kecil yang disebut *chamber*, untuk pengamatan sendiri diambil 5 kotak besar dengan nomor kotak 1,3,7,9 yang berada disetiap sudut dan nomor kotak 5 yang terletak ditengah. Setelah itu dilihat dan dibaca banyak bakteri yang berada disetiap *chamber* pada masing-masing kotak, setelah itu jumlah tersebut diratakan sehingga didapat satuannya *cell/chamber*.

Hasil tersebut dikalikan dengan faktor koreksi *hemacytometer* yaitu 25 dan faktor koreksi mikroskop  $10^3$ , didapatkan hasil  $10^6$  *cell/ml*, jika tidak mendapatkan hasil tersebut dengan hasil  $<10^6$  maka dilakukan inkubasi ulang kedalam incubator selama 12 jam tetapi jika mendapatkan hasil  $>10^6$  dilakukan pengenceran ulang, hingga hasil tersebut memenuhi populasi dan lakukan pembuatan tersebut hingga sesuai kebutuhan yang akan digunakan untuk campuran beton nanti, selama proses jika pembuatannya sudah berhasil maka hasil pengenceran tersebut diletakkan pada suhu minimal  $4^{\circ}\text{C}$  untuk menghambat pertumbuhan bakteri sampai dibutuhkan pada waktu pengecoran.

## **2.12. Pengujian Slump**

Pengujian *slump* adalah menguji kekentalan pada saat beton plastis yang bertujuan untuk mengetahui homogen atau tidaknya struktur beton yang ada didalam Menurut SNI 1972-2008 Tentang tata cara pengujian slump dimana pengujian slump dilakukan menggunakan alat *slump test*.

*Slump flow test* adalah pengujian beton segar untuk mengetahui *flowability* sebelum dilakukan pencetakan. Pengujian *slump flow* dilakukan berdasarkan standar ASTM C230 yang menggunakan alat *slump cone* atau *flow table*. Ujung kerucut diletakkan terbalik, yaitu diameter yang lebih kecil diletakkan di bawah. Dasar pengujian menggunakan papan datar berukuran 900 x 900 mm. Pengujian beton segar dilakukan dengan menuangkan beton segar ke dalam *slump cone* sampai penuh. Setelah mengisis penuh, selanjutnya mengangkat *slump cone secara vertikal*, dan mengukur lebar tumpahan beton.

### **2.13. Aplikasi *Self Healing Concrete* Terhadap Infrastruktur Yang Rendah Biaya**

Beton pulih mandiri (*Self Healing Concrete*) untuk pengaplikasiannya dapat digunakan pada beton struktural ataupun nonstruktural, dimana infrastrukturnya bisa digunakan untuk beton bertulang untuk balok, kolom dan pelat lantai, kemudian dapat digunakan untuk pemelasteran dinding bata havel, beton ini juga sangat baik untuk pembuatan jalan tol dan infrastruktur megaproyek baik itu bangunan pencakar langit, jalan tol, bendungan dan jembatan.

### **BAB III**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan menggunakan bahan utama campuran pada penelitian ini adalah bakteri *bacillus cereus*, Penelitian ini melakukan beberapa pengujian untuk beton segar yaitu pengujian slump *flow test*. Pada pengujian beton yang telah berumur 7, 14, 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian permeabilitas hanya dilakukan pada umur 28 hari. Benda uji yang digunakan adalah mould silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. sehingga hasil penelitian tersebut dapat mengetahui komposisi beton yang optimum untuk masing-masing campuran *self healing concrete*.

Bakteri *Bacillus cereus* yang digunakan yaitu dengan cara diencerkan sampai populasi bakteri hingga  $10^6$  sel/ml dengan variasi 0%, 4%, 5% dan 6% terhadap air. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui seberapa besar pengaruh bakteri tersebut dalam campuran beton. Prosedur atau tahapan pada pembuatan *self healing concrete* ini antara lain sebagai berikut:

1. Pengujian agregat halus dan agregat kasar
2. Perancangan JMF(*Job Mix Formula*)
3. Pembuatan dan perhitungan kebutuhan Bakteri *Bacillus Cereus*
4. Pengukuran setiap bahan material yang dibutuhkan
5. Pencampuran bakteri dan material secara langsung
6. Pelepasan bekisting dan dilakukan perawatan dengan cara perendaman
7. Pengujian Berat Jenis Beton
8. Pengujian kuat tekan beton usia 7,14 dan 28 hari
9. Pengujian Absorpsi air
10. Pengujian SEM
11. Lakukan analisa dan Pembahasan
12. Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan pada laporan ini diambil dari berbagai sumber seperti; diambil dari jurnal, buku, tulisan ilmiah, modul praktikum maupun internet yang berhubungan dengan topik, dan peraturan ACI, SNI, sehingga pemahaman terhadap penelitian ini lebih matang dan hasil tersebut dapat digunakan lagi baik dan dapat menjadi sebagai penelitian lanjutan ataupun pengaplikasian baik skala laboratorium maupun skala lapangan. Selain itu studi literatur ini menjadi acuan bagi peneliti untuk melakukan penelitian selanjutnya untuk membahas apakah yang bisa diteliti lebih lanjut dari literatur sebelumnya dengan hasil yang seperti dengan perencanaan yang dibuat.

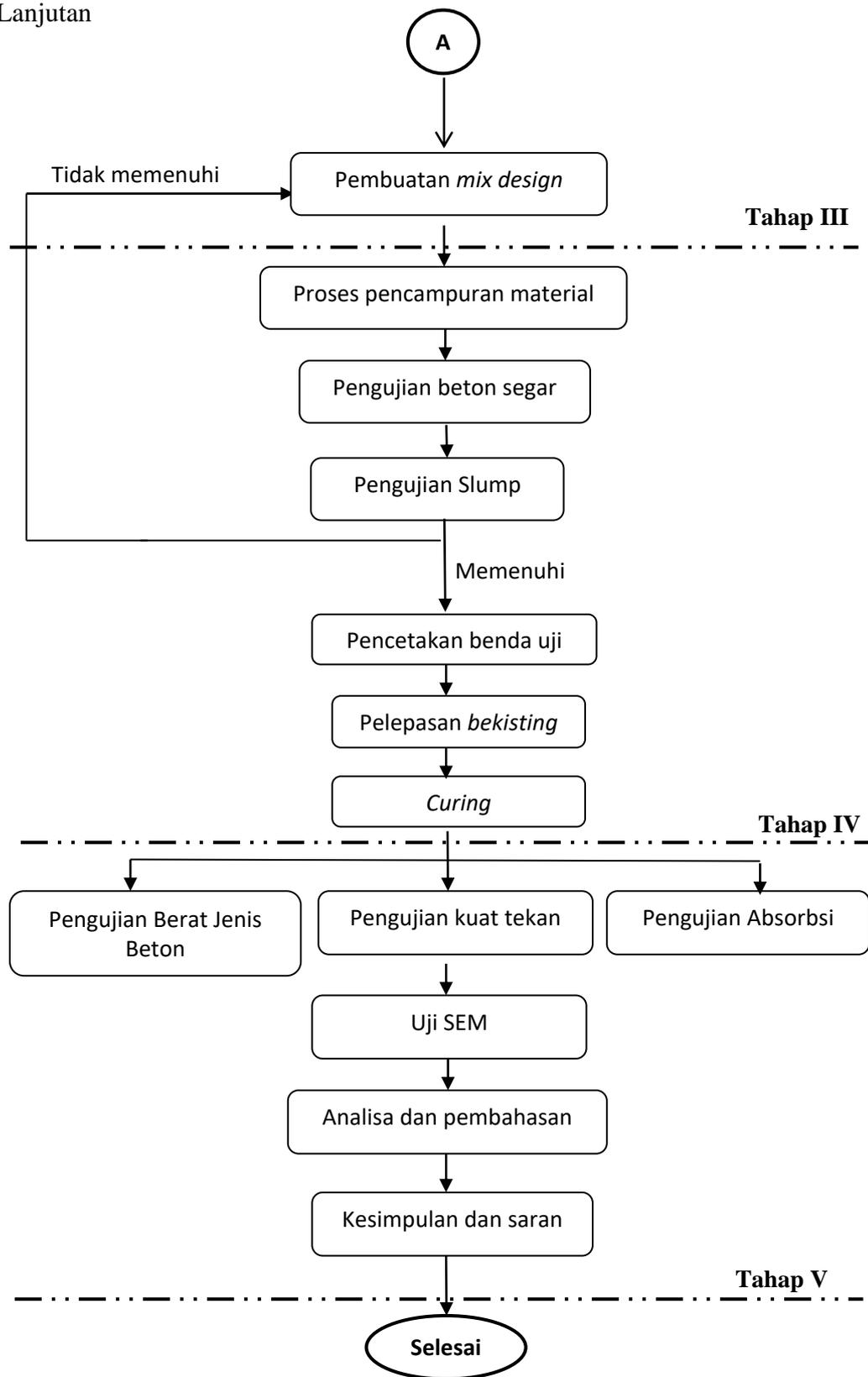
### 3.2. Alur Penelitian

Alur penelitian ini menggunakan diagram alir, merupakan diagram yang digunakan untuk melakukan perencanaan penelitian dan analisis proses sebagai standar pedoman penelitian untuk memudahkan tahapan penelitian. Penelitian ini dibagi kedalam lima tahap. Tahap pertama terdiri dari studi literatur dan persiapan penelitian. Tahap kedua terdiri dari pengujian awal material. Tahap ketiga terdiri dari pembuatan *mix design* dan perencanaan. Tahap keempat terdiri dari proses pencampuran hingga *curing* benda uji. Tahap kelima terdiri dari pemilihan sampel hingga penarikan kesimpulan pada tahapan ini merupakan hasil dari penelitian yang didapat dan menjadi pedoman untuk dapat diaplikasikan atau tidak kedepannya.

Tahapan pertama diagram alir menggunakan dua tahapan yang berbeda dimana tahapan persiapan alat dan persiapan material dari laboratorium microbiologi dan sebagian lagi dilakukan pada laboratorium bahan dan beton, selain tahapan pertama tahapan kedua juga menjelaskan pengujian material ditempat yang berbeda tahapan pengujian pertama dilakukan di laboratorium microbiologi, dan tahapan pengujian satunya dilakukan di laboratorium bahan dan beton, sedangkan pada tahapan 3, 4 dan 5 tahapan tersebut menjelaskan setiap proses pada pembuatan, dan pada pengujian hasil hingga pembuatan kesimpulan dilakukan secara berurutan. Diagram alir dapat dilihat pada gambar 3.1



Lanjutan



Gambar 3.1. Diagram Tahapan metodologi penelitian

### 3.3. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari alat pengambilan dan pengangkutan material, alat penempatan material, alat pencampuran material, alat pencetakan benda uji, alat perawatan benda uji, alat pengujian beton segar, dan alat pengujian sampel beton. Peralatan yang dipakai pada penelitian ini meliputi sekop, pan, timbangan, gelas ukur, alat pemeriksaan zat organik agregat halus, oven, saringan, mikroskop cahaya, tabung reaksi, erlenmeyer, autoclave, *magnetic stirrer*, hemasitometer, *mixer concrete*, *baseplate*, kerucut abrasif, tongkat baja, *bekisting* silinder, *Universal Testing Machine* (UTM), alat uji SEM, dan alat uji permeabilitas, penjelasan alat pada penelitian ini yaitu:

#### 1. Sekop

Alat yang dapat digunakan untuk mengambil material, mengaduk material dan meretakan beton segar

#### 2. Pan

*Pan* atau bisa disebut sebagai wadah yang berbahan *stainless* ini berfungsi untuk tempat material, yang dapat digunakan untuk menimbang, menaruh material kedalam oven ataupun pada saat ingin mencampurkan material kedalam mixer.

#### 3. Timbangan

Timbangan yaitu alat yang digunakan untuk mengukur berat dimana pada penelitian ini timbangan yang digunakan ada 2 yaitu timbangan digital dan konvensional, untuk timbangan konvensional dapat menimbang hingga puluhan kg, sedangkan timbangan digital hanya maksimum 5 kg.

#### 4. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah untuk menampung air sehingga memudahkan pada saat mengukur atau penimbangan air, gelas ukur tersebut juga difungsikan untuk mengukur larutan bakteri *bacillus cereus* yang disubstitusikan terhadap air dan dapat menuangkan larutan dengan mudah.

#### 5. Alat Pemeriksaan Zat Organik pada Agregat halus

Alat pemeriksaan zat organik pada agregat halus adalah *Organic plate*, botol bening terbuat dari kaca dan NaOH seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Alat Pemeriksaan Zat Organik

## 6. Oven

Oven adalah alat yang berfungsi untuk mengeringkan material baik dalam pengujian untuk pemeriksaan agregat halus, maupun agregat kasar. Gambar oven dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Oven

## 7. Saringan

Agregat yang digunakan pada penelitian ini disaring terlebih dahulu. Untuk Agregat halus berupa pasir disaring dengan lolos saringan no.80 atau berukuran 1,18 mm.. Sedangkan agregat kasar berupa batu pecah yang menggunakan lolos saringan No.10 tertahan 40 berukuran 20-30 mm.

## 8. Mikroskop cahaya

Mikroskop ini merupakan jenis mikroskop yang menggunakan cahaya tampak dan sistem lensa yang berfungsi untuk memperbesar sampel berukuran micr, pada penelitian ini mikroskop digunakan untuk mengamati bakteri bacillus

cereus yang menjadi bahan tambahan untuk campuran beton SHC. adapun gambar tersebut seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Mikroskop Cahaya

#### 9. Tabung reaksi

Tabung reaksi pada penelitian ini bertujuan untuk menaruh atau tempat bakteri bacillus cereus hidup. Gambar tabung reaksi seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Tabung Reaksi

#### 10. Erlenmenyer

Pada penelitian ini erlenmenyer bertujuan untuk tempat pencampuran bakteri dengan alkali ataupun medium. Gambar erlenmenyer seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Erlenmenyer

### 11. Autoclave

Autoclave digunakan untuk mensterilkan peralatan dan perlengkapan laboratorium seperti *erlenmeyer* dan tabung reaksi dengan cara menghembuskan uap bertekanan tinggi jenuh dengan suhu 121°C selama 15-20 menit.

### 12. *Magnetic stirrer* dan *hot plate*

*Magnetic Stirrer* merupakan alat pengaduk berbasis magnetik untuk menggerakkan batang pengaduk. Keunggulan dari alat ini adalah pada bagian plate dapat memancarkan energi panas untuk mendidihkan sampel serta kecepatan batang pengaduk dapat diatur hingga 1500 RPM, selain itu *Magnetic Stirrer* digunakan untuk proses homogenisasi sampel. *Magnetic Stirrer* yang digunakan adalah seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Magnetic Stirrer* dan Hot Plate

### 13. Hemasitometer

Hemasitometer digunakan untuk mengetahui konsentrasi sel selain itu himasitometer membutuhkan alat tambahan pembesaran seperti mikroskop cahaya. Keunggulan dari Hemasitometer adalah dapat menghitung jumlah sel secara cepat. Untuk hemasitometer yang digunakan seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Hemasitometer

#### 14. *Mixer concrete*

*Mixer concrete* atau mesin pencampur digunakan untuk mengaduk semua bahan material penyusun beton. *Mixer* yang digunakan pada penelitian ini memiliki 3 *blade* yang berfungsi sebagai pengaduk agar material yang dimasukkan ke dalam *mixer* dapat tercampur dengan rata, kekurangan *mixer* ini tidak dilengkapi pengatur kecepatan putaran.

#### 15. Alat uji *slump*

Alat *slump test* yang digunakan yaitu alat berbentuk kerucut atau yang disebut dengan kerucut abram merupakan berbentuk kerucut dan mempunyai diameter 10 cm untuk bagian atas dan 20 cm untuk bagian bawah, tinggi 30 cm serta baseplate yang memiliki ukuran 60 cm x 60 cm. *Slump test* juga dilengkapi dengan tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm yang berfungsi meratakan sample selain itu dibutuhkan meteran untuk mengukur slump dan sendok semen untuk memindahkan beton segar. Adapun alat *slump test* yang digunakan dapat di lihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Slump- test*

#### 16. *Bekisting* silinder

*Bekisting* yang digunakan Pada penelitian ini yaitu *bekisting* berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm

#### 17. *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM atau Alat uji kuat tekan yang digunakan pada peneltian ini yaitu dilengkapi dengan alat pembaca hasil digital dari kuat tekan beton, gambar UTM dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. *Universal testing machine*

#### 18. Alat Pengujian SEM

Alat pengujian SEM pada penelitian ini merupakan alat SEM di Laboratorium Forensik Polda, Palembang, adapun alat uji SEM seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Alat pengujian SEM (Sumber: Lab For Polda Palembang, 2019)

#### 3.4. Persiapan Material Penyusun *Self-Healing Concrete*

Mempersiapkan material adalah hal utama yang harus dilakukan sebelum melakukan suatu penelitian. Material tersebut digunakan untuk pembuatan sample beton. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan bakteri *Bacillus Cereus*. Mempersiapkan material sebelum penelitian agar pada saat pembuatan benda uji tidak mengalami kekurangan material.

### 1. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merek semen baturaja.

### 2. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang bisa digunakan untuk konsumsi sebaiknya dengan PH 7 untuk air yang digunakan pada penelitian ini yaitu air yang berasal dari sumur bor Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.

### 3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir alam yang berasal dari Tanjung Raja dengan lolos saringan no.16 atau berukuran 1,18 mm. Pada pengujian agregat halus dilakukan pengujian analisa saringan, berat volume, specific gravity, kadar lumpur, dan sebagainya.

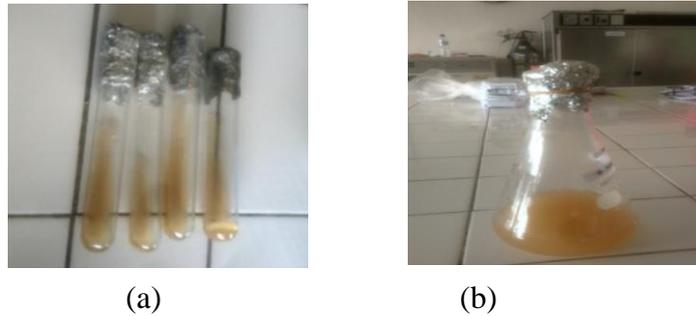
### 4. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah Tanjung raja. Ukuran agregat kasar yang digunakan batu pecah dengan ukuran maksimum 30 mm.

### 5. Bakteri *Bacillus Cereus*

Bakteri *Bacillus Cereus* adalah salah satu bakteri yang dapat digunakan sebagai bahan campuran pada pembuatan beton, yang dikarenakan bakteri tersebut dapat membentuk spora, selain itu Spora *Bacillus cereus* lebih tahan pada panas kering daripada pada panas lembab dan dapat bertahan lama pada produk yang kering bakteri ini lebih tahan terhadap panas.

Bakteri jenis *Bacillus Cereus* diperoleh dari Laboratorium Stify Palembang, berbentuk isolat gel agar miring, selanjutnya dilakukan pengenceran dengan bahan dasar *Nutrient Broth* hingga  $10^6$  sel/ml dengan menggunakan alat uji hemasitometer dan mikroskop cahaya seperti pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.3. Adapun Gambar 3.11 yang menunjukkan hasil isolat dan pengenceran bakteri *Bacillus Cereus*.



Gambar 3.11. *Bacillus Cereus*; (a). Isolat *Bacillus Cereus* ; (b). Hasil pengenceran isolat hingga  $10^5$  sel/ml

### 3.5. Tahapan Pengujian di Laboratorium

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam pengujian dilaboratorium. Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan.

#### 3.5.1. Tahap I

Tahap I merupakan tahapan penyiapan material dan peralatan. Material yang perlu dipersiapkan adalah air, semen PCC, agregat halus, agregat kasar, dan hasil pengenceran bakteri *Bacillus Cereus*. Peralatan yang perlu dipersiapkan adalah alat pengujian kuat tekan, alat Pengujian SEM, alat pengujian *Los Angeles*, alat pemeriksaan zat organik pada agregat halus, tabung reaksi, *erlenmeyer*, *autoclave*, *magnetic stirrer* dengan *hotplate*, *hemasitometer*, mikroskop cahaya, *mixer* pengaduk adukan beton, gelas ukur, alat timbang, alat *slump test*, dan *bekisting silinder*. Kegiatan pengenceran material seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.12. Pembuatan media pengenceran isolat *Bacillus Cereus*

### 3.5.2. Tahap II

Tahap II merupakan tahapan pengujian agregat halus dan agregat kasar, Pemeriksaan karakteristik agregat halus dan kasar dilakukan berdasarkan standar ASTM, dengan perincian sebagai berikut:

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus .
2. Pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton
3. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI-1969-2008.
4. Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles berdasarkan SNI-2417-2008
5. Perhitungan sel dengan alat pengujian Hemasitometer berdasarkan modul praktikum laboratorium mikrobiologi fakultas MIPA Unsri
6. Pengujian mikroskopik dengan menggunakan alat mikroskop cahaya berdasarkan modul praktikum laboratorium mikrobiologi fakultas MIPA Unsri

### 3.5.3. Tahap III

Tahap III merupakan tahap penentuan komposisi campuran SHC. Komposisi campuran SHC dilakukan dengan pengumpulan data dari jurnal dan standar SNI dan ACI. Material yang digunakan terdiri dari semen PCC agregat kasar ukuran maksimum 30 mm, agregat halus lolos saringan no 16, air, dan hasil pengenceran isolat bakteri *Bacillus Subtilis*. Komposisi campuran SHC yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi campuran SHC dalam 1m<sup>3</sup>

Kode	Semen PCC (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (liter)	Bakteri B. Cereus (%air)	Kepadatan Bakteri (cfu/ml)
B0	482,80	577,785	1048,32	217,3	0	0
B4	482,80	577,785	1048,32	217,3	4	10 <sup>6</sup>
B5	482,80	577,785	1048,32	217,3	5	10 <sup>6</sup>
B6	482,80	577,785	1048,32	217,3	6	10 <sup>6</sup>

#### 3.5.4. Tahap IV

Tahap IV merupakan tahap pengecoran benda uji SHC di Laboratorium Beton Teknik Sipil Unsri. Benda uji di cetak dalam *bekisting* silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.

Proses pengujian *slump* dilakukan setelah semua proses pencampuran material selesai. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan workability dari beton segar. Proses pengujian *slump* seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Proses pengujian *slump flow*

Setelah pengujian *fresh concrete*, benda uji dicetak pada *bekisting* silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah berumur 1 hari, *bekisting* dibuka untuk dilakukan *curing* pada benda uji. *Curing* dilakukan dengan cara direndam didalam air sesuai dengan SNI-2493-2011. Selama pelaksanaan pembuatan beton jumlah pencampuran, metode pelaksanaan, dan waktu pelaksanaan harus sangat diperhatikan karena selama proses tersebut dapat mempengaruhi w/c pada beton tersebut, sehingga jika melakukan pembuatan sampel beton yang banyak, dengan hanya mempunyai alat yang memadai, maka sebaiknya semua proses tersebut diperhatikan dengan cara menggunakan data yang sama baik pada saat pencampuran, waktu pencampuran dan metode yang sama dengan pembuatan sebelumnya sehingga mendapatkan hasil w/c yang sama.

### **3.5.5. Tahap V**

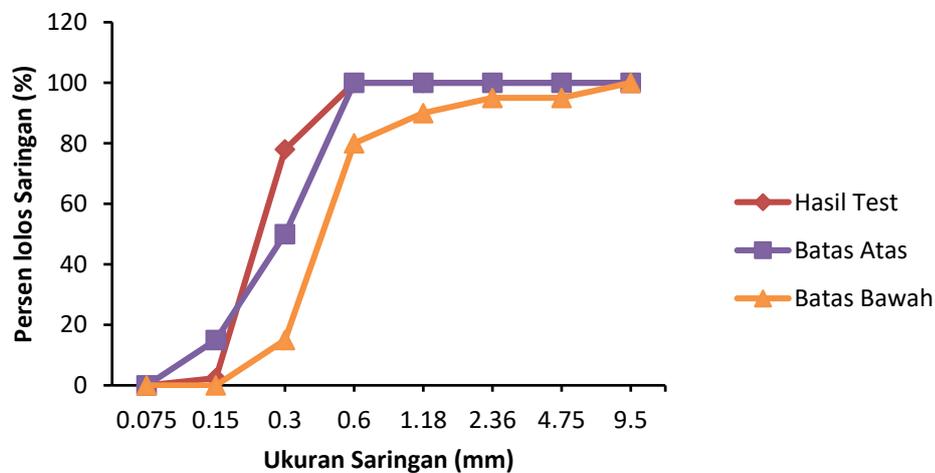
Tahap V merupakan tahap pengujian pada benda uji. Pengujian yang pertama adalah pengujian uji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Data hasil pengujian tersebut akan dibuat grafik perbandingan antara kuat tekan dan hari. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian SEM. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Forensik Polda, Palembang, waktu pengujian benda uji umur 28 hari, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan serta penarikan kesimpulan dari hasil uji SEM.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

#### 4.1.1. Analisa Saringan

Standar untuk pengujian analisa saringan pada agregat halus yaitu menggunakan standar ASTM C 136. Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini yaitu menggunakan 500 gram pasir yang disaring dengan urutan saringan sesuai dengan standar yang dilakukan selama 15 menit penyaringan. Hasil yang didapat pada analisa saringan agregat halus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Hasil pengujian agregat halus berada dalam kurva gradasi dengan persentase lolos kumulatif saringan 4,75 mm sebesar 100 %, saringan 2,36 mm sebesar 100 %, saringan 1,18 mm sebesar 100 %, saringan 0,60 mm masih 100 %, saringan 0,30 mm sebesar 78 %, saringan 0,15 mm sebesar 2,4 % dan saringan 0,075 mm tidak terdapat agregat yang artinya sudah 0 %. Modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat halus didapat 1,196. Hasil pengujian analisa saringan

menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan masuk dalam batas gradasi zona 4 yang artinya agregat halus yang digunakan sangat halus.

#### **4.1.2. Pemeriksaan Zat Organik**

Standar yang digunakan pada pengujian zat organik ini mengacu pada ASTM C 40. Hasil pengujian zat organik yang menggunakan pelat organik didapatkan hasil NO.2, yang menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan memenuhi syarat pembuatan beton SHC.

#### **4.1.3. Pemeriksaan Kadar Lumpur**

Hasil dari pengujian kadar lumpur yang mengacu pada ASTM C 142. Menunjukkan persentase dari kadar lumpur dalam agregat halus sebesar 0,498% persentase dari pemeriksaan ini menunjukkan kurang dari 5% berdasarkan persyaratan dari ASTM C 142-97 bahwa hasil tersebut dapat menggunakan agregat halus ini sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton *self healing concrete*.

#### **4.1.4. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus**

Standar yang digunakan pada pengujian berat volume agregat halus mengacu pada ASTM C 138. Hasil dari pengujian tersebut didapatkan berat volume gembur sebesar 1,287 kg/Liter dan berat volume padat sebesar 1,425 kg/Liter.

#### **4.1.5. Pemeriksaan *Specific Gravity* dan Penyerapan Agregat Halus**

Standar yang digunakan pada Pengujian *specific gravity* dan penyerapan agregat halus yaitu mengacu pada ASTM C 136. Hasil dari pemeriksaan tersebut menjadi parameter dalam merencanakan komposisi pembuatan pada pencampuran beton *self healing concrete*. Berdasarkan dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut dapat digunakan untuk

penelitian dalam pencampuran beton *self healing concrete* seperti ditampilkan pada tabel 4.1.

Hasil dari pemeriksaan tersebut agregat halus yang digunakan memiliki *apparent spesific gravity* 2,582. Berat jenis (*bulk spesific gravity*) pada kondisi kering adalah 2,428 dan pada kondisi SSD sebesar 2,488, persentase penyerapan agregat halus terhadap air sebesar 2,07%.

Tabel 4.1. Hasil pengujian *specific gravity* dan penyerapan agregat halus

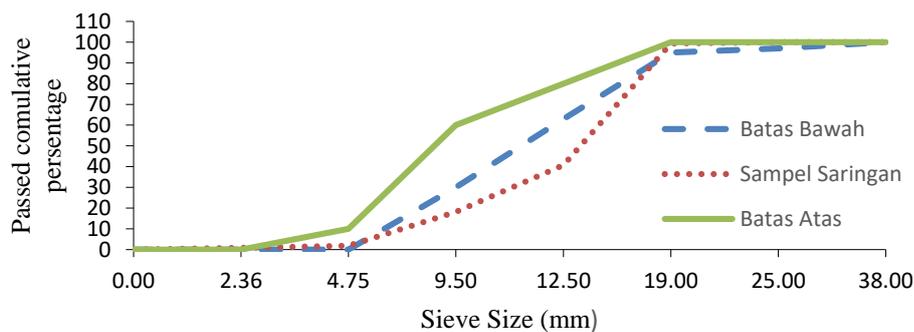
Parameter	Hasil
<i>Specific gravity dan penyerapan</i>	
- <i>Apparent specific gravity</i>	2,582
- <i>Bulk specific gravity (kondisi kering)</i>	2,428
- <i>Bulk specific gravity (kondisi SSD)</i>	2,488
Persentase penyerapan absorpsi air	2,07 %

## 4.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

### 4.2.1. Analisa Saringan

Hasil dari pengujian analisa saringan pengujian agregat kasar menggunakan saringan ukuran 2,36 mm, 4,75 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm, 25 mm dan 38 mm. Dari hasil analisa saringan agregat kasar tersebut menunjukkan, persentase kumulatif tertahan pada saringan ukuran 25 mm masih 0% , pada saringan ukuran 19 mm sebesar 0,64%, pada saringan ukuran 12,5 mm sebesar 59,28%, pada saringan ukuran 9,5 mm sebesar 81,84%, pada saringan ukuran 4,75 mm sebesar 98,16% dan pada saringan ukuran 2,36 mm sebesar 99,2%.

Modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat kasar didapat 3,3192. Hasil pengujian analisa saringan menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran berkisaran antara 0,15 sampai 0,3 mm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar

#### 4.2.2. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar

Pada pemeriksaan berat volume agregat kasar prosedur yang dilakukan hamper sama dengan prosedur pengujian berat volume agregat halus, Hasil dari pengujian tersebut didapatkan berat volume padat sebesar 1,478 kg/Liter dan berat volume gembur sebesar 1,385 kg/Liter.

#### 4.2.3. Pemeriksaan *Specific Gravity* dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil dari pemeriksaan tersebut agregat kasar yang digunakan memiliki *apparent spesific gravity* 2,725. Berat jenis (*bulk spesific gravity*) pada kondisi kering adalah 2,58 dan pada kondisi SSD sebesar 2,668, persentase penyerapan agregat halus terhadap air sebesar 1,256%. Hasil tersebut seperti dijelaskan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data hasil pemeriksaan *specific gravity* dan penyerapan agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	<i>Bulk spesific gravity</i> (kondisi kering)	2,58 gr
2	<i>Apparent spesific gravity</i>	2,725 gr
3	<i>Bulk spesific gravity</i> (kondisi SSD)	2,668 gr
4	Persentase penyerapan air	1,256 %

### 4.3. Hasil Pengujian Bakteri *Bacillus Cereus*

Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan yaitu dengan cara pengamatan menggunakan pengamatan mikroskop dan pengamatan himasitometer, hasil dari pengamatan bakteri tersebut bertujuan untuk mengetahui keberadaan bakteri dalam suatu larutan dan untuk pengamatan bakteri menggunakan himasitometer, bertujuan untuk mengetahui jumlah populasi bakteri *bacillus Cereus* dalam suatu larutan natrium.

#### 4.3.1. Pengamatan mikroskop

Pengujian mikroskop dilakukan untuk memperbesar bayangan pada benda yang tidak dapat dilihat dengan kasat mata secara langsung dikarekan sample pengamatan yang terlalu kecil untuk dilihat sehingga perlu alat tambahan berupa alat mikroskop. Hasil pengamatan pada *bakteri cereus* menggunakan mikroskop menunjukkan bahwa adanya kehidupan dan perkembangan bakteri *Bacillus Cereus*. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar. 4.3.



Gambar 4.3. Hasil pengamatan bakteri *Bacillus Cereus*

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diamati bahwa bakteri *Bacillus Cereus* adalah bakteri yang berbentuk batang atau basil dengan ukuran panjang sekitar 3-5 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) dan lebar 0,9-1,2  $\mu\text{m}$ .

### 4.3.2. Pengujian hemasitometer

Pengamatan ini dilakukan menggunakan alat himasitometer yang bertujuan untuk melakukan perhitungan sel secara cepat dengan bantuan tambahan menggunakan mikroskop dan dapat digunakan pada konsentrasi sel yang rendah. Hasil tersebut bertujuan untuk melihat populasi dari pertumbuhan dan perkembangan bakteri *bacillus cereus* sehingga dari pengamatan dan perhitungan tersebut dapat digunakan sebagai campuran pada penelitian ini. Berikut hasil pengamatan pengujian hemasitometer adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3. Hasil pengamatan hemasitometer

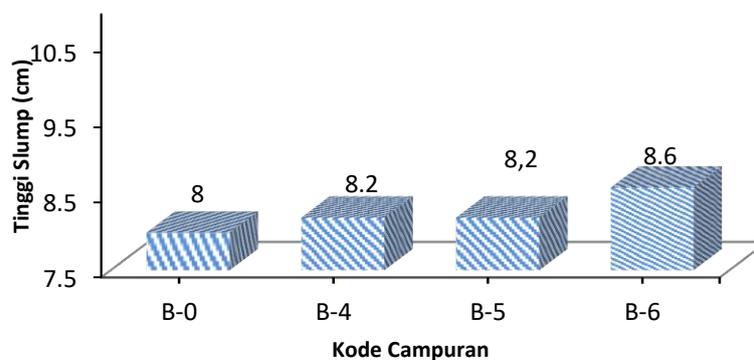
No	<i>Chamber (sel)</i>				
	1	2	3	4	5
1	8	6	12	9	14
2	10	8	10	16	8
3	10	10	13	16	16
4	7	11	11	23	7
5	13	14	15	10	8
6	6	9	18	9	14
7	10	11	19	12	8
8	10	4	8	15	16
9	7	13	14	12	12
10	14	4	12	24	11
11	9	9	10	16	8
12	8	4	6	20	7
13	12	5	8	13	8
14	7	15	11	16	9
15	6	13	22	24	13
16	13	8	10	11	10
jumlah	150	144	199	246	169
rata rata	181,6 sel/ <i>chamber</i>				
koefisien alat	$25 \times 10^3$				
jumlah (sel/ml)	$4,5 \times 10^6$				

Berdasarkan dari data tabel tersebut diketahui *bakteri cereus* memiliki jumlah sel dari tiap *chamber* pada himasitometer yaitu sebanyak 181,6 sel. Dengan perhitungan menggunakan penyesuaian dari koefisien mikroskop dan alat hemasitometer adalah  $25 \times 10^3$ . Sehingga dari data tersebut tersebut didapat jumlah populasi bakteri *Bacillus Cereus* pada larutan natrium sebanyak  $4,5 \times 10^6$  sel/ml. Jumlah populasi tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran pada pembuatan beton *self healing concrete*, dikarenakan jumlah kepadatan populasi tersebut masih sesuai dengan perencanaan kepadatan bakteri *Bacillus Cereus*, pada penelitian ini kepadatan populasi bakteri *Bacillus Cereus* yang direncanakan yaitu sebesar  $10^6$  sel/ml.

#### 4.4. Hasil Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian *slump*. Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui tingkat *workability* dari beton segar dan kadar air pada campuran beton segar. Pengujian beton segar dilakukan di laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Hasil pengujian *slump* didapat dari hasil pengukuran tinggi beton segar pada saat *cone* pengujian *slump* diangkat. Hasil pengujian *slump* yang dilakukan pada beton SHC dengan substitusi 4%, 5% dan 6% bakteri *B. Cereus* terhadap berat air dapat dilihat pada Gambar 4.4 yaitu grafik hasil pengujian *slump*. Persentase perubahan *slump* dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian *slump*

Tabel 4.4. Persentase perubahan *slump* pada campuran beton SHC terhadap hasil *slump test*

Campuran Beton	Hasil pengujian <i>Slump</i> (cm)	Persentase Perubahan (%)
B-0	8	0
B-4	8,2	2,5
B-5	8,2	2,5
B-6	8,6	3,75

Hasil pengujian tersebut, Gambar 4.4 dan Tabel 4.4 menunjukkan nilai *slump* berkisar 8 – 8,6 cm. Nilai *slump* maksimum terdapat pada *mix design* B-6 dengan substitusi 6% jumlah bakteri *Bacillus Cereus* terhadap berat air adalah 8,6 cm dan nilai *slump* minimum terdapat di *mix design* B-0 tanpa substitusi jumlah bakteri *B. Cereus* terhadap air adalah 8 cm. Jika diperhatikan, pengaruh larutan bakteri *B. Cereus* sebagai substitusi berat air kedalam beton tidak signifikan, hal ini terjadi dikarenakan karakteristik larutan bakteri hampir mirip dengan air sehingga tidak mempengaruhi beton segar.

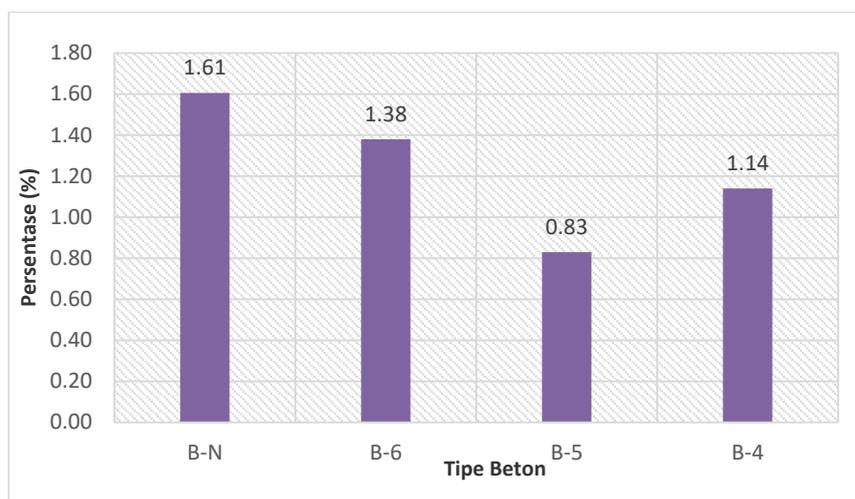
#### 4.5. Hasil Pengujian Beton

Pada pengujian beton terdapat dua pengujian, yaitu pengujian berat jenis (*density*), absorpsi air dan pengujian kuat tekan (*compressive strength*) pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Pengujian dilakukan di laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Adapun hasil pengujian berat jenis dan kuat tekan beton dapat dilihat pada penjelasan berikut.

##### 4.5.1. Pengujian Absorpsi Air

Pada Pengujian absorpsi didapat data seperti pada Gambar 4.5. Dari pengujian tersebut menjelaskan bahwa beton normal memiliki penyerapan yang lebih besar dari pada jenis beton lainnya, dan untuk jenis beton yang menggunakan persentase bakteri *bacillus cereus* sebanyak 4% penyerapannya lebih rendah

dibandingkan dengan beton yang mempunyai campuran bakteri 6%, sedangkan untuk campuran yang menggunakan bakteri bacillus cereus sebanyak 5%, memiliki penyerapan yang paling sedikit yaitu 0,829%, dapat disimpulkan bahwa persentase absorpsi atau penyerapan yang terjadi setelah melewati campuran bakteri 5% mengalami kenaikan, hal tersebut dapat diakibatkan oleh perkembangan bakteri yang bersifat organik



Gambar 4.5. Persentase absorpsi air

#### 4.5.2. Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis beton yang diteliti, dengan membandingkan berat jenis beton normal dengan beton yang memiliki campuran bakteri

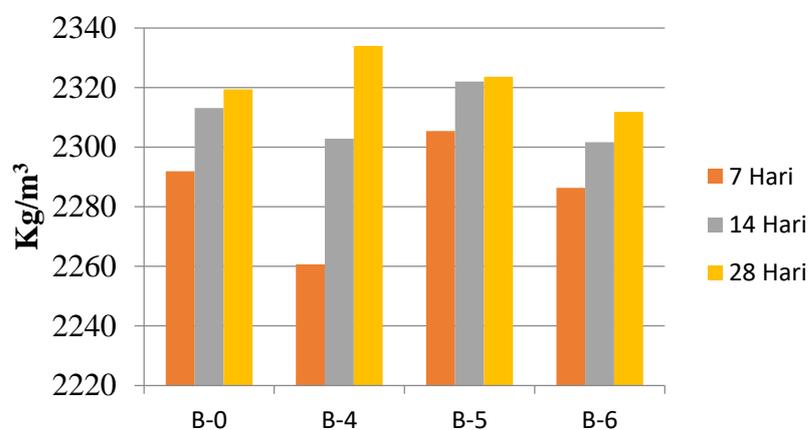
Berdasarkan hasil pengujian bahwa persentase yang didapatkan pada beton yang mempunyai campuran bakteri *cereus* 4% pada umur 7 hari memiliki persentase yang lebih tinggi daripada tipe beton yang lain dan persentase terendah untuk beton umur 7 hari terdapat pada beton yang memiliki campuran bakteri *cereus* 6%, untuk beton pada usia 14 hari persentase beton yang memiliki persentase tinggi terdapat pada pada beton yang memiliki persentase bakteri 6% sedangkan terendah pada beton yang memiliki campuran bakteri 5%, kemudian

pada beton yang berumur 28 hari persentase berat jenis yang tertinggi terdapat pada beton yang memiliki campuran persentase bakteri 4% dan yang memiliki persentase berat jenis terendah atau hampir sama berat jenisnya dengan beton normal yaitu pada beton yang memiliki campuran bakteri *cereus* 5%.

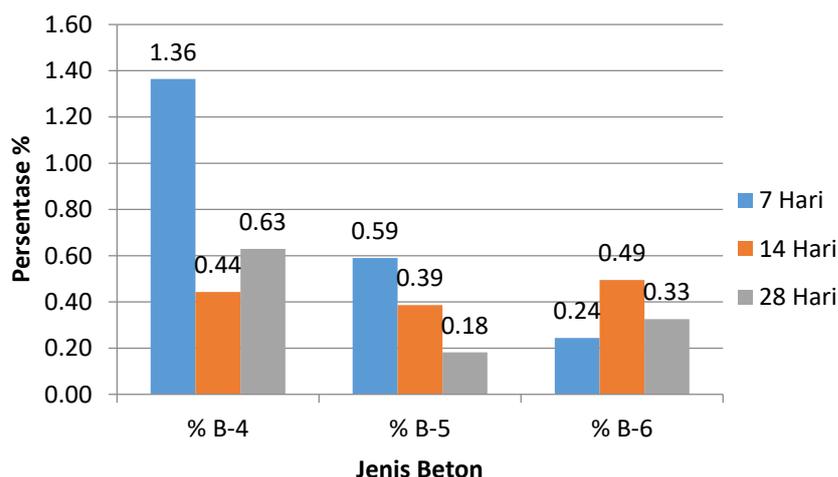
Data berat jenis pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa berat jenis yang dimiliki pada beton yang memiliki campuran bakteri nilainya tidak lebih 1,5 % dari beton normal sehingga berat jenis tersebut mendekati berat jenis beton normal atau tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Tabel 4.5. Perbandingan berat jenis beton

Usia Beton	B-0 Kg/m <sup>3</sup>	B-4 Kg/m <sup>3</sup>	B-5 Kg/m <sup>3</sup>	B-6 Kg/m <sup>3</sup>
7	2284,50	2260,91	2307,15	2279,03
	2289,22	2291.9	2261,48	2260.7
	2302,05	2259,59	2294,50	2305.4
14	2318,47	2306,39	2298,28	2291,11
	2322,25	2313.1	2310,54	2302.9
	2298,66	2291,67	2340,93	2322.1
28	2309,04	2337,91	2320,92	2299,60
	2337,34	2319.4	2340,74	2334.0
	2311,87	2323,38	2328,66	2323.6
			2307,15	2311.9
			2321,30	2328,85



Gambar 4.6. Perbandingan Berat Jenis Beton Normal dengan Beton SHC dalam kg/m<sup>3</sup>



Gambar 4.7. Persentase Berat Jenis Beton SHC terhadap Beton normal

#### 4.5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

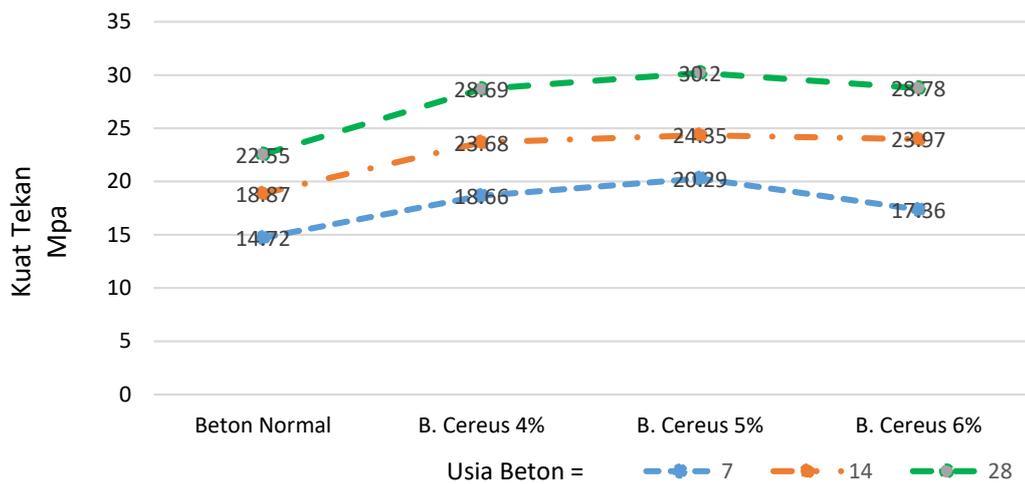
Pada pengujian kuat tekan beton hasil yang didapatkan setiap sample dirata-ratakan, dan mendapatkan persentase peningkatan kuat tekan beton yang memiliki campuran bakteri dibandingkan dengan beton yang tidak memiliki campuran bakteri. Data kuat tekan beton dapat dilihat dari tabel 4.4.

Benda uji yang didesain menggunakan kuat tekan rencana sebesar 30 Mpa, hasil tersebut menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 22,55 Mpa atau lebih rendah dari kuat tekan rencana. Kuat tekan tersebut dipengaruhi oleh analisa saringan yang memiliki modulus kehalusan yang kurang baik,

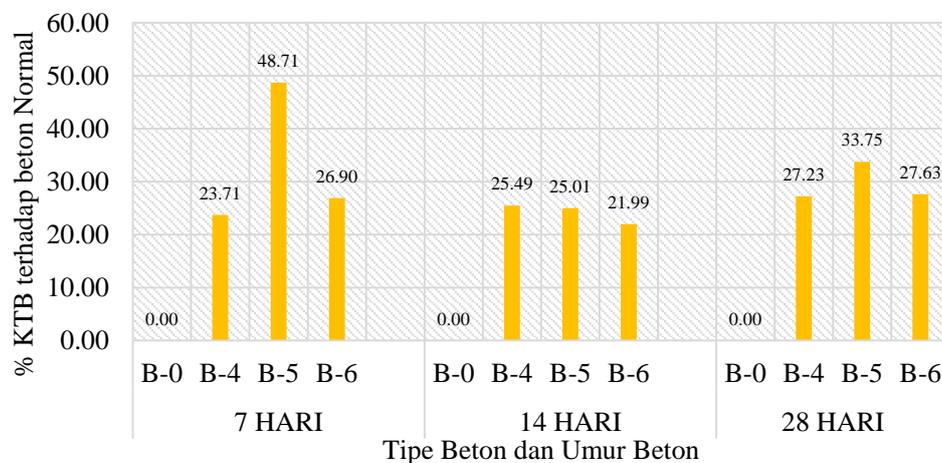
Seperti dijelaskan oleh Agus purwanti,dkk (2014), yang meninjau pengaruh ukuran butiran agregat terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi grade 80, penelitian tersebut merencanakan kuat tekan beton sebesar 80 Mpa, dengan berbagai macam ukuran butiran agregat, hasil tersebut pada penggunaan material agregat yang lolos saringan 0,3 mm sama dengan penelitian ini yang hanya mendapatkan kuat tekan 67,13 Mpa. Selain itu agregat juga berpengaruh terhadap kepadatan (*density*) dan Porositas (*Voids*) dimana beton yang homogen dapat memiliki kepadatan yang maksimum dan porositas yang minimum.

Tabel 4.6. Kuat Tekan Beton dan Persentase Peningkatan Terhadap Beton Normal

Beton	Usia beton (hari)	Kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )	Peningkatan (%)	Konversi terhadap usia beton (%)
B-0	7	15,85	14,72	0	65,28
		16,42			
		11,89			
	14	17,83	18,87	0	83,68
		18,68			
		20,1			
	28	22,93	22,55	0	100
		22,65			
		22,08			
B-4	7	18,68	18,21	23,71	63,5
		18,97			
		16,99			
	14	23,5	23,68	25,49	82,5
		23,21			
		24,35			
	28	28,87	28,69	27,23	100
		29,44			
		27,74			
B-5	7	21,23	21,89	48,72	72,6
		22,08			
		22,36			
	14	23,51	24,35	29,04	80,74
		23,78			
		25,76			
	28	30,74	30,16	33,75	100
		30,01			
		29,72			
B-6	7	17,83	18,68	26,90	65
		19,53			
		18,68			
	14	24,35	23,02	21,99	80
		24,35			
		20,38			
	28	28,31	28,78	27,63	100
		29,16			
		28,87			



Gambar 4.8. Perbandingan Kuat Tekan Beton Terhadap Usia Beton



Gambar 4.9. Persentase peningkatan kuat tekan beton SHC terhadap Beton Normal

Berdasarkan Gambar 4.8 menjelaskan bahwa kuat tekan beton yang didapat pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk nilai maksimum terdapat pada beton yang memiliki kandungan bakteri *bacillus cereus* 5% dan untuk nilai terendah dari setiap umur uji terletak pada beton normal, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki campuran kandungan bakteri memiliki kuat tekan lebih tinggi dari pada beton normal, selain itu pencampuran beton yang menggunakan bakteri dapat meningkatkan kuat tekan awal, seperti dijelaskan

pada kasus penelitian maheswaran.s,dkk,(2014). Pada penelitiannya beton yang memiliki kandungan bakteri pada umur 7 hari mengalami kenaikan kuat tekan yang sangat signifikan dibandingkan dengan umur beton 28 hari, hal tersebut dikarenakan bakteri yang terdapat pada beton mengalami reaksi awal dengan peningkatan bakteri dalam mengisi pori,

Persentase peningkatan kuat tekan beton SHC terhadap beton normal seperti pada Gambar 4.9 menjelaskan pada usia 7 hari beton dengan bakteri yang memiliki kandungan 5% mempunyai peningkatan tertinggi yaitu 48,71% dan untuk usia 14 hari persentase tertinggi terletak pada campuran yang memiliki kandungan bakteri 4% dengan persentase 25,49% dan untuk usia 28 hari persentase kuat tekan tertinggi terhadap beton normal terletak pada campuran yang memiliki kandungan bakteri *bacillus cereus* 5% yaitu dengan persentase 33,75%. Peningkatan terjadi diakibatkan bakteri yang terdapat pada beton mengalami perkembangan spora sehingga perkembangan tersebut dapat mengisi rongga pada beton.

#### 4.5.4 Perbandingan Kuat Tekan Beton Penelitian dengan Kuat Tekan Rencana.

Penelitian ini menggunakan kuat tekan rencana sebesar 25 Mpa, dengan material yang diperoleh pada perhitungan JMF (*Job Mix Formula*) pada tabel 3.1 didapatkan hasil kuat tekan dan dibandingkan dengan kuat tekan rencana didapatkan persentase kuat tekan :

Tabel 4.7. Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Normal

Hari	Kuat Tekan Rata-Rata Mpa	Rencana Mpa	Hari	Persentase %	Konversi
7	14,72	17,5	7	18,88586957	0,7
14	18,87	22	14	16,58717541	0,88
28	22,55	25	28	10,86474501	100

Tabel 4.8. Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri *Bacillus Cereus* 4%

Hari	Kuat Tekan Rata-Rata Mpa	Rencana Mpa	Hari	Persentase %	Konversi
7	18,21	17,5	7	3,898956617	0,7
14	23,68	22	14	7,094594595	0,88
28	28,69	25	28	12,86162426	100

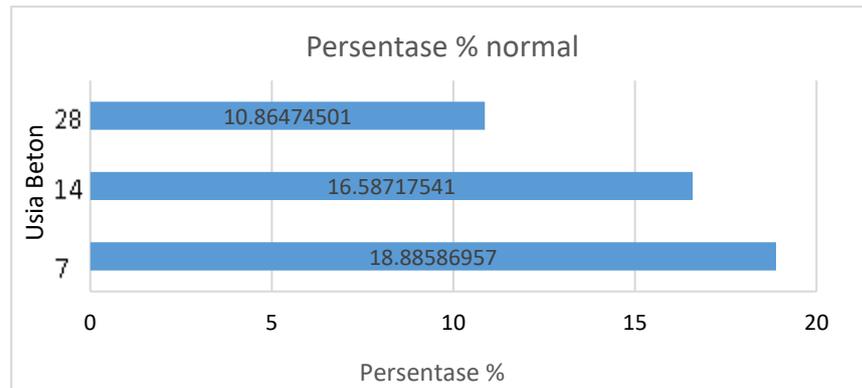
Tabel 4.9 Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri *Bacillus Cereus* 5%

Hari	Kuat Tekan Rata-Rata Mpa	Rencana Mpa	Hari	Persentase %	Konversi
7	21,89	17,5	7	20,05481955	0,7
14	24,35	22	14	9.650924025	0.88
28	30,16	25	28	17,10875332	100

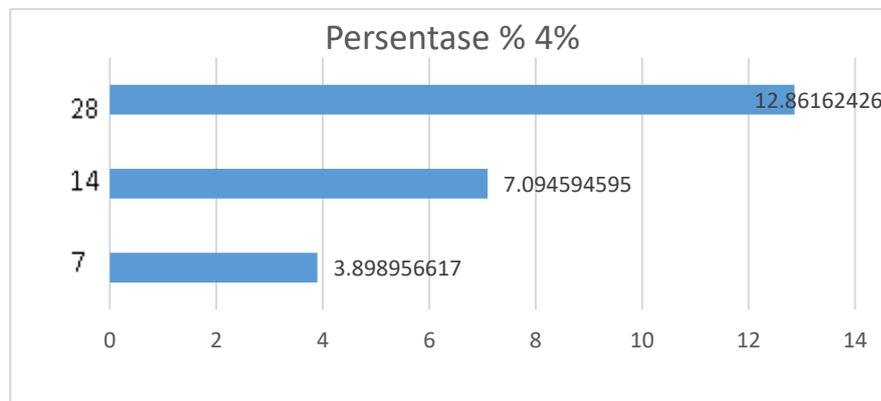
Tabel 4.10. Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Kuat tekan Beton Bakteri *Bacillus Cereus* 6%

Hari	Kuat Tekan Rata-Rata Mpa	Rencana Mpa	Hari	Persentase %	Konversi
7	18,68	17,5	7	6,32	0,7
14	23,02	22	14	4,43	0,88
28	28,78	25	28	13,13	100

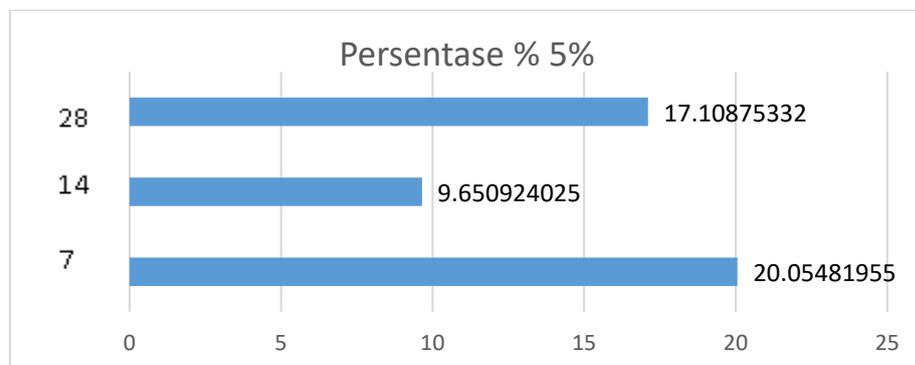
Berdasarkan perbandingan kuat tekan rencana dengan kuat tekan hasil penelitian, didapatkan peningkatan persentase yang tertinggi terdapat pada Beton yang mempunyai kandungan bakteri *bacillus cereus* sebesar 5%, di usia 7 hari dan pada usia maksimum ( 28 hari) beton yang memiliki kandungan bakteri *bacillus cereus* 5% memiliki kuat tekan tertinggi daripada beton yang memiliki kandungan bakteri 4% dan 6%.



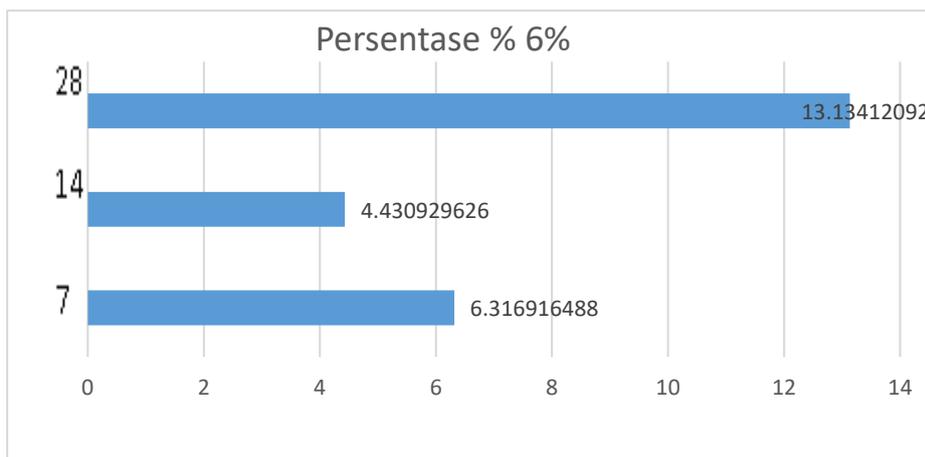
Gambar 4.10. Persentase kuat tekan beton normal terhadap kuat tekan rencana



Gambar 4.11. Persentase kuat tekan beton bacillus cereus 4% terhadap kuat tekan rencana



Gambar 4.12 Persentase kuat tekan beton bacillus cereus 5% terhadap kuat tekan rencana



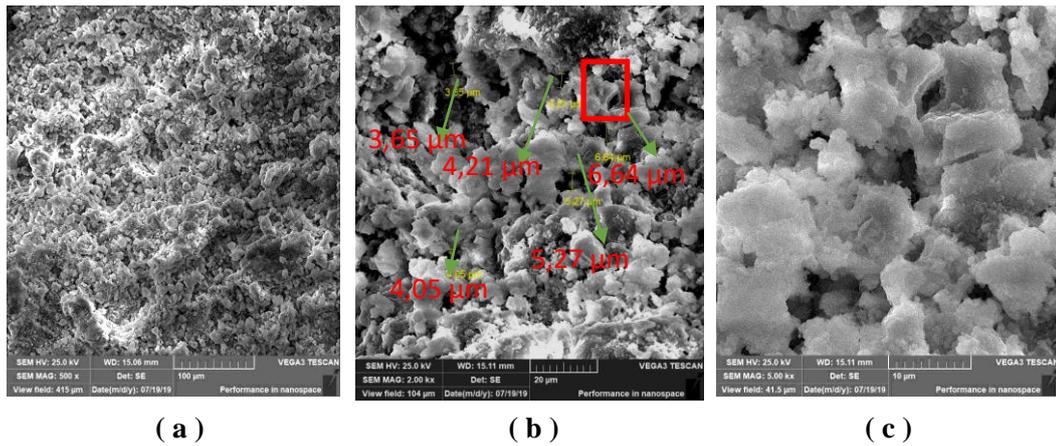
Gambar 4.13 Persentase kuat tekan beton *bacillus cereus* 4% terhadap kuat tekan rencana

#### 4.5.5 Analisis SEM

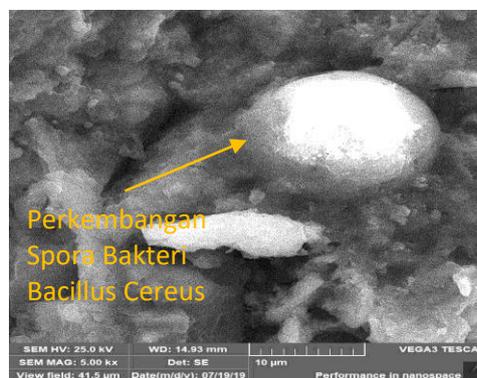
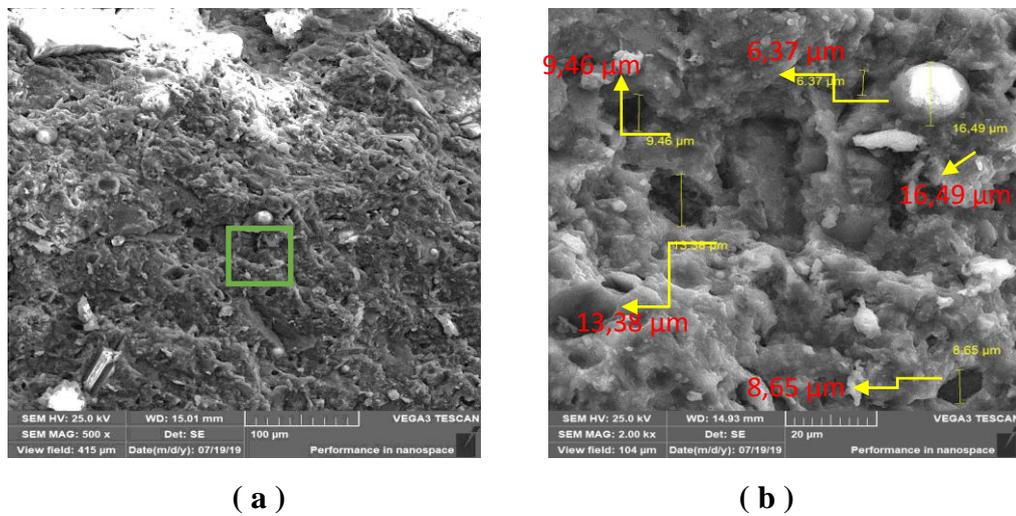
Berdasarkan Gambar 4.14. Menunjukkan bahwa pada beton normal tidak terdapat bakteri dan tidak ada perkembangan spora, dari gambar tersebut rongga yang terdapat pada beton normal mempunyai ukuran terbesar 6,64  $\mu\text{m}$  sehingga jika dibandingkan dengan beton yang memiliki kandungan bakteri *bacillus cereus* terdapat reaksi perkembangan spora yang bisa mencapai ukuran 16,49  $\mu\text{m}$ , oleh karena itu kuat tekan pada beton SHC meningkat yang diakibatkan oleh perkembangan spora yang mengisi rongga tersebut.

Sedangkan Gambar 4.15 Dijelaskan bahwa perkembangan dari spora bakteri *bacillus cereus* pada beton SHC, bakteri tersebut melakukan pertumbuhan pada beton dengan mengisi pori yang ada pada beton sehingga pori tersebut tertutup dan padat, dari gambar tersebut menjelaskan bahwa pori atau rongga yang terdapat pada beton memiliki ukuran terbesar 13,38  $\mu\text{m}$  dan perkembangan spora bakteri *bacillus cereus* dapat berkembang sebesar 16,49  $\mu\text{m}$ ,

Sehingga bakteri yang mengisi rongga tersebut mengalami perkembangan dari spora yang aktif tersebut dan secara tidak langsung dapat memadatkan beton tersebut oleh karena itu jika beton tersebut padat maka dapat membantu dari peningkatan kuat tekan pada *Self-healing Concrete* tersebut.



Gambar 4.14. Analisa SEM Pada Beton Normal Usia 28 Hari ( a ). Pembesaran 500X (b). Pembesaran 200X (c). Pembesaran 500X



Gambar 4.15. Analisa SEM Pertumbuhan dan perkembangan spora bakteri cereus pada beton *Self Healing Concrete* (a). Ukuran 500 X pembesaran (b). Ukuran 2000 X pembesaran (c). Ukuran 5000 X pembesaran

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan dari hasil percobaan komposisi campuran optimum yang didapat yaitu dengan jumlah semen yang digunakan  $482,80 \text{ kg/m}^3$ , agregat kasar yang digunakan  $1048,32 \text{ kg/m}^3$ , agregat halus  $577,785 \text{ kg/m}^3$ , air 217,3 liter, bakteri *bacillus cereus* 5% dengan mensubstitusikan terhadap air menggunakan kepadatan  $10^6 \text{ cfu/ml}$ .
2. Hasil Pengujian Himasitometer menunjukkan bahwa bakteri *bacillus cereus* yang digunakan memiliki 181,6 cell/chamber dengan koefisien alat himasitometer dan microscop sebesar  $25 \times 10^3$  sehingga menghasilkan kepadatan populasi bakteri *bacillus cereus* sebesar  $4,5 \times 10^6 \text{ sel/ml}$
3. Hasil pengujian *slump flow* pada *beton self healing concrete* menunjukkan bahwa penggunaan bakteri *bacillus cereus* dengan persentase bakteri terhadap air tidak terlalu signifikan mengalami perubahan dikarenakan bakteri dan air memiliki sifat massa jenis yang sama sehingga perubahan bisa terjadi diakibatkan oleh pelaksanaan pencampuran, untuk beton normal menghasilkan *slump flow* sebesar 8 cm, beton bakteri 4% dan 5% menghasilkan *slump flow* 8,2, dan beton bakteri 6% menghasilkan *slump flow* 8,6 cm.
4. Berdasarkan hasil pengujian absorpsi air bahwa beton yang memiliki kandungan bakteri memiliki penyerapan air yang lebih sedikit, dikarenakan adanya perkembangan bakteri yang dapat menutupi rongga pada beton dengan konsentrasi optimum bakteri terhadap air sebesar 5% yaitu dengan penyerapan 0,89 %, tetapi jika sudah melewati persentase 5% akan mengalami penyerapan yang lebih tinggi lagi diakibatkan bakteri yang bersifat organik.

5. Pada pengujian berat jenis beton SHC menunjukkan bahwa persentase bakteri pada tiap sample uji tidak terlalu signifikan mengalami perubahan bahkan hampir mendekati dengan berat jenis beton normal yaitu dengan perbedaan berat 0,005 %
6. Hasil pengujian dari kuat tekan menunjukkan kuat tekan maksimum terdapat pada beton usia 28 hari yang mengandung bakteri *bacillus cereus* sebesar 5% terhadap air dengan kuat tekan beton 30,16 MPa sedangkan untuk beton normal kuat tekan beton sebesar 22,55 MPa dengan persentase peningkatan sebesar 33,75% terhadap beton normal, selain itu peningkatan kuat tekan terjadi pada setiap beton yang memiliki kandungan bakteri baik 4% maupun 6%, untuk peningkatan kuat tekan pada beton bakteri yang memiliki kandungan bakteri 4% pada usia 28 hari sebesar 27,23 % dengan kuat tekan 28,69 MPa, dan untuk beton yang memiliki kandungan bakteri 6% memiliki kuat tekan sebesar 28,78 Mpa dengan persentase peningkatan sebesar 27,63% pada usia 28 hari.
7. Berdasarkan hasil pengujian analisis SEM menunjukkan bahwa rongga yang terdapat pada sampel beton SHC seperti gambar 4.9 menunjukkan ukuran rongga terbesar yaitu 13,38  $\mu\text{m}$  dan terdapat bakteri yang mengalami perkembangan spora hingga berukuran 16,49  $\mu\text{m}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa rongga tersebut dapat terisi dengan penuh oleh perkembangan spora dari bakteri *bacillus cereus*.
8. Beton *Self Healing Concrete* atau beton bakteri yang memiliki campuran bakteri *bacillus cereus* sebesar 5% dapat digunakan untuk bangunan infrastruktur yang menggunakan bahan beton, dikarenakan spora dari bakteri *bacillus cereus* dapat bertahan pada suhu yang tinggi berdasarkan penelitian sebelumnya hingga mencapai 100°C dan dapat digunakan untuk penggunaan beton mutu tinggi yaitu dengan kuat tekan lebih dari 30 MPa.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diberikan saran, antara lain:

1. Perlu dilakukan pengujian dengan jumlah persentase bakteri yang lebih bervariasi dan variasi bakteri lebih banyak untuk mempertajam pembahasan mengenai penggunaan persentase bakteri *Bacillus cereus* terhadap kuat tekan beton.
2. Perlu dilakukan penelitian visual terhadap beton SHC dengan Persentase bakteri terhadap air yang bervariasi.
3. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan umur beton yang lebih lama baik dalam pengujian kuat tekan beton maupun dalam pengujian visual
4. Perlu dilakukan pengujian Permeabilitas untuk mengetahui pori tersebut sudah terisi sempurna dengan melihat hasil pengujian tersebut dapat dilalui oleh air atau tidak dan persentase yang dilalui berapa banyak.
5. Perlu pembuatan benda uji yang lebih banyak untuk menghasilkan data yang lebih akurat.
6. Untuk penggunaan bakteri jika belum digunakan sebaiknya diletakkan di ruangan yang bersuhu minimal 4° C dan digunakan secukupnya untuk pencampuran pada beton, dikarenakan bakteri dapat berkembang jika melebihi suhu ruang tersebut.
7. Perlu Penelitian lebih lanjut apakah *Self Healing Concrete* bisa diaplikasikan dilapangan terhadap jalan yang mendapat gangguan.
8. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang membahas tentang berapa besar ukuran maksimum perkembangan oleh bakteri *Bacillus cereus* yang bisa menutupi keretakan pada beton.

## 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.
- Alshalif, Abdullah Faisal, Mohd Irwan Juki, Norzila Othman, Adel Ali Al-Gheethi, and Faisal Sheikh Khalid. 2018. *Improvement of Mechanical Properties of Bio-Concrete Using Enterococcus Faecalis and Bacillus Cereus Strains*. Environmental Engineering Research.
- 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.
- ASTM C 138. *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 142. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 142-97. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 40. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- BS 5328:1976. *Methods for specifying concrete*: BSI (British Standards Institution) : England
- BS.3148-1980). *Methods of test for water for making concrete*: BSI (British Standards Institution ) : England
- Elisa, N. 2018. *Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri Bacillus Subtilis*

*Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri*. Jom FTEKNIK. Vol. 5 No. 2

- ESR Environmental Science and Research. 2010. *Bacillus cereus. Client Report*. Institute of Environmental Science and Research (ESR) Limited. Porirua.
- 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.
- 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.
- Kurnia, Zulfikar, dan Enno Yuniarto. 2018. *Sifat Fisik Beton Dengan Bahan Tambah Bakteri Bacillus Subtilis Pada Lingkungan Sulfat: FTEKNIK Volume 5 Edisi 2*
- Moghadas, Leila, Mahdi Shahmoradi, and Tahmineh Narimani. 2012. *Antimicrobial Activity of a New Nanobased Endodontic Irrigation Solution: In Vitro Study. Dental Hypotheses*. Vol. 3.
- 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.
- SK SNI T-15-1990-03. *Semen Portland*. Edisi 1. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2015. *Semen Portland*. Revisi Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002 *perencanaan campuran beton*, Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI- 1969-2008. *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. **Bandung**: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972-2008. *Cara uji slump beton*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional

- SNI 2847:2013, *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1974-2011. *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. 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-2943-2011. *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1996. *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.
- Widika dkk (2018). *Sifat Fisik Beton Pulih Mandiri Dengan Memanfaatkan Bakteri Bacillus Subtilis: FTEKNIK* Volume 5 Edisi 2.

## SURAT KETERANGAN SELESAI REVISI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir/Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya:

Nama : Hidayat Tullah  
NIM : 03011281520126  
Judul Skripsi : *Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Self Healing Concrete (SHC)*

Dengan ini menerangkan bahwa Revisi Tugas Akhir/Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut di atas hingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, 30 November 2019

Dosen Pembimbing,



Dr. Rosidawani. S.T, M.T  
NIP. 197605092000122001

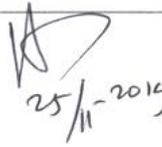
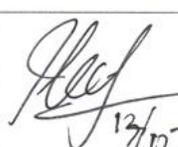
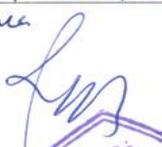
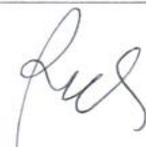
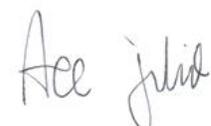


UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

BERITA ACARA SEMINAR TUGAS AKHIR

NAMA : HIDAYAT TULLAH  
NIM : 03011281520126  
JURUSAN : TEKNIK SIPIL  
JUDUL : *STUDI EKPERIMENTAL PENGARUH PERSENTASE BAKTERI BACILLUS CEREUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA SELF HEALING CONCRETE (SHC)*

DOSEN PEMBIMBING : DR. ROSIDAWANI, S.T., M.T.  
TANGGAL SEMINAR : 25 NOVEMBER 2019

No	Tanggapan/Saran	Tanda Tangan & Nama Dosen Pembimbing/ Nara Sumber	
		Asistensi	Acc. Revisi
1.	- Perbaiki cover!! Whit di hard cover!!	 25/11-2019	 12/12-19
2.	- Perbaiki ruang lingkup dan batasan masalah - Batasan masalah menjadi dasar usulan - Perbaiki selanjutnya whit di laporan		
3.	- Cantumkan fc rencana, JMF - Perbaiki grafik Gambar 4.7 - Tabel Berat Jenis dan $\gamma_{m3}$ - Foto benda uji dilampirkan - Campuran BS yg mencapai target fc rencana - $\gamma_{m3}$ nilai fc benda uji = fc rencana		 16/12 2019
4.	Perbaiki semua masalah & diskusikan kembali di paragraf		
Kesimpulan :		Ketua Jurusan	
		 <b>Helmi Haki, ST, MT</b> NIP. 196107031991021001	

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERSENTASE CAMPURAN BAKTERI BACILLUS CEREUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA SELF HEALING CONCRETE (SHC)

## ORIGINALITY REPORT

**38%**

SIMILARITY INDEX

**8%**

INTERNET SOURCES

**1%**

PUBLICATIONS

**35%**

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

**1**

**Submitted to Sriwijaya University**

Student Paper

**32%**

**2**

**docobook.com**

Internet Source

**4%**

**3**

**www.scribd.com**

Internet Source

**2%**

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches < 1%

