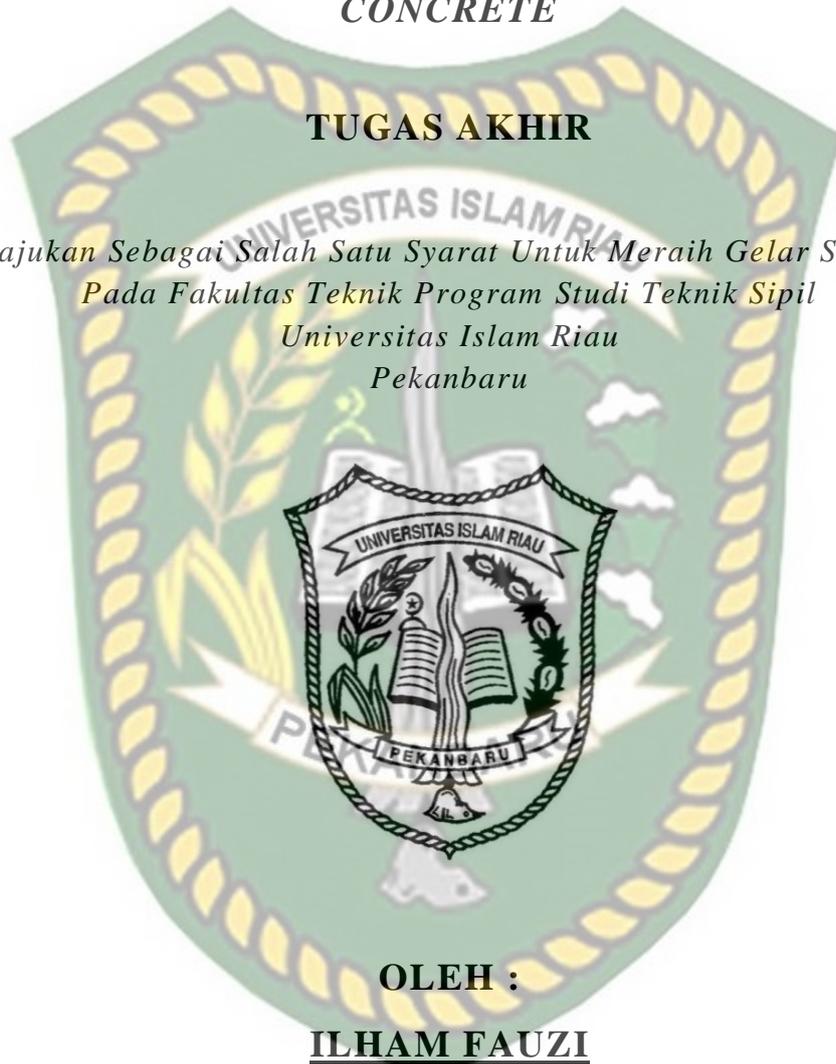


**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH  
SAYURAN DAN ADMIXTURE DAMDEX  
TERHADAP KUAT TEKAN BETON  
PADA METODE *SELF HEALING*  
CONCRETE**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana  
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Islam Riau  
Pekanbaru*



**OLEH :**

**ILHAM FAUZI**

**163110270**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2022**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran dan Admixture Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton pada Metode *Self Healing Concrete*”**. Adapun penulisan tugas akhir dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis untuk menyelesaikan program studi (Strata I) pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

Penulis mengakui bahwa kesempurnaan itu hanya milik Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Untuk itu, dengan kelapangan hati penulis menerima kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, 14 Maret 2022

Ilham Fauzi  
NPM. 163110270

## UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamualaikum Wr.Wb.*

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., MCL., Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, M.T, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, M.Sc, Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, S.T., M.T, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, S.T., M.Si, Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau dan selaku Dosen Penguji II dalam Tugas Akhir ini.
7. Ibu Sapitri, S.T., M.T, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Firman Syarif, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing
9. Ibu Dr. Elizar, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji I dalam Tugas Akhir ini.
10. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

11. Bapak dan Ibu Seluruh Karyawan dan Karyawati Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Ibunda tercinta, Darlianis sebagai Orang Tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan mendo'akan yang terbaik serta sangat berperan dalam proses pendewasaan.
13. Saudara-saudari penulis, Ima Fatimah, Ade Susanto, Hidayat, Wahyudi, dan Gustineli, yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan finansial.
14. Kepada Priliadevina JF, S.Pd, yang memberikan motivasi, dorongan, dan semangat, serta selalu setia dan sabar menemani disetiap keadaan.
15. Teman-teman Program Studi Teknik Sipil Angkatan 2016.
16. Teman-teman seperjuangan dibangku perkuliahan, Ibnu Fahmi L, Dhany Fauzan Azymi, Dhifo Pakuwondana, Syaras Haryatie, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Terima kasih atas segala bantuannya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Amin...

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Pekanbaru, 14 Maret 2022

Penulis

Ilham Fauzi

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN	
KATA PENGANTAR .....	i
UCAPAN TERIMAKASI.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Umum .....	5
2.2. Penelitian Sebelumnya .....	5
2.3. Keaslian Penulisan.....	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>9</b>
3.1. Beton.....	9
3.2. Bahan Penyusun Beton.....	10
3.2.1. Semen .....	11
3.2.2. Agregat.....	12
3.2.3. Air .....	15

3.2.4. Bahan Tambah .....	16
3.3. <i>Self Healing Concrete</i> .....	18
3.4. Pengujian Material.....	22
3.4.1. Gradasi Agregat .....	22
3.4.2. Berat Isi Agregat.....	22
3.4.3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	23
3.4.4. Pemeriksaan Kadar Lumpur .....	24
3.4.5. Pemeriksaan Kadar Air.....	24
3.5. Perencanaan Beton.....	25
3.6. <i>Slump Test</i> .....	31
3.7. Pematatan Beton .....	33
3.8. Perawatan Beton .....	33
3.9. Kuat Tekan Beton .....	34
3.10. Pemulihan Retak.....	38
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>40</b>
4.1. Umum.....	40
4.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	41
4.2.1. Alat Penelitian.....	41
4.2.2. Bahan Penelitian .....	51
4.3. Tahap Penelitian .....	53
4.3.1. Persiapan.....	54
4.3.2. Perencanaan Beton.....	59
4.3.3. Pembuatan Benda Uji .....	60
4.3.4. Perawatan Benda Uji .....	63
4.3.5. Tahap Pengujian .....	63
4.3.6. Analisis Data.....	68
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>70</b>
5.1. Hasil Pemeriksaan Benda Uji .....	70
5.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat .....	70

5.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat .....	72
5.1.3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air .....	73
5.1.4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat.....	74
5.1.5. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat .....	75
5.2. Hasil Pemeriksaan Beton.....	75
5.2.1. Hasil Pemeriksaan Campuran Beton .....	76
5.2.2. Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	76
5.2.3. Hasil Kuat Tekan Beton.....	78
5.2.4. Hasil Pemulihan Retakan.....	82
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>86</b>
6.1. Kesimpulan .....	86
6.2. Saran.....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR NOTASI

<i>A</i>	= Jumlah air yang dibutuhkan (litr/m <sup>3</sup> )
<i>A<sub>h</sub></i>	= Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat alami (liter/m <sup>3</sup> )
<i>A<sub>k</sub></i>	= Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat batupecah (liter/m <sup>3</sup> )
<i>B</i>	= Jumlah air (Kg/m <sup>3</sup> )
<i>BA</i>	= Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
<i>BK</i>	= Berat benda uji kering oven (gram)
<i>BT</i>	= Berat pikno + benda uji SSD + air (25°C) (gram)
<i>C</i>	= Jumlah agregat halus (Kg/cm <sup>3</sup> )
<i>Ca</i>	= Penyerapan air pada agregat halus (%)
<i>Ck</i>	= Kandungan air dalam agregat halus (%)
<i>D</i>	= Jumlah agregat kasar (Kg/cm <sup>3</sup> )
<i>Da</i>	= Penyerapan air pada agregat kasar (%)
<i>Dk</i>	= Kandungan air dalam agregat kasar (%)
<i>Fas</i>	= Faktor air seman
<i>f<sub>c</sub>'</i>	= Kuat tekan beton (MPa)
<i>f<sub>c</sub>'<sub>r</sub></i>	= Kuat tekan beton rata – rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
<i>f<sub>c</sub>'<sub>k</sub></i>	= Kuat tekan beton karakteristik (MPa)
<i>f<sub>t</sub></i>	= Kuat tarik belah beton (MPa)
<i>f<sub>t</sub>'<sub>r</sub></i>	= Kuat tarik belah beton rata-rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
<i>K</i>	= Ketetapan Konstanta
<i>M</i>	= Nilai tambah margin (1 N/mm <sup>2</sup> = 1 Mpa)
<i>MPa</i>	= Mega Pascal (1 Mpa = 10 Kg/cm <sup>3</sup> )
<i>N/mm<sup>2</sup></i>	= Newton/mm <sup>2</sup> (1 N/mm <sup>2</sup> = 1 Mpa)
<i>P</i>	= Beban aksial yang bekerja (KN)
<i>S</i>	= Standar deviasi (MPa)
<i>SSD</i>	= Koreksi kadar air ( <i>Saturated surface dry</i> )
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan karakteristik penelitian dengan penelitian terdahulu.....	8
Tabel 3.1. Batasan gradasi untuk agregat halus .....	13
Tabel 3.2. Susunan besar butiran agregat kasar .....	15
Tabel 3.3. Perbandingan kuat tekan beton .....	26
Tabel 3.4. Faktor pengali untuk deviasi standar .....	27
Tabel 3.5. Nilai deviasi standar untuk indikasi tingkat pengendalian mutu beton .....	27
Tabel 3.6. Tabel nilai margin .....	28
Tabel 3.7. Penetapan Nilai <i>Slump</i> .....	32
Tabel 3.8. Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekan .....	36
Tabel 4.1. Jumlah benda uji penelitian.....	40
Tabel 5.1. Hasil pemeriksaan rata-rata nilai persentase lolos agregat halus ....	70
Tabel 5.2. Hasil pemeriksaan rata-rata nilai persentase lolos agregat kasar ....	71
Tabel 5.3. Hasil pemeriksaan berat isi agregat .....	73
Tabel 5.4. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus .....	73
Tabel 5.5. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar .....	74
Tabel 5.6. Hasil pemeriksaan kadar air .....	74
Tabel 5.7. Hasil pemeriksaan kadar lumpur.....	75
Tabel 5.8. Hasil proporsi campuran beton untuk tiap 3 benda uji kubus.....	76
Tabel 5.9. Hasil nilai <i>slump</i> .....	77
Tabel 5.10. Hasil kuat tekan beton umur 28 hari .....	78
Tabel 5.11. Hasil kuat tekan beton setelah retakan .....	79
Tabel 5.12. Perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan ..	81

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Ukuran Damdex .....	17
Gambar 3.2. Ilustrasi proses pemulihan beton bakteri .....	21
Gambar 4.1. Denah lokasi penelitian .....	41
Gambar 4.2. Cawan .....	41
Gambar 4.3. Timbangan neraca .....	42
Gambar 4.4. Timbangan digital.....	42
Gambar 4.5. Timbangan duduk.....	43
Gambar 4.6. Oven .....	43
Gambar 4.7. Satu set saringan.....	44
Gambar 4.8. Bejana.....	44
Gambar 4.9. Batang penusuk.....	45
Gambar 4.10. Kerucut Abrams.....	45
Gambar 4.11. Mixer beton .....	46
Gambar 4.12. Koran.....	46
Gambar 4.13. Picnometer.....	46
Gambar 4.14. Kerucut terpancung .....	47
Gambar 4.15. Cetakan beton .....	47
Gambar 4.16. Mesin penggetar .....	48
Gambar 4.17. Mesin kuat tekan.....	48
Gambar 4.18. Gelas ukur.....	49
Gambar 4.19. Talam baja .....	49
Gambar 4.20. Bak perendam.....	50
Gambar 4.21. Semen .....	52
Gambar 4.22. Agregat kasar.....	52
Gambar 4.23. Agregat halus.....	53
Gambar 4.24. Cairan bakteri .....	53
Gambar 4.25. Proses pembuatan bakteri .....	55
Gambar 4.26. Gradasi agregat.....	56

Gambar 4.27. Pengecoran .....	61
Gambar 4.28. Penuangan mortar ke talam .....	61
Gambar 4.29. Pengisian beton segar ke cetakan .....	62
Gambar 4.30. Pemadatan beton.....	63
Gambar 4.31. Pengujian <i>slump</i> .....	64
Gambar 4.32. Uji kuat tekan .....	66
Gambar 4.33. Peretakan .....	67
Gambar 4.34. Diagram alir penelitian .....	69
Gambar 5.1. Grafik gradasi agregat halus .....	71
Gambar 5.2. Grafik gradasi agregat kasar .....	72
Gambar 5.3. Nilai <i>slump</i> rata-rata .....	77
Gambar 5.4. Hasil kuat tekan beton .....	79
Gambar 5.5. Grafik hasil kuat tekan beton setelah retakan.....	80
Gambar 5.6. Gambar 5.6. Grafik perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan .....	81
Gambar 5.7. Pemulihan retakan beton variasi bakteri 2% .....	82
Gambar 5.8. Pemulihan retakan beton variasi bakteri 4% .....	83
Gambar 5.9. Pemulihan retakan beton variasi bakteri 6% .....	84
Gambar 5.10. Pemulihan retakan beton variasi bakteri 8% .....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

- A-2 Rancangan Campuran Beton Dengan Metode SK.SNI 03-2834-2000
- A-11 Proporsi Campuran Beton
- A-13 *Slump Test* Beton
- A-14 Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton

### LAMPIRAN B

- B-1 Analisa Saringan Agregat
- B-7 Pemeriksaan Berat Isi Agregat
- B-9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat
- B-11 Pemeriksaan Kadar Air Agregat
- B-12 Pemeriksaan Kadar Lumpur
- B-14 Pengujian Kuat Tekan Beton

### LAMPIRAN C

- C-1 Dokumentasi

## Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran dan *Admixture* Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton pada Metode *Self Healing Concrete*

Ilham Fauzi  
163110270

### ABSTRAK

Beton dikategorikan baik jika memiliki kuat tekan yang sesuai dengan standar yang berlaku, namun kondisi di lapangan yang tidak kondusif serta teknik pengerjaan yang tidak sesuai standar membuat kualitas beton menurun bahkan dapat menimbulkan retakan. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas beton ialah membuat beton lebih padat dengan meminimalisir rongga udara yang ada pada beton menggunakan bahan tambah (*admixture*), sedangkan solusi untuk perbaikan retakan beton adalah dengan memanfaatkan suatu bakteri yang dicampurkan ke dalam adukan mortar, bakteri ini dapat membuat retakan pada beton menutup kembali. Penelitian ini dilakukan untuk mencari pengaruh penambahan bakteri yang berasal dari ekstrak limbah sayuran dan *admixture* Damdex terhadap beton dengan metode *self healing concrete*.

Metode penelitian yang diterapkan adalah metode eksperimen, yaitu metode yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkendali. Perlakuan yang dimaksud dalam penelitian yaitu metode *self healing concrete* terhadap beton dengan penambahan Damdex. Penelitian dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran  $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$  sebanyak 27 benda uji, dengan variasi persentase bakteri 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% sebagai pengganti sebagian semen serta menambahkan cairan Damdex sebanyak 2% dari berat semen dan setiap variasi berjumlah 3 sampel benda uji. Beton direncanakan dengan umur 28 hari dan uji sampel berupa uji tekan dan uji pemulihan keretakan.

Berdasarkan hasil analisa, kuat tekan beton metode *self healing concrete* dengan penambahan Damdex umur 28 hari berturut-turut yaitu 28,55 MPa, 29,73 MPa, 27,40 MPa, 24,92 MPa, dan 22,50 MPa. Kuat tekan beton setelah retakan 28,55 MPa, 32,81 MPa, 26,93 MPa, 31,08 MPa, dan 30,31 MPa. Perbandingan kuat tekan beton bakteri umur 28 hari dengan beton setelah retakan yaitu pada variasi 2% mengalami kenaikan sebesar 10.36%, variasi 4% mengalami penurunan sebesar 1.71%, variasi 6% mengalami kenaikan sebesar 24.72%, dan variasi 8% mengalami kenaikan paling besar 34.69%. Hasil pengamatan secara visual terlihat perubahan yang terjadi pada retakan beton yang perlahan menutup seiring waktu perawatan. Pada saat menyentuh permukaan beton zat kapur akan meninggalkan bekas pada tangan, hal ini membuktikan terdapat zat kapur pada beton. Akan tetapi, zat kapur yang dihasilkan hanya dapat menutup retakan-retakan yang berukuran kecil. Berdasarkan hasil kuat tekan dan pemulihan retakan beton, penggunaan metode *self healing concrete* pada beton dengan tambahan Damdex dapat dikatakan efektif, karena hasil kuat tekan beton dengan campuran bakteri meningkat, terutama pada beton setelah retakan. Hal ini terjadi akibat produksi kalsium karbonat (kalsit) pada beton.

Kata kunci: *self healing concrete*, Damdex, kuat tekan, Kalsium Karbonat, Ekstrak Limbah Sayuran

**The Effect of Addition Vegetable Waste Extract and Damdex Admixture on Compressive Strength of Concrete in *Self Healing Concrete* Method**

**Ihham Fauzi**  
**163110270**

**ABSTRACT**

Concrete is categorized as good if it has a compressive strength that is in accordance with applicable standards, but conditions in the field that are not conducive and working techniques that are not standardized make the quality of the concrete decrease and can even cause cracks. One way to improve the quality of concrete is to make the concrete denser by minimizing air voids in the concrete using *admixtures*, while

the solution for repairing concrete cracks is to use a bacterium mixed into the mortar mix which can create cracks in the concrete. close back. This research was conducted to find out the effect of adding bacteria from vegetable waste extract to Damdex concrete using the *self healing concrete*.

The research method applied is the experimental method, which is the method used to find the effect of certain treatments on other variables under controlled conditions. The treatment referred to in this research is the method of *self-healing concrete* on concrete with the addition of Damdex. The study was conducted using a cube-shaped test object with a size of 15 cm × 15 cm as many as 27 test objects, with variations in the percentage of bacteria 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% as a substitute for cement, adding Damdex 2% of cement needed each variations amounted to 3 samples of the test object. The concrete is planned to be 28 days old and the sample test is in the form of a compression test and a crack recovery test.

Based on the results of the analysis, the compressive strength of the *self-healing concrete* with the addition of Damdex aged 28 days namely 28,55 MPa, 29,73 MPa, 27,40 MPa, 24,92 MPa, and 22,50Mpa. The compressive strength of concrete after cracking namely 28,55 MPa, 32,81 MPa, 26,93 MPa, 31,08 Mpa, and 30,31 MPa. Comparison of the compressive strength of bacterial concrete aged 28 days with concrete after cracking, namely the 2% increased by 10.36%, the 4% decreased by 1.71%, the 6% increased by 24.72%, and the 8% experienced the largest increase of 34.69 %. The results of visual observations show changes that occur in the concrete cracks that slowly close over time. When touching the concrete surface, the lime will leave a mark on the hands, this proves that there is lime in the concrete. Based on the results of the compressive strength and recovery of concrete cracks, the use of the *self-healing* of concrete with the addition of Damdex can be said to be effective, because the results of the compressive strength of concrete with a mixture of bacteria increase, especially in concrete after cracks. This occurs due to the production of calcium carbonate (calcite) in the concrete.

Keywords : self healing concrete, Damdex, compressive strength, Calcium Carbonate, Vegetable Waste Extract

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton termasuk bahan konstruksi yang paling sering dijumpai dalam struktur bangunan. Struktur bangunan pada umumnya menggunakan beton karena sifat beton yang mudah dibentuk dan memiliki daya dukung yang besar. Daya dukung yang dimaksud diartikan sebagai keunggulan beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi (Arfa *et al.*, 2018). Beton dikategorikan baik jika beton memiliki kuat tekan yang sesuai dengan standar yang berlaku, namun kondisi dilapangan yang tidak kondusif dan teknik pengerjaan yang tidak sesuai sering menjadi alasan turunnya kualitas beton.

Selain permasalahan kualitas beton, terdapat beberapa faktor yang dapat terjadi pada saat pengerjaan beton di lapangan, seperti adanya keretakan yang terjadi setelah beton mengeras. Keretakan pada beton sangat sulit untuk dihindari karena adanya reaksi penyusutan pada beton dan tegangan tarik yang timbul karena kerangka struktur (Jonkers, 2017), keretakan beton akan menyebabkan masalah pada porositas dan permeabilitas material. Porositas yang mencapai ke tulangan baja akan menyebabkan terjadinya korosi lebih awal dan menghambat ketahanan struktur dalam jangka panjang.

Para ahli melakukan berbagai penelitian dan menemukan cara untuk meningkatkan kualitas beton dengan membuat beton lebih padat atau meminimalisir rongga udara dan pori-pori yang ada pada beton menggunakan bahan tambah (*admixture*). Campuran beton umumnya terdiri dari pasir, kerikil, dan semen. Beberapa kasus memperlihatkan adanya pencampuran beton dengan bahan tambah (*admixture*) ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kinerja beton seperti kekuatan, kemudahan pengerjaan, keawetan, dan kinerja-kinerja lainnya dalam memenuhi tuntutan analisis struktur (Rahmat *et al.*, 2016). Berdasarkan maksud dan fungsi bahan tambah (*admixture*) tersebut, digunakan bahan tambah Damdex dalam penelitian ini.

Selain mencari solusi untuk meningkatkan kualitas beton, retakan yang terjadi pada beton harus dirawat sedini mungkin sebelum kerusakan yang terjadi menjadi lebih besar. Sistem perbaikan tradisional memiliki banyak kekurangan seperti koefisien muai panas yang berbeda serta berdampak pada lingkungan dan kesehatan. Perbaikan beton tradisional akan memakan waktu dan biayanya cukup mahal karena sulit untuk mendapatkan akses ke struktur bangunan untuk melakukan perbaikan pada kerusakan yang terjadi (Pandit *et al.*, 2018). Beberapa penelitian terdahulu menemukan solusi yang lebih baik untuk perbaikan pada retakan beton, yaitu dengan memanfaatkan suatu bakteri yang dicampurkan ke dalam adukan mortar yang dapat membuat retakan pada beton menutup kembali. (Ansari & Joshi, 2020).

Metode perbaikan retakan beton yang memanfaatkan bakteri disebut dengan *self-healing concrete*. *Self-healing concrete* dianalogikan sebagai tangan yang terluka akibat terkena goresan, kulit dapat menyembuhkan luka dengan sendirinya. *Self-healing concrete* berpotensi memberikan dampak besar pada bidang konstruksi karena dapat mengurangi biaya perbaikan secara signifikan, mereduksi jumlah karbon, serta mengurangi jumlah limbah organik (Kusuma K *et al.*, 2018). Berdasarkan maksud dan fungsi metode *self-healing concrete*, digunakan bakteri yang dihasilkan dari pembusukan sayuran sawi dalam penelitian yang dilakukan. Selain digunakan sebagai penghasil bakteri yang digunakan dalam metode *self-healing concrete*, tujuan pembusukan sayuran sawi adalah untuk mengurangi polusi udara akibat bau yang tidak sedap dan pencemaran lingkungan akibat limbah masyarakat.

Berdasarkan permasalahan serta alternatif kualitas dan retakan beton, maka dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran dan *Admixture* Damdex Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Metode *Self Healing Concrete*”.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijabarkan, maka rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dan *Admixture* Damdex pada beton dengan metode *self healing concrete* terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dan *Admixture* Damdex pada beton dengan metode *self healing concrete* terhadap pemulihan retakan yang terjadi pada beton?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diberikan, tujuan penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dan *Admixture* Damdex pada beton dengan metode *self healing concrete* terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dan *Admixture* Damdex pada beton dengan metode *self healing concrete* terhadap pemulihan retakan yang terjadi pada beton.

### 1.4. Manfaat penelitian

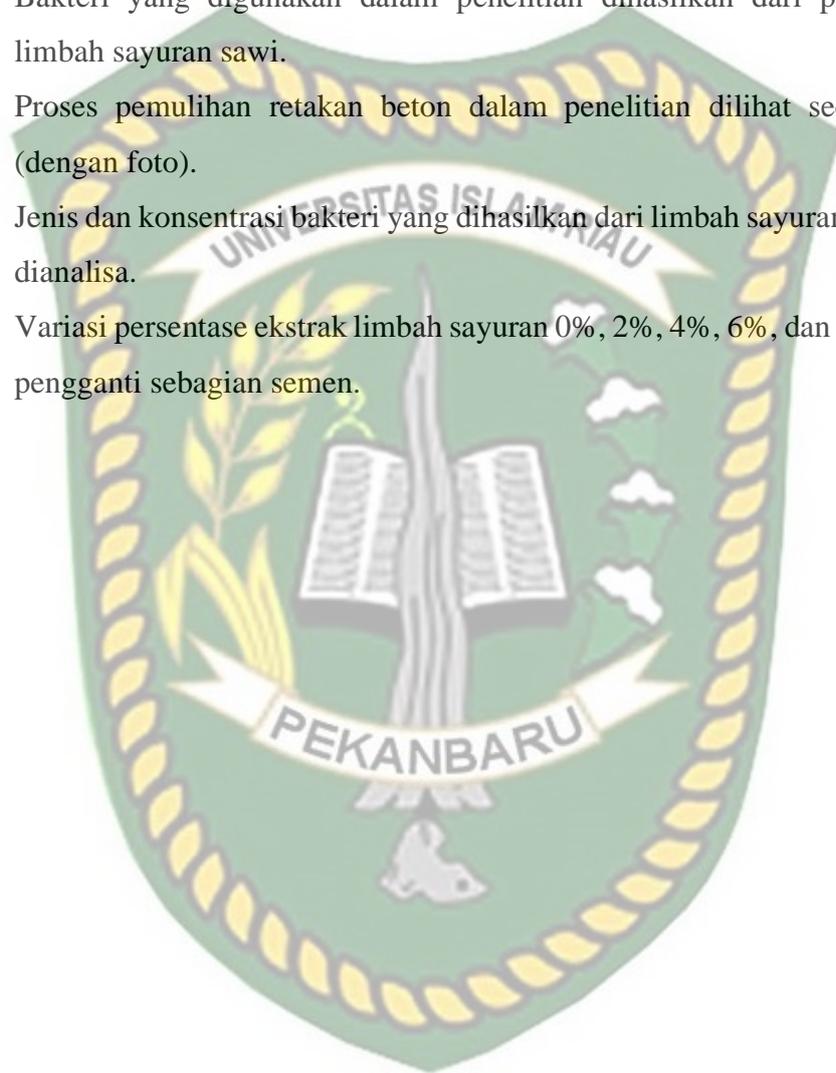
Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat bermanfaat bagi peneliti khususnya serta bermanfaat untuk kemajuan bidang konstruksi, seperti:

1. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan secara umum dalam pembangunan konstruksi.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memacu perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan beton berkualitas dengan daya dukung tinggi serta berumur panjang dan lebih ekonomis dalam proses perawatan beton.

### 1.5. Batasan masalah

Demi kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan, permasalahan yang ditinjau dibatasi sebagai berikut:

1. Benda uji yang dibuat berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm.
2. Tes yang dilakukan pada beton adalah kuat tekan, dan proses pemulihan pada beton.
3. Bakteri yang digunakan dalam penelitian dihasilkan dari pembusukan limbah sayuran sawi.
4. Proses pemulihan retakan beton dalam penelitian dilihat secara visual (dengan foto).
5. Jenis dan konsentrasi bakteri yang dihasilkan dari limbah sayuran sawi tidak dianalisa.
6. Variasi persentase ekstrak limbah sayuran 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% sebagai pengganti sebagian semen.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Umum

Tinjauan pustaka berperan sebagai pemberi solusi terhadap masalah yang ditemukan pada saat melakukan penelitian. Penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian mengenai *self-healing concrete* dan atau penambahan zat aditif Damdex digunakan sebagai bahan rujukan peneliti dalam menyusun laporan tugas akhir.

### 2.2. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian mengenai *self-healing concrete* dan atau penambahan zat *additive* Damdex dijelaskan berikut.

Penelitian dilakukan oleh Fitrawansyah, dkk (2020), dengan judul penelitian “*Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton dari Berbagai Merek Semen*”. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan Damdex terhadap beton dari berbagai merek semen. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu merek semen Tonasa mengalami kenaikan kuat tekan beton terhadap penambahan *admixture* (Damdex) tertinggi pada kadar *admixture* 2% yaitu mencapai kuat tekan 385,24 Kg/cm<sup>2</sup> atau mengalami kenaikan sebesar 23,52% dari kuat tekan beton normal yaitu 311,89 Kg/cm<sup>2</sup>. Merek semen Bosowa mengalami kenaikan kuat tekan beton terhadap penambahan *admixture* (Damdex) tertinggi pada kadar *admixture* 2.5% yaitu mencapai kuat tekan 338,00 Kg/cm<sup>2</sup> atau mengalami kenaikan sebesar 10,15% dari kuat tekan beton normal yaitu 306,86 Kg/cm<sup>2</sup>. Merek semen Tiga Roda mengalami kenaikan kuat tekan beton terhadap penambahan *admixture* (Damdex) tertinggi pada kadar *admixture* 3% yaitu mencapai kuat tekan 354,35 Kg/cm<sup>2</sup> atau mengalami kenaikan sebesar 18,60% dari kuat tekan beton normal yaitu 298,77 Kg/cm<sup>2</sup>.

Penelitian lainnya dengan menggunakan bakteri lain dilakukan oleh Kusuma, dkk (2018), dalam makalah dengan judul “*Self-Healing Concrete*”, membahas tentang penyumbatan retakan pada beton semen dengan menggunakan *Bacillus*

*Megaterium*. Hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa kuat tekan beton dengan bakteri *Bacillus Megaterium* meningkat sebesar 11,96% dibandingkan beton konvensional, selain itu kekakuan beton turut meningkat yang ditunjukkan dengan adanya penurunan daya serap air dan permeabilitas air jika dibandingkan dengan beton konvensional. Kesimpulan penelitian yang dilakukan adalah memperkenalkan bakteri urease positif (bakteri yang dapat mengendapkan kalsium karbonat) seperti *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Pasterui*, *Bacillus Megaterium* dan untuk memahami prosedur penyembuhan retakan pada beton oleh bakteri tersebut. Penelitian juga menunjukkan bahwa beton mengalami peningkatan kuat tekan. Hal ini juga menunjukkan bahwa penggunaan bakteri tersebut berpengaruh positif terhadap penyerapan air dan permeabilitas air pada beton. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *self-healing concrete* dapat menjadi alternatif yang kompeten dan beton yang ramah lingkungan, hemat biaya dan juga meningkatkan daya tahan material bangunan.

Penelitian oleh Soda *et al* (2017) yang berjudul “*Influence of Ureolytic Bacteria in Improving Performance Characteristics of Concrete*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *selfhealing* dari suatu beton dengan adanya penambahan bakteri *Bacillus licheniformis* MTCC 3606 yang berasal dari tanah yang digunakan untuk mengendapkan kalsit dan untuk mencapai sifat kekuatan dan daya tahan yang lebih baik dari perkerasan beton. Hasil penelitian kuat tekan yang dilakukan mengungkapkan bahwa bakteri *Bacillus licheniformis* menghasilkan 12,5%, 13,6%, dan 20% lebih besar dari beton normal pada hari ke 7, 14, dan 28 di kelas M25 dan 10%, 16,6%, dan 20% di kelas M40. Kesimpulan penelitian yang dilakukan adalah bakteri yang digunakan kompatibel dengan super plasticizer, peningkatan kuat tekan yang signifikan dicapai dengan menggunakan *Bacillus licheniformis* MTCC 3606 pada beton mutu M25 dan M40 dibandingkan beton normal.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Karolina (2016), dengan judul penelitian “*Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan Mencampurkan Bakteri Basilus Subtilis yang Dikapsulisasikan Kalsium Laktat*”. Penelitian dilakukan dengan menanamkan bakteri pada media agar, dan dikapsulisasi dengan menggunakan kalsium laktat.

Sementara untuk beton itu sendiri digunakan metode curing yang sangat cocok untuk menahan suhu ph yang cocok dengan pencampuran kapsul berisi bakteri terhadap beton. Berdasarkan analisa pada penelitian ini didapat bahwa hasil kuat tekan menunjukkan beton dengan campuran *Bacillus Subtilis* + Na(10gr) + Ca(40gr) dan *Bacillus Subtilis* + Na(5gr) + Ca(30gr) yaitu, beton normal menunjukkan hasil yang signifikan diatas mutu rencana awal dengan penambahan sebesar 10,21%, 7,6 %, 10%. Sedangkan hasil kuat tekan pada B.Subtilis+Na (15gr) +Ca(50gr) menunjukkan hasil dibawah mutu rencana dengan penurunan mutu sebesar 49,8%. Kesimpulan penelitian yang dilakukan adalah penambahan Kalsium Laktat diatas 50gr/silinder dapat menurunkan mutu beton sebesar 30,12%. Perbandingan *Cracking* pada beton normal dan beton bakteri dapat diketahui, pada beton berbakteri menutupi keretakan, sedangkan untuk beton normal tidak.

Penelitian lain dilakukan oleh Nurmaidah (2016), dengan judul penelitian "*Penggunaan Bahan Tambah Damdex (Waterproofing) pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*". Peneliti ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton dengan menggunakan bahan tambah Damdex dengan persentase yang berbeda-beda. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu hasil kuat tekan beton normal adalah 236,57 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan untuk campuran dengan bahan tambahan Damdex 2,5% dan 5% berturut-turut adalah 257,19 kg/cm<sup>2</sup> dan 278,04 kg/cm<sup>2</sup>. Kuat tekan beton tertinggi pada saat umur beton 28 hari adalah pada saat penambahan Damdex 5% dari berat semen yaitu sebesar 278,04 kg/cm<sup>2</sup>. Penambahannya adalah 41,47 kg/cm<sup>2</sup> dari kuat tekan beton normal atau 17,53% dari beton normal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah penambahan Damdex 2,5% dan 5% dapat menaikkan kuat tekan beton, kenaikan kuat tekan ini terjadi karena berkurangnya pori-pori dalam beton sehingga beton menjadi lebih kuat.

Penelitian lain dilakukan oleh Harianja dan Barus (2008), dengan judul "*Penggunaan Damdex Sebagai Bahan Tambah pada Campuran Beton*". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Damdex terhadap kuat tekan beton. Pada pengujian ini dicari nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari, dengan FAS 0,48 dan masing-masing campuran dengan bahan tambah 0%, 0,5% , 1,0%, 1,5%, 2,0%,

2,5% dari berat semen. Hasil dari penelitian ini adalah kuat tekan tertinggi benda uji pada umur 28 hari sebesar 37,736 MPa pada penambahan Damdex 2,0% atau mengalami kenaikan sebesar 19,23% dari beton normal yang kuat tekannya 31,619 MPa. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu penggunaan Damdex sebagai bahan tambah pada campuran beton ternyata dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kenaikan kuat tekan ini terjadi karena berkurangnya pori-pori dan oksigen dalam beton membuat beton menjadi kuat.

### 2.3. Keaslian Penulisan

Judul penelitian dalam laporan tugas akhir ini terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu tetapi memiliki karakteristik tersendiri yaitu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beton pulih mandiri (*self-healing concrete*) dengan memanfaatkan bakteri yang diperoleh dari pembusukan sayuran hijau serta menambahkan *admixture* Damdex dalam campuran adukan beton. Beberapa persamaan dan perbedaan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.1.** Perbedaan karakteristik penelitian dengan penelitian terdahulu

Nama Peneliti	Keterangan
Fitrawansyah, dkk(2020)	Mengetahui kuat tekan beton dengan penambahan Damdex terhadap beton dari berbagai merk semen.
Kusuma, dkk (2018)	Menggunakan bakteri <i>Bacillus Megaterium</i> dengan metode <i>self healing concrete</i> .
Soda <i>et al</i> (2017)	Menggunakan bakteri <i>Bacillus licheniformis</i> MTCC 3606 dengan metode <i>self healing concrete</i> .
Karolina (2016)	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> yang digunakan dikapsulisasi dengan kalsium laktat dan menggunakan metode curing.
Nurmaidah (2016)	Persentase Damdex yang digunakan 2,5% dan 5% dari berat semen.
Harianja & Barus (2008)	Nilai FAS yang direncanakan 0,48 dan persentase Damdex yang digunakan 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% dari berat semen.
Penelitian yang dilakukan	Menggunakan bakteri dari ekstrak limbah sayuran dan bahan tambah Damdex dengan pengujian kuat tekan dan proses pemulihan retakan.

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. Beton

Beton adalah campuran antara air, semen *Portland* atau semen hidrolis, agregat kasar, dan agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambah atau admixture (SNI 2847-2013). Campuran yang masih plastis ini dicor ke dalam cetakan dan dirawat supaya mendapatkan kekuatan reaksi hidrasi campuran semen-air yang menyebabkan pengerasan yang baik terhadap beton. Beton yang memiliki mutu beton baik adalah beton yang mempunyai kepadatan dan kuat, dengan kata lain beton mempunyai porositas yang sangat kecil. Faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan beton yaitu bahan campuran, cara pengerjaannya, perawatan, dan keadaan lingkungannya sendiri.

Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja dari beton berdampak pada kekuatan yang diinginkan, kemudahan dalam pengerjaannya dan keawetannya dalam jangka waktu tertentu. Beton yang baik ialah beton yang kuat, tahan lama/awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susutnya kecil). (Tjokrodimuljo, K., 2007). Sebagai bahan konstruksi, beton memiliki kelebihan dan juga kekurangan. Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut ini.

1. Harga yang relatif lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapat.
2. Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan panas, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan menjadi lebih murah.
3. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan, oleh sebab itu struktur

beton bertulang dapat diaplikasikan atau dipakai untuk pondasi, kolom, balok dinding, perkerasan jalan, landasan pesawat udara, penampung air, pelabuhan, bendungan, jembatan dan sebagainya

4. Pengerjaan atau *workability* mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan beton dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi lebih murah.

Meskipun beton memiliki banyak kelebihan, beton juga memiliki beberapa kekurangan. Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) kekurangan beton adalah sebagai berikut:

1. Bahan dasar penyusun beton agregat halus maupun agregat kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam.
2. Beton mempunyai beberapa kelas kekuatannya sehingga harus direncanakan sesuai dengan bagian bangunan yang akan dibuat, sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula.
3. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat baja dan sebagainya agar memiliki kuat tarik yang tinggi.

### 3.2. Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan hasil pencampuran dari agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah atau bahan semacamnya, dengan menambahkan semen secukupnya yang berfungsi sebagai perekat bahan susun beton, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran dan kondisi perawatannya dan jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Kekakuan, keawetan dan sifat beton

yang lain tergantung pada sifat bahan-bahan dasar, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan. Material pokok pembentuk beton ialah semen, agregat halus dan kasar, air, serta jika diperlukan dapat mencampur bahan tambah (*admixture*).

### 3.2.1. Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah dicampurkan dengan air. Semen memiliki peranan sangat penting dalam komposisi pencampuran beton, karena semen berfungsi sebagai bahan yang mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

Semen yang digunakan sebagai dasar pembuatan beton tergolong ke dalam jenis semen hidrolis. Semen hidrolis adalah semen yang akan mengeras bisa bereaksi dengan air, tahan terhadap air (*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras. Fungsi semen ialah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), bahan dasar/bahan utama dari pembuatan semen *portland* adalah:

1. Kapur (CaO) : 60% - 65%
2. Silika (SiO<sub>2</sub>) : 20% - 25%
3. Oksida besi dan alumina (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : 7% - 12%

Menurut ASTM (*American Standard for Testing Material*) menentukan komposisi semen berbagai tipe, yaitu:

1. Tipe I adalah semen *portland* untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.
2. Tipe II adalah semen *portland* modifikasi, adalah tipe yang sifatnya setengah tipe IV dan setengah tipe V (moderat). Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti tipe IV.

3. Tipe III adalah semen *portland* dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semua jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
4. Tipe IV adalah semen *portland* dengan panas hidrasi rendah, yang dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum.
5. Tipe V adalah semen *portland* tahan sulfat, yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

### 3.2.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnnya, sehingga pemilihan agregat merupakan sesuatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Pada campuran beton normal, agregat menempati 70 hingga 75% volume beton. Sisanya diisi oleh pasta semen dan air serta rongga udara. Susunan agregat yang padat dalam beton akan membuat beton makin tahan lama dan ekonomis. Karena komposisinya pada beton cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan (Mulyono, 2004).

Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat halus dan agregat kasar. SNI 2847-2013 Pasal 3.3.1 menyebutkan bahwa agregat normal untuk beton harus memenuhi persyaratan ASTM C33M.

#### 1) Agregat halus

Agregat halus adalah pengisi berupa pasir, agregat yang terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4

– No.100 atau dengan kata lain agregat halus adalah batuan yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75mm (Standar ASTM).

Agregat halus yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah :

a) Susunan Butiran (Gradasi)

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat. Adapun batasan gradasi menurut ASTM adalah:

**Tabel 3.1.** Batasan gradasi untuk agregat halus (SNI 2847-2013)

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.76 mm (No. 4)	95 – 100
2.36 mm (No.8)	80 – 100
1.19 mm (No.16)	50 – 85
0.595 mm (No.30)	25 – 60
0.300 mm (No.50)	10 – 30
0.150 mm (No.100)	2 – 10

- b) Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan No.200), tidak boleh melebihi 5% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5 % maka agregat harus dicuci.
- c) Agregat halus harus bebas dari kotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan *Abrams–Harder* dengan batas standarnya pada acuan No. 3.
- d) Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton akan mengalami basah atau lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah

basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinnya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.

- e) Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat:
  - (a) Jika menggunakan Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
  - (b) Jika menggunakan Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

## 2) Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya, agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.75mm (Standar ASTM). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasikan beton, cuaca, dan efek perusak lainnya.

Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar yang umum adalah:

- a) Batu pecah alami: didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali, yang berasal dari gunung api.
- b) Kerikil alami: didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c) Agregat kasar buatan: berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain.

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen

atau penggunaan semen yang minimal. Agregat kasar harus mencapai kriteria yaitu mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada tabel.

**Tabel 3.2.** Susunan besar butiran agregat kasar (SNI 2847-2013)

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase lolos kumulatif (%)
38,10	95 – 100
19,10	35 – 70
9,52	10 – 30
4,75	0 – 5

### 3.2.3. Air

Air merupakan bahan alam, yang diperlukan untuk semua kehidupan, yaitu sebagai media pengangkutan zat-zat makanan, juga merupakan sumber energi serta berbagai keperluan lainnya. Berdasarkan SNI 7974-2013, air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau semua logam yang ada di dinding. Pada pembuatan beton, air berperan sebagai pemicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton. Air yang digunakan untuk bereaksi dengan semen *Portland* sekitar 25-30% dari berat semen, namun jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih 0,40 agar adukan beton tidak sulit dikerjakan. Makin banyak air maka adukan beton makin mudah dikerjakan, akan tetapi perlu dicatat bahwa jumlah air tidak boleh terlalu banyak karena beton akan porous setelah mengeras yang mengakibatkan kekuatannya rendah.

Kekuatan dari pasta pengerasan semen ditentukan oleh perbandingan berat antara semen dan faktor air. Karena dapat mempengaruhi dari kualitas beton, maka terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut Tjokrodinuljo (2007), persyaratan air yang baik sebagai bahan bangunan adalah sebagai berikut:

1. Air harus bersih,
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual, benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter,
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter, khusus untuk beton pra-tegang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai  $SO_3$ ) lebih dari 1 gram/liter.

#### 3.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk menghasilkan beton yang lebih baik dari sisi pengerjaan, mutu maupun keekonomisannya (Setiawan, 2018). Berdasarkan ACI (*American Concrete Insitute*), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

Untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, atau penghematan dapat menggunakan bahan tambah (*admixture*), bahan tambah ini bertujuan untuk memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang akan dihasilkan, sehingga kecenderungan perubahan komposisi dalam berat volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah (Mulyono 2004). Bahan tambah dijadikan sebuah penelitian untuk lebih mengetahui pengaruh dan proporsi yang tepat dalam pembuatan beton.

Saat ini, sudah banyak jenis bahan tambah untuk campuran beton, salah satu produknya adalah Damdex. Berdasarkan situs [Damdexindonesia.com](http://Damdexindonesia.com), dengan pemberian bahan tambah Damdex pada suatu campuran adukan beton dapat meningkatkan kekuatan dari beton tersebut. Damdex adalah bahan pencampur semen (*admixture*) yang menghasilkan pelapis, perekat, dan penambal tahan air

yang memiliki sifat-sifat unggul sehingga mampu melindungi bangunan secara efisien dan efektif.

Damdex berbentuk cairan yang berwarna kecoklatan yang berfungsi sebagai bahan aditif dalam campuran mortar. Damdex yang dicampur dengan mortar/semen akan meningkatkan kecepatan beku campuran semen, meningkatkan kualitas dan kuat tekan beton, meningkatkan kuat lekat campuran mortar/semen dan sekaligus menjadikan campuran mortar/semen bersifat kedap air (Nurmaidah, 2016).

Penggunaan Damdex secara umum diterapkan pada campuran pembangunan kolam renang, atap dak, serta lantai kamar mandi karena sifat Damdex yang dapat mengurangi porositas beton membuat beton kedap air. Damdex juga dapat digunakan sebagai campuran cat agar cat menjadi tahan air (*water proofing*).



Gambar 3.1. Ukuran Damdex (Damdexindonesia.com)

Penambahan *admixture* Damdex dalam campuran beton memiliki beberapa keunggulan, diantaranya:

1. Anti bocor dan mampu menahan resapan air. Damdex dapat digunakan untuk melapis kolam agar tidak bocor ataupun merembes.
2. Tahan panas dan cuaca.
3. Membuat semen menjadi cepat kering dan mengeras dengan sempurna. Damdex membuat campuran semen menjadi jauh lebih cepat kering dan mengeras dengan sempurna.

4. Dapat merekat dalam kondisi basah dan didalam air. Salah satunya dapat merekat keramik lantai di bawah air sehingga tidak perlu menguras air.
5. Meningkatkan kekuatan dari campuran semen.
6. Campuran Damdex dengan semen dapat disesuaikan cair maupun kental untuk memenuhi berbagai kebutuhan.

### 3.3. *Self Healing Concrete*

Hingga saat ini belum ada cara yang mudah untuk memperbaiki retakan pada beton dan mengembalikannya menjadi struktur yang benar-benar aman. Retak pada beton umumnya sulit untuk dihindari. Keretakan terjadi karena berbagai mekanisme seperti susutnya beton, reaksi pada semen, dan gaya tekan dan tarik mekanis dalam struktur. Retak pada permukaan beton dapat meningkatkan resiko kerusakan pada tulangan baja karena masuknya bahan kimia korosif seperti air dan ion klorida ke dalam struktur beton meningkat (Pandit *et al.*, 2018)

Beberapa penelitian dilakukan untuk mencari solusi guna mencegah dan mengantisipasi keretakan yang terjadi pada beton. (Kusuma K *et al.*, 2018), menyatakan bahwa metode terbaru dalam permasalahan keretakan ialah memanfaatkan suatu bakteri yang sifatnya dapat mengendapkan kalsium karbonat sehingga keretakan yang terjadi tertutup dengan sendiri. Metode ini disebut dengan *self healing concrete*.

Beton bakteri yang disebut juga *self healing concrete* adalah metode penyembuhan mandiri pada beton yang membantu memperbaiki retakan dengan menghasilkan kristal kalsium karbonat yang menghalangi retakan mikro dan pori-pori di beton, dengan bantuan hujan dan karbon dioksida di udara, retakan akan menyatu kembali sehingga akan mengurangi resiko kerusakan yang lebih parah (Kusuma *et al.*, 2018).

Teknik perbaikan menggunakan bakteri sehingga lebih unggul dari metode lain karena berbasis bio, ramah lingkungan, hemat biaya, dan bertahan lama (Kusuma *et al.*, 2018). Oleh sebab itu penelitian mengenai *self healing concrete* akan berdampak besar bagi pengembangan teknologi dalam bidang konstruksi.

Cara kerja *Self Healing Concrete* menggunakan bakteri yang dapat mengubah nutrisi organik yaitu kalsium klorida dan urea yang menyebabkan pengendapan kalsium. Saat terjadi keretakan, beton dapat menutup celah-celah keretakan pada beton. Bakteri akan mengubah kalsium laktat menjadi batu kapur, yaitu zat utama pembentuk semen sehingga keretakan menjadi pulih (Kusuma *et al.*, 2018). Penambahan bakteri akan membuat beton lebih tahan korosi, susut pengeringan, asam dari hujan dan serangan sulfat.

(Pandit *et al.*, 2018) Sebagai pertimbangan, metode *self healing concrete* dapat digunakan dalam kondisi sebagai berikut:

1. Peningkatan daya tahan bahan semen untuk perbaikan sifat pasir.
2. Perbaikan monumen batu kapur.
3. Penyegelan retakan beton.
4. Digunakan untuk konstruksi perumahan tahan lama dengan biaya rendah.
5. Digunakan untuk konstruksi jalan tahan lama berbiaya rendah

Berbagai macam keuntungan dalam menggunakan metode ini yaitu:

1. *Self healing concrete* merupakan metode efektif untuk menutup keretakan pada struktur.
2. Mencegah korosi pada tulangan beton.
3. Menghambat masuknya kelembaban pada beton.
4. Mengurangi emisi karbon dioksida.
5. Konsep revolusioner yang menjanjikan masa depan lebih baik pada pekerjaan beton dengan menambah kekuatan dan daya tahan tambahan pada struktur, terutama jika menyangkut pelestarian monumen.

Metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya yaitu:

1. Pertumbuhan bakteri diudara tidak baik.
2. Belum tersedia standar desain pada beton bakteri.
3. Biaya awal beton bakteri lebih mahal dari konvensional dan penyelidikan yang terlibat dalam presipitasi kalsit terbilang mahal.

Biaya beton bakterial awalnya terkesan lebih mahal, tetapi akan menguntungkan jika dibuat dalam jumlah yang banyak karena mengurangi biaya untuk perbaikan kerusakan yang terjadi. Dengan demikian, di masa depan beton

bakteri akan menjadi peran utama dalam konstruksi modern dan pembangunan berkelanjutan.

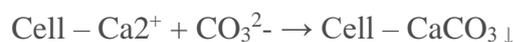
Proses perbaikan pada metode ini diawali dengan masuknya air hujan dan udara lembab pada celah retakan. Air hujan dan kelembaban yang masuk pada retakan umumnya menjadi penyebab kerusakan pada beton, hal ini akan mengaktifkan respon bakteri sehingga bakteri mulai menghasilkan endapan batu kapur (kalsit) yang memperbaiki retakan (Ghodke & Swarda, 2018).

(Kusuma *et al.*, 2018) Proses pengendapan kalsit ini dipengaruhi oleh penguraian urea oleh bakteri, dengan bantuan enzim Urease. Hasilnya dapat mempercepat reaksi urea menjadi amonia dan karbonat. Selanjutnya komponen-komponen ini bereaksi dengan air menjadi asam karbonat dan amonium klorida yang mengarah pada pembentukan kalsium karbonat (kristal kalsit).

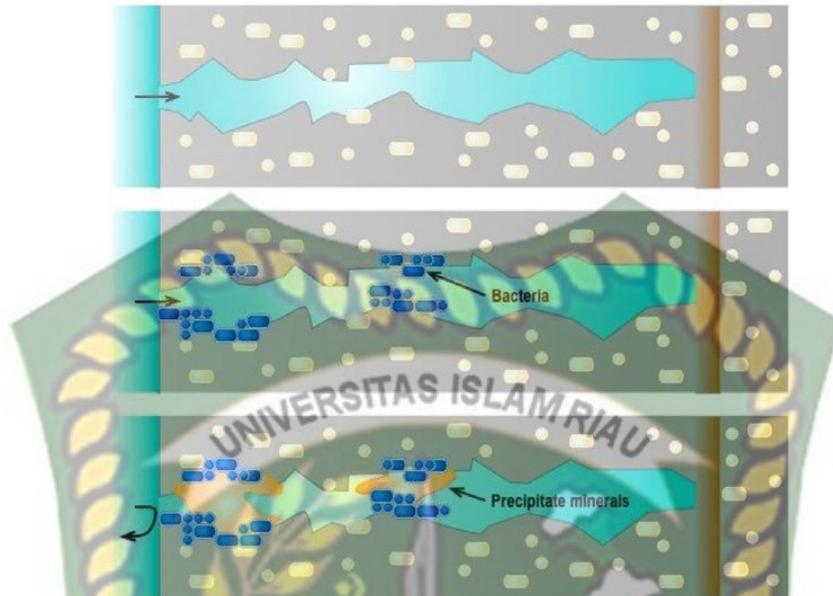
Reaksi yang terjadi yaitu:



Pengamatan yang dilakukan oleh Kusuma, dkk menunjukkan bahwa, dalam pengendapan kalsit, peran kunci dimainkan oleh permukaan bakteri, yaitu muatan negatif dan pH netral. Ion kalsium yang bermuatan positif dapat bergabung dengan permukaan bakteri dengan mendorong terbentuknya nukleasi.



Proses pemulihan keretakan yang terjadi pada beton bakteri dapat digambarkan seperti ilustrasi berikut.



**Gambar 3.2.** Ilustrasi proses pemulihan beton bakteri (S.S. Lucas *et al*, 2018)

Bakteri yang digunakan harus memenuhi dua kriteria utama. Pertama, harus mampu menahan lingkungan yang sangat basa ( $\text{pH} \sim 12,8$ ) dari beton akibat pencampuran air dan semen. Kedua, perkecambahan spora harus tetap berlanjut dalam kondisi yang keras. Spora adalah sel bakteri yang tidak aktif dengan karakteristik bentuk bulat kompak, biasanya dalam kisaran ukuran  $0,8\text{--}1\ \mu\text{m}$ . Spora dapat bertahan hingga 200 tahun (Jonkers, 2017). Ketika kondisi lingkungan mendukung yaitu adanya air, nutrisi, dan oksigen, spora akan berkecambah dan tumbuh menjadi sel bakteri aktif *vegetative*.

(Prasad & Prasad, 2017) Beberapa spesies bakteri yang dapat digunakan pada metode *self healing concrete* yaitu:

1. *Bacillus pasteurii*.
2. *Bacillus subtilis*.
3. *Bacillus sphaericus*.
4. *Bacillus cohnii*.
5. *Bacillus pseudofirmus*.
6. *Bacillus halodurans*.

### 3.4. Pengujian Material

Material yang digunakan dalam pemuatan sampel beton harus melalui serangkaian pengujian, pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui jenis agregat, ukuran, berat jenis, kadar lumpur, dan kadar airnya dan hasil pengujian akan digunakan dalam menentukan rencana campuran pembuatan beton. Pengujian material ini harus sesuai aturan dan ketentuan yang telah ditentukan, sehingga hasil pengujian dapat digunakan dalam perencanaan beton.

Pengujian material antara lain ialah (Panduan Praktikum Teknologi Bahan Universitas Islam Riau, 2019):

#### 3.4.1. Gradasi Agregat

Ukuran agregat dalam pembuatan beton harus diketahui untuk menentukan persentase agregat halus dan kasar yang digunakan, untuk itu dilakukan pemeriksaan gradasi agregat. pemeriksaan ini menggunakan saringan yang telah ditentukan dengan metode ayakan, yang hasilnya untuk menentukan persentase antara agregat halus dan agregat kasar dalam perencanaan campuran beton. Gradasi agregat diperoleh dengan rumus:

$$\text{Persentase (\%)} \text{ tertahan} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\text{Berat Bahan Kering}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Persentase (\%)} \text{ lolos} = 100\% - \text{Persentase (\%)} \text{ tertahan} \dots\dots\dots (2)$$

#### 3.4.2. Berat Isi Agregat

Berat isi atau berat satuan ialah perbandingan antara berat dan volume agregat termasuk rongga antara pasir dan kerikil. Untuk mengetahui berat isi (satuan) tersebut dilakukan pengujian ini.

Berat isi (satuan) pada masing masing benda uji (agregat halus dan kasar) dihitung melalui proses perhitungan berikut ini:

Berat bersih benda uji :

$$W_3 \text{ (gram)} = W_2 - W_1 (2) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

$$W_1 = \text{Berat tempat (gr)}$$

$$W_2 = \text{Berat tempat + benda uji (gr)}$$

$$W_3 = \text{Berat benda uji (gr)}$$

Berat isi tempat ( $W_4$ ) :

$$W_4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot T \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$$D = \text{Diameter tempat (gr)}$$

$$T = \text{Tinggi tempat (gr)}$$

$$W_4 = \text{Berat isi tempat (gr)}$$

Berat isi lepas ( $W_5$ ) :

$$W_5 = W_3 + W_4 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

$$W_5 = \text{Berat isi lepas (gr)}$$

### 3.4.3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besar berat jenis dan kadar air dalam agregat. Hasilnya berupa berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan air yang akan digunakan dalam menentukan perencanaan campuran pengendalian mutu beton. Hitungan berat jenis dan penyerapan agregat dengan rumus :

$$\text{Berat jenis (bulk)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Berat jenis permukaan jenuh} : \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Berat jenis Semu (apparent)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Penyerapan (absorption)} : \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Resapan Efektif (Re)} : \frac{B_j - B_k}{B_j} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Berat air yang mampu diserap benda uji (Wa)} : Re \times B_j \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$B_j$  = Berat benda uji kering oven (gr).

$B_k$  = Berat benda uji kering permukaan (gr).

$B_a$  = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr).

#### 3.4.4. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kandungan lumpur ini adalah cara untuk mengetahui banyaknya kandungan lumpur (tanah liat dan debu) terutama dalam pasir secara teliti. Agregat dalam pembuatan beton sangat mungkin terdapat lumpur yang melapisinya, jika jumlah lumpur yang terkandung dalam lapisan agregat berlebihan akan mengakibatkan penurunan kekuatan dan daya tahan beton. Jika kandungan lumpur berlebih, dapat dikurangi dengan cara mencuci agregat tersebut agar kandungan lumpur didalamnya menurun. Dalam pengujian kali ini menggunakan metoda penjumlahan bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200 (0,0075 mm) yang tujuannya untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat lolos saringan No.200 yang dianggap sebagai debu (lumpur).

Berikut adalah cara menghitung kadar lumpur dengan rumus:

$$\text{Persentase kadar lumpur} : \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

$B_1$  = Berat benda uji kering sebelum dicuci (gr)

$B_2$  = Berat benda uji kering sesudah dicuci (gr)

#### 3.4.5. Pemeriksaan Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terdapat dalam suatu agregat. Pemeriksaan kadar air merupakan cara untuk mengetahui besar penyerapan air yang terjadi di dalam agregat. Dalam pembuatan beton, data kadar air dibutuhkan untuk mengetahui komposisi beton yang baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui nilai kadar air yang terdapat dalam agregat halus maupun agregat kasar di lapangan, sehingga sesuai dengan prosedur dalam perencanaan dan pembuatan beton. Untuk menghitung persentase kadar air agregat dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} : \frac{W1}{W2} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

$W1$  = Berat benda uji sebelum di oven (gr)

$W2$  = Berat benda uji sesudah di oven (gr)

### 3.5. Perencanaan Beton

Beton adalah campuran antara air, semen *Portland* atau semen hidrolis, agregat kasar, dan agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambah atau admixture (SNI 2847-2013). Perencanaan dalam pembuatan beton diperlukan agar beton yang dibuat sesuai dengan mutu yang diinginkan dengan menentukan proporsi campuran bahan pembentuk beton. Proporsi campuran bahan pembentuk beton mempengaruhi kualitas dan mutu beton yang dibuat. Tujuan dalam perencanaan beton ini untuk menghasilkan beton yang sesuai dengan mutu yang direncanakan dengan campuran yang optimal. Optimal dalam hal ini adalah penggunaan bahan minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standart dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut (Mulyono, 2004).

Ketentuan untuk pemilihan proporsi campuran beton sebagai berikut:

1. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan.
2. Beton dengan nilai  $f'c$  lebih dari 20 MPa proporsi campuran serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan.
3. Beton dengan nilai  $f'c$  hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.

Terdapat dua standar bentuk beton yang akan diuji untuk menyesuaikan kekuatannya di lapangan, yaitu berbentuk kubus dan silinder. Perbandingan kuat tekan beton berbentuk kubus dan silinder dapat dilihat pada tabel.

**Tabel 3.3.** Perbandingan kuat tekan beton (PBI, 1971)

Benda uji (cm)	Perbandingan kuat tekan
Kubus 15x15x15	1.00
Kubus 20x20x20	0.95
Silinder d=15, t=30	0.83

Mutu dan karakteristik beton memiliki beberapa kode. Kode pada mutu beton yang menunjukkan kuat tekannya disimbolkan dengan  $f_c'$ . Beton dengan mutu 25 MPa pada umur 28 hari dengan ukuran silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm ditulis dengan mutu  $f_c'$  25 MPa yang merujuk pada standar SNI 03-2847-2002. Satuan kuat tekan beton dinyatakan dengan Mega Pascal (MPa) pada ACI (American Concrete Institute). Beton kubus ukuran 15cm x 15cm x 15 cm pada umur 28 hari dengan kuat tekan karakteristik minimum 250kg/cm<sup>2</sup> dinyatakan dengan mutu K-250, yang mengacu pada PBI 71.

Perbandingan mutu beton dan karakteristik dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F_c' = 0.083 \times K \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

$F_c'$  = Kode mutu beton SNI

K = Kode karakteristik beton PBI 71

Metode untuk menghitung proporsi campuran menurut (SNI 03-2834-2000) adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan kuat tekan ( $f_c'$ ) yang diisyaratkan.

Beton yang direncanakan harus memenuhi persyaratan kuat tekan beton rata-rata ( $f_c'r$ ).

- b. Deviasi Standar (S)

Nilai deviasi standar digunakan sebagai salah satu data masukan pada perencanaan campuran adukan beton (Tjokrodinuljo, 2007). Deviasi Standar (S) adalah indentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data dalam hal ini produksi beton. Dengan banyaknya data yang

didapat tiap pengujian kuat tekan beton, dibutuhkan deviasi standar agar data yang didapat mendekati nilai sebenarnya.

Rumusan menghitung deviasi standar adalah sebagai berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(f_{c'ir} - f_{c'})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

S = Deviasi Standar

$f'c$  = Kuat tekan beton estimasi 28 hari

n-1 = Jumlah benda uji

$f'c_r$  = Kuat tekan beton rata-rata 28 hari

Menurut SNI 03-2834-2000 faktor pengali untuk deviasi standar diklasifikasikan berdasarkan jumlah pengujiannya seperti pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.4.** Faktor pengali untuk deviasi standar (SNI 03-2834-2000)

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir (4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Nilai deviasi standar memberikan informasi mengenai tingkat pengendalian mutu beton, yang tercantum pada tabel 3.5. berikut:

**Tabel 3.5.** Nilai deviasi standar untuk indikasi tingkat pengendalian mutu beton (Mulyono, 2004)

Deviasi Standar (S)	Indeks Tingkat Pengendalian MutuBeton
2,8	Sangat memuaskan
3,5	Memuaskan
4,2	Baik
5,6	Cukup
7,0	Jelek
8,4	Tanpa kendali

Data hasil uji yang digunakan untuk menghitung deviasi standar (S) haruslah sebagai berikut:

- a) Mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
  - b) Mewakili kuat tekan beton yang diisyaratkan  $f_c'$  yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai yang ditentukan.
  - c) Paling sedikit dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji berurutan jumlah benda uji minimum 30 hasil uji diambil dalam prediksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- a. Nilai tambah (Margin)

Nilai tambah atau margin adalah nilai aman dalam perencanaan campuran beton. Pelaksana harus memberikan angka aman pada perencanaan beton yang dibuat, hal ini untuk mengatasi penyimpangan-penyimpangan yang mungkin terjadi di lapangan saat pelaksanaan pembuatan beton. Jika pelaksana mempunyai pengalaman lapangan, nilai tambah didapatkan berdasarkan nilai deviasi standar (S) dengan rumus berikut:

$$M = 1,64 \times S \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

$M$  = Nilai tambah margin (N/mm<sup>2</sup>)

1,64 = Ketetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji. Dalam hal ini diambil 5%

$S$  = Standar deviasi rencana (N/mm<sup>2</sup>).

Namun jika pelaksana tidak memiliki pengalaman lapangan, nilai tambah diambil dari tabel berikut:

**Tabel 3.6.** Tabel nilai margin (03-2834-2000)

Kuat Tekan yang Disyaratkan	Nilai Margin (Angka Aman)
$f_c' < 21$ Mpa	7.0 MPa
$f_c' 21-35$ Mpa	8.5 MPa
$f_c' > 35$ Mpa	10.0 Mpa

- b. Perhitungan kuat tekan rata-rata ( $f_c' r$ ) yang ditargetkan

Dapat dihitung dengan rumus:

$$f_c' r = f_c' + M \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

$f_c' r$  = Kuat tekan rata-rata (MPa)

$f_c'$  = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa)

$M$  = Nilai tambah atau Margin (MPa)

- c. Menetapkan jenis semen *Portland* yang digunakan.  
 d. Menetapkan jenis agregat yang akan digunakan. Baik agregat halus maupun agregat kasar.  
 e. Menentukan Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen yang digunakan dalam beton. Faktor air semen akan mempengaruhi keadaan beton, perbandingan semen dan air yang rendah akan membuat campuran beton menjadi kental dan kuat tekan beton yang dihasilkan menjadi tinggi. Nilai faktor air semen semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kuat tekan beton semakin tinggi, namun ada batasan-batasan dalam hal ini. Faktor air semen yang rendah juga dapat menyebabkan kesulitan dalam pekerjaan pemadatan yang menyebabkan mutu beton menurun. Faktor air semen didapat dari grafik hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen. Langkah-langkah dalam menentukan faktor air semen disyaratkan sebagai berikut:

- a) Menentukan kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan tipe semen dan agregat sesuai dengan benda uji yang direncanakan.  
 b) Lalu tarik garis tegak lurus pada FAS 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan beton yang ditentukan.  
 c) Tarik garis mendatar kuat tekan yang dipakai sampai memotong garis tegak lurus.  
 f. Penetapan nilai *slump*.

*Slump* merupakan salah satu ukuran dalam menentukan kekentalan adukan beton yang dinyatakan dengan ukuran millimeter menggunakan alat kerucut

*Abrams* dalam SNI 03-1972-1990 tentang Metode Pengujian Slump Beton Semen *Portland*). Penentuan nilai slump dimaksudkan untuk memperoleh beton yang mudah dalam pengerjaannya. Faktor dalam mempertimbangkan nilai slump yaitu :

- a) Cara pengangkutan adukan beton.
- b) Cara penuangan adukan beton.
- c) Cara pemadatan beton segar.
- d) Jenis struktur yang dibuat.
- g. Penetapan ukuran agregat maksimum.

Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- a) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan.
- b) Sepertiga dari tebal pelat.
- c) Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.
- h. Kadar air bebas

Kadar air bebas adalah jumlah kebutuhan air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Untuk menentukan kadar air bebas agregat gabungan yang berupa campuran antara campuran pasir alami dan kerikil (batu pecah) maka kadar air bebas harus diperhitungkan memakai rumus :

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \dots\dots\dots (18)$$

Dengan:

$W_h$  : Perkiraan air untuk agregat halus

$W_k$  : Perkiraan air untuk agregat kasar

- i. Menghitung jumlah semen.

Jumlah semen yang dibutuhkan dalam suatu campuran beton ditentukan dengan rumus:

$$W_{\text{semen}} = \frac{1}{f_{as}} \times W_{\text{air}} \dots\dots\dots (19)$$

- j. Jumlah semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan.

- k. Menghitung berat jenis relatif agregat.

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$B_j \text{ Campuran} = \left(\frac{P}{100} \times B_j \text{ Agr Halus}\right) + \left(\frac{K}{100} \times B_j \text{ Agr kasar}\right) \dots \dots \dots (20)$$

Dengan :

$P$  = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran (%)

$K$  = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

$B_j$  = Berat jenis

- l. Hitung kadar air gabungan, yaitu berat jenis beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air.
- m. Hitung kadar agregat kasar, agregat gabungan dikurangi kadar agregat kasar.
- n. Lakukan koreksi terhadap sifat agregat.

Dalam penyesuaian kondisi agregat yang digunakan, dilakukan koreksi pada banyaknya air, agregat halus, dan agregat kasar yang digunakan dalam campuran adukan beton. Perhitungan koreksi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$a) \text{ Air} = B - \left[\frac{(Ck-Ca)xC}{100}\right] - \left[\frac{(Dk-Da)xD}{100}\right] \dots \dots \dots (21)$$

$$b) \text{ Agregat halus} = C + \left[\frac{(Ck-Ca)xC}{100}\right] \dots \dots \dots (22)$$

$$c) \text{ Agregat kasar} = D - \left[\frac{(Dk-Da)xD}{100}\right] \dots \dots \dots (23)$$

Dengan :

$B$  = jumlah air

$C$  = jumlah agregat halus

$D$  = jumlah agregat kasar

$Ca$  = absorpsi air pada agregat halus (%)

$Da$  = absorpsi agregat kasar (%)

$Ck$  = kandungan air dalam agregat halus (%)

$Dk$  = kandungan air dalam agregat kasar (%)

### 3.6. Slump Test

Pemeriksaan kekentalan beton segar diuji menggunakan uji slump. Pengujian *slump* (*slump test*) dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kemudahan

pengerjaan yang dipakai untuk tolak ukur kekentalan beton segar. Percobaan ini dilakukan dengan alat berbentuk kerucut berpancung yang disebut kerucut *Abrams*, dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm, yang dilengkapi dengan kuping (*lifting handles*) untuk mengangkat beton segar serta tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm (Mulyono, 2004).

Pengujian nilai slump bertujuan untuk mengecek adanya perubahan kadar air yang ada dalam adukan beton, sedangkan pemeriksaan nilai *slump* dimaksud untuk mengetahui konsistensi beton dan sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton sesuai dengan syarat-syarat yang ditetapkan. Nilai slump yang tinggi membuat beton mudah dikerjakan. Sebaliknya semakin kecil nilai *slump* maka pengerjaan beton akan semakin sulit.

Berikut anjuran penggunaan nilai *slump* dengan batasan-batasan yang terlampir dalam Tabel 3.7.

**Tabel 3.7.** Penetapan Nilai *Slump* (SNI 03-2834-2000)

Pemakaian Beton	Slump (cm)	
	Maks	Min
Dinding, plat pondasi dan plat telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang	9,0	2,5
Plat, Balok, Kolom, dan Dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

Berdasarkan Tabel 3.7 dapat dilihat bahwa nilai *slump* untuk pondasi, dinding, plat telapak bertulang dengan nilai maksimum adalah 12,5 cm dan nilai minimumnya adalah 5,0 cm. nilai *slump* untuk pondasi telapak tidak bertulang dengan nilai maksimum 9,0 cm dan nilai minimumnya adalah 2,5 cm. nilai *slump* untuk plat, balok, kolom dan dinding dengan nilai maksimum 15,0 cm dan minimum 7,5 cm. sedangkan nilai *slump* untuk perkerasan jalan nilai maksimumnya adalah 7,5 cm dan minimumnya 5,0 cm. dan nilai *slump* untuk pembetonan massal dengan nilai maksimum yaitu 7,5 cm dan minimal 2,5 cm.

### 3.7. Pematatan Beton

Pematatan beton yaitu proses penumbukan beton segar dengan tongkat baja kedalam cetakan kemudian dibantu dengan alat getar untuk mengurangi rongga udara yang terdapat dalam beton. Pematatan dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapat di dalam beton segar ketika dituang kedalam cetakan beton (*bekisting*). Rongga udara yang terdapat dalam beton dapat mempengaruhi kualitas dari beton yang dibuat, rongga udara berbanding terbalik dengan kualitas beton yang tercipta, semakin banyak rongga udara semakin tinggi pula penurunan kuat tekan beton. Beton segar dipadatkan secara manual dengan tumbukan dan menggunakan alat berupa vibrator.

Alat pematat beton atau alat getar (*vibrator*) dibagi menjadi dua (Mulyono, 2004) :

1. Alat getar *intern* (*internal vibrator*), yaitu alat getar yang berupa tongkat dan digerakkan dengan mesin. Untuk menggunakannya tongkat dimasukkan kedalam beton pada waktu tertentu, tanpa harus menyebabkan *bleeding*.
2. Alat getar cetakan, yaitu alat getar yang menggetarkan cetakan beton sehingga betonnya bergetar dan memadat

Beberapa pedoman umum dalam proses pematatan (Mulyono, 2004) adalah :

1. Pada jarak yang berdekatan/pendek, pematatan dengan alat getar dilaksanakan dalam waktu yang pendek.
2. Pematatan dilaksanakan secara vertikal dan jatuh dengan beratnya sendiri.
3. Tidak menyebabkan terjadinya *bleeding*.
4. Pematatan merata.
5. Tidak terjadi kontak antara alat getar dengan bekisting.
6. Alat getar tidak berfungsi untuk mengalirkan, mengangkat atau memindahkan beton.

### 3.8. Perawatan Beton

Tahap akhir dalam pengerjaan beton ialah tahap perawatan (*curing*) yaitu menjaga agar permukaan beton selalu lembab sejak dipadatkan sampai proses

hidrasi cukup sempurna. Proses hidrasi beton dapat menyebabkan penguapan yang menyebabkan penyusutan kering yang terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang mungkin menyebabkan retak. Hal ini harus dihindari agar kualitas beton tetap terjaga dan tetap sesuai dengan mutu rencana. Tujuan utama dari perawatan beton yaitu untuk mempertahankan keadaan beton tetap basah selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu agar beton tidak mengalami retakan hingga dilakukan pengujian beton. Biasanya, perawatan beton dilakukan dengan cara merendamkan beton yang telah berumur 1 hari hingga tenggelam dalam selang waktu yang direncanakan. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya.

### 3.9. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah nilai kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton pada umumnya dijadikan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton (Setiawan, 2018). Kualitas beton yang dibuat ditentukan dengan hasil dari pengujian kuat tekan dengan menggunakan mesin tekan hidrolik, kemudian dikalkulasikan menurut bentuk benda uji beton yang telah dibuat.

Kuat tekan beton merupakan sifat yang menonjol pada beton. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pengujian kuat tekan beton dibagi menjadi dua, yaitu pengujian *destruktif* dan *non destruktif*. Pengujian destruktif yaitu dengan merusak benda ujinya pada saat pelaksanaan pengujian, sebaliknya pengujian non destruktif dilaksanakan tanpa merusak benda ujinya.

Kuat tekan beton didapat dari besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui secara pasti kekuatan tekan beton yang sebenarnya apakah sesuai dengan yang telah disyaratkan. Pada mesin uji tekan benda diletakkan dan diberikan beban sampai benda runtuh (Mulyono. T, 2004).

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah sebagai berikut (Mulyono. T, 2004):

1. Faktor air semen (FAS)

Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan. Tampak bahwa semakin rendah nilai faktor air semen (FAS) tertentu semakin rendah nilai FAS kuat tekan betonnya semakin rendah pula. Namun kenyataannya, pada suatu nilai FAS semakin rendah, maka akan semakin sulit dipadatkan. Sehingga ada suatu nilai FAS yang optimal dan menghasilkan kuat tekan yang maksimal.

2. Umur beton

Pada umumnya kuat tekan beton atau kekuatan beton bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton tergantung pada jenis semen dan FAS.

3. Jenis semen

Semen *Portland*, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan semen dibagi menjadi beberapa tipe yaitu, tipe I, tipe II, tipe III, tipe IV, dan tipe V. Jenis - jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda sebagaimana tampak pada

4. Jumlah semen

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton sebagaimana diuraikan sebagai berikut : Jika nilai faktor air semen (nilai slump berubah), beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi. Pada jumlah semen yang terlalu sedikit berarti jumlah air yang sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan, sehingga kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti jumlah air berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori dan akibat kuat tekan beton rendah. Jika nilai slump sama (nilai faktor air semen berubah), beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena nilai slump sama , jumlah air hampir sama sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai faktor air semen yang berakibat penambahan kuat tekan beton. Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton mempunyai pola yang sama dengan pengaruh pasta terhadap kuat tekan beton, tetapi memiliki jumlah

semen optimum yang relatif sama untuk semua nilai faktor air semen yaitu 352 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling banyak berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus dan kasar berpengaruh pada lekatan besar tegangan saat retak – retak beton mulai terbentuk sedangkan ukuran maksimum agregat akan mempengaruhi kuat tekannya. Bentuk agregat yang bersudut (batu pecah) mempunyai luas permukaan yang lebih besar (kerikil) sehingga mempunyai daya lekat dengan pasta yang lebih kuat. Dengan adanya lekatan antara batuan dan pasta yang baik dimana retak rambut akibat tekan biasanya dimulai, maka kekuatan beton lebih tinggi.

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis antara lain (Tjokrodimuljo, 2007):

**Tabel 3.8.** Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekan (Tjokrodimuljo, 1996)

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton Sederhana ( <i>plain concrete</i> )	Sampai 10 Mpa
Beton Normal (beton biasa)	15-30 Mpa
Beton Prategang	30-40 Mpa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40-80 Mpa
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	>80 Mpa

Dari Tabel 3.8. beton dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu beton sederhana memiliki nilai kuat tekan sampai 10 Mpa, beton normal memiliki nilai kuat tekan 15-30 Mpa. Sedangkan untuk beton prategang nilai kuat tekannya adalah 30-40 Mpa. Untuk beton kuat tekan tinggi dengan nilai 40-80 Mpa dan beton kuat tekan sangat tinggi mencapai >80 Mpa.

Kuat tekan beton didapat melalui pengujian kuat tekan dengan memakai alat uji tekan (*compressive strength machine*). Pemberian beban tekan dilakukan bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton.

Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus (panduan praktikum teknologi bahan dan beton, Universitas Islam Riau, 2019):

- 1) Kuat tekan beton ( $f'c$ )

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (24)$$

Dimana:

$f'c$  = Kuat tekan benda uji beton, Mpa

P = Besar beban maksimum, N

A = Luas penampang benda uji, mm<sup>2</sup>

- 2) Kuat tekan rata-rata benda uji ( $fc'r$ )

Kuat tekan rata-rata benda uji adalah kuat tekan beton yang dicapai dari beberapa sampel benda uji dibagi dengan jumlah benda uji, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$fc'r = \frac{\sum f'c}{n} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana:

$f'c$  = Kuat tekan benda uji beton (Kg/cm<sup>2</sup>)

$fc'r$  = Kuat tekan rata-rata dari jumlah benda uji (Kg/cm<sup>2</sup>)

n = Jumlah benda uji,

- 3) Standar deviasi (s)

Definisi standar deviasi (Purwono, 2010) adalah istilah statistik yang dipakai sebagai ukuran tingkat variasi suatu hasil produk tertentu (dalam hal ini produk beton). Rumus standar deviasi dapat dilihat pada persamaan 3.20 (panduan praktikum teknologi bahan dan beton, Universitas Islam Riau, 2019):

$$S = \frac{\sqrt{\sum (fc'r - f'c)^2}}{n-1} \dots\dots\dots (26)$$

Dimana:

S = Standar deviasi

$f'c$  = Kuat tekan beton estimasi 28 hari

$n - 1$  = Jumlah benda uji

$fc'r$  = Kuat tekan beton rata-rata 28 hari

#### 4) Kuat tekan karakteristik ( $f_c'k$ )

Kuat tekan karakteristik atau kuat tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar pemilihan campuran beton. (panduan teknologi bahan beton, Universitas Islam Riau, 2019). Dapat dihitung dengan persamaan:

$$f_c'k = f_c'r - (1,64 \cdot S) \dots\dots\dots (27)$$

Dimana:

- $f_c'k$  = Kuat tekan karakteristik beton
- $f_c'r$  = Kuat tekan beton rata-rata estimasi 28 hari
- S = Standar deviasi

Kuat tekan karakteristik yang diperoleh harus lebih atau sama dengan kuat tekan karakteristik yang direncanakan atau ( $f_c' \geq f_c'r$ ) (Dipohusodo,1997). Jika kuat tekan tidak terpenuhi, dapat disimpulkan bahwa percobaan pembuatan beton gagal dan hasilnya tidak dapat digunakan.

### 3.10. Pemulihan Retak

Keretakan merupakan salah satu hal yang berpengaruh pada kegagalan struktur. Jika keretakan mencakup hingga ketulangan beton akan menyebabkan korosi pada tulangan (Afifah *et al.*, 2013). Masuknya bahan kimia agresif seperti klorida, sulfat, dan asam dapat mengakibatkan runtuhnya ikatan beton dalam jangka panjang dan korosi dini pada tulangan baja tertanam dan mengurangi ketahanan struktur (Jonkers, 2017). Keretakan yang terjadi harus segera diatasi agar terhindar dari kerusakan-kerusakan tersebut, tentunya hal ini sangat dihindari agar tetap terpenuhi syarat konstruksi yang mana bangunan harus aman.

Keretakan yang terjadi dapat dihindari dengan menggunakan metode *self healing concrete* yang dapat menutup kembali keretakan dengan menggunakan bakteri sebagai *reagen* yang dapat menghasilkan zat kapur yang merupakan bahan identik pembuatan semen.

Proses perawatan pada pemulihan beton dengan metode *self healing concrete* adalah dengan cara melakukan penyiraman pada beton yang mengalami

retakan. Hal ini akan memuat bakteri menjadi aktif dan menghasilkan kalsium karbonat (kalsit) atau zat kapur yang dapat membuat retakan beton kembali tertutup. Sehingga bahan kimia agresif seperti klorida, sulfat, dan asam tidak dapat masuk, serta beton menjadi komposit kembali. Proses pemulihan retakan dengan bantuan bakteri berpotensi memberikan dampak besar pada bidang konstruksi karena dapat mengurangi biaya perbaikan secara signifikan, mereduksi jumlah karbon, serta mengurangi jumlah limbah organik (Ansari & Joshi, 2020).



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1. Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Menurut Sugiyono (2017), metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali. Penelitian ini dilakukan untuk mencari pengaruh metode *self healing concrete* pada beton dengan *admixture* Damdex. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm sebanyak 27 benda uji, dengan variasi persentase bakteri 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% sebagai pengganti sebagian semen dan tiap variasi berjumlah 3 sampel benda uji. Beton direncanakan dengan umur 28 hari dan uji sampel berupa uji tekan dan uji pemulihan keretakan.

**Tabel 4.1.** Jumlah benda uji penelitian

Umur Perawatan	Pengujian	Persentasi Cairan Bakteri Menggantikan Sebagaian Semen					Jumlah Benda Uji
		0%	2%	4%	6%	8%	
28 Hari	Kuat Tekan Beton	3	3	3	3	3	27
	Pemulihan Retakan Beton		3	3	3	3	

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru pada tanggal 25 July 2021. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1.** Denah lokasi penelitian (Google Earth, 2022)

#### 4.2. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000 untuk percobaan laboratorium.

##### 4.2.1. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

##### 1. Cawan

Cawan digunakan sebagai tempat atau wadah material yang terbuat dari aluminium tahan panas. Cawan digunakan pada pemeriksaan penyaringan agregat, berat jenis, kadar air, dan kadar lumpur.



**Gambar 4.2.** Cawan (Dokumentasi penelitian, 2021)

##### 2. Timbangan

Ada beberapa jenis timbangan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

- a. Timbangan neraca digunakan untuk menimbang saat pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan menimbang material untuk pengecoran berupa agregat halus, agregat kasar, dan semen.



**Gambar 4.3.** Timbangan neraca (Dokumentasi penelitian, 2021)

- b. Timbangan digital dengan ketelitian 0,1 gram digunakan untuk menimbang material saat pemeriksaan saringan gradasi agregat, kadar air, kadar lumpur, berat jenis agregat halus, menimbang cawan, admixture Damdex, dan cairan bakteri pengganti sebagian semen.



**Gambar 4.4.** Timbangan digital (Dokumentasi penelitian, 2021)

- c. Timbangan duduk digunakan untuk menimbang  *mold* yang digunakan saat pengecoran serta untuk menimbang beton yang akan diuji.



**Gambar 4.5.** Timbangan duduk (Dokumentasi penelitian, 2021)

3. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat saat melakukan pemeriksaan. Oven dilengkapi dengan pengatur suhu hingga 110°C dan waktu. Menurut SNI 1970-2008 tentang pengujian berat jenis pasir dan kerikil, oven yang digunakan harus dapat memanaskan hingga suhu 110°C.



**Gambar 4.6.** Oven (Dokumentasi penelitian, 2021)

4. Satu set saringan

Ukuran saringan yang digunakan yaitu no.1 ½" (38,1mm), no.3/4" (19mm), no.1/2" (12,7mm), no.3/8" (9,6mm), no.4 (4,8mm), no.8 (2,4mm), no.16 (1,2mm), no.30 (0,6mm), no.50 (0,3mm), no.100 (0,15mm), no.200 (0,075mm). Saringan digunakan pada pemeriksaan saringan agregat.



**Gambar 4.7.** Satu set saringan (Dokumentasi penelitian, 2021)

5. Bejana

Bejana terbuat dari baja dengan ukuran diameter 158mm dan tinggi 155mm. Bejana ini digunakan pada pemeriksaan berat isi agregat.



**Gambar 4.8.** Bejana (Dokumentasi penelitian, 2021)

6. Batang penusuk

Batang penusuk terbuat dari baja dengan ukuran panjang 60cm dan diameter 16cm. Batang penusuk dalam penelitian ini digunakan untuk pemadatan agregat pada pemeriksaan berat isi dan untuk memadatkan pada pengujian *slump* dan memadatkan beton dalam cetakan beton.



**Gambar 4.9.** Batang penusuk (Dokumentasi penelitian, 2021)

7. Kerucut *Abrams*

Kerucut *Abrams* digunakan pada pemeriksaan nilai *slump* pada saat kondisi beton segar. Kerucut terbuat dari baja berukuran tebal 3mm diameter atas 100mm dan diameter bawah 200mm. Bagian dalam kerucut harus licin, halus, dan bebas kotoran maupun sisa pengecoran. Berdasarkan SNI 1972-2008, tentang pengujian *slump*, kerucut harus terbuat dari logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Kerucut harus mempunyai diameter dasar 203mm, 102mm dan tinggi 305mm. Batas toleransi ukuran harus dalam rentang 3,2mm.



**Gambar 4.10.** Kerucut *Abrams* (Dokumentasi penelitian, 2021)

8. *Mixer* beton

*Mixer* beton atau molen yang digunakan pada penelitian ini menggunakan mesin pengaduk dengan tenaga listrik. Molen digunakan untuk mengaduk campuran mortar agar teraduk rata.



**Gambar 4.11.** *Mixer* beton (Dokumentasi penelitian, 2021)

9. Koran

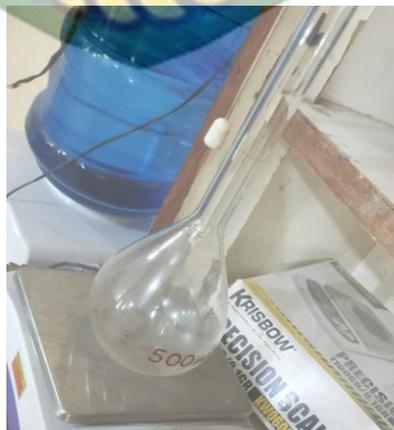
Koran digunakan sebagai media mengeringkan agregat halus pada pemeriksaan berat jenis.



**Gambar 4.12.** Koran (Dokumentasi penelitian, 2021)

10. *Picnometer*

*Picnometer* digunakan untuk menghilangkan gelembung udara saat pemeriksaan berat jenis agregat halus.



**Gambar 4.13.** *Picnometer* (Dokumentasi penelitian, 2021)

#### 11. Kerucut terpancung

Kerucut ini memiliki ukuran diameter atas 37-43mm dan diameter bawah 87-93mm serta tinggi 67-73mm terbuat dari logam dengan ketebalan 0,8mm dilengkapi dengan batang penumbuk berbidang rata dengan berat 325-355gram, permukaan penumbuk berdiameter 22-28mm.



**Gambar 4.14.** Kerucut terpancung (Dokumentasi penelitian, 2021)

#### 12. Cetakan beton

Cetakan beton atau *mold* yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 15cm x 15cm x 15cm.



**Gambar 4.15.** Cetakan beton (Dokumentasi penelitian, 2021)

#### 13. Mesin penggetar

Mesin penggetar atau vibrator berfungsi untuk memadatkan mortar ke dalam cetakan sehingga tidak ada rongga udara yang terperangkap di dalam cetakan.



**Gambar 4.16.** Mesin penggetar (Dokumentasi penelitian, 2021)

14. Mesin Kuat Tekan

Menurut SNI 03-2823-1992 tentang pengujian kuat tekan, *Compression Testing Machine* (UTM) adalah mesin pembebanan untuk pengujian benda uji yang dipakai untuk memberikan beban secara menerus dan dilengkapi dengan manometer. Berkapasitas maksimum 2000kN dan digerakkan oleh tenaga listrik. Seluruh badan mesin terbuat dari baja dan mempunyai pengatur serta pengontrol beban.



**Gambar 4.17.** Mesin kuat tekan (Dokumentasi penelitian, 2021)

15. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah air yang digunakan untuk pengecoran benda uji dengan kapasitas 1Liter.



**Gambar 4.18.** Gelas ukur (Dokumentasi penelitian, 2021)

16. Talam baja

Talam baja digunakan untuk menampung beton segar yang telah tercampur rata pada mesin molen. Talam baja juga digunakan sebagai alas saat pengujian *slump*.



**Gambar 4.19.** Talam baja (Dokumentasi penelitian, 2021)

17. Bak perendam

Bak perendam digunakan untuk merendam beton yang baru dibuka dari cetakan, hal ini dilakukan untuk merawat beton dalam waktu yang telah ditentukan.



**Gambar 4.20.** Bak perendam (Dokumentasi penelitian, 2021)

18. Alat pendukung lainnya

Alat pendukung lain untuk membantu pekerjaan dalam penelitian ini yaitu sekop, sendok semen, ember, selang, dan kuas.

Penggunaan peralatan tersebut dalam penelitian ini dapat dilihat pada bagian berikut ini:

1. Analisa Saringan

Peralatan yang digunakan pada pemeriksaan analisa saringan adalah:

- a. Satu set saringan.
- b. Timbangan.
- c. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.

2. Berat Isi Agregat

Alat yang dipergunakan pada pemeriksaan berat isi adalah:

- a. Bejana
- b. Tongkat pematik
- c. Timbangan

3. Berat Jenis dan Analisa Penyerapan Air

Alat yang dipergunakan pada analisa penyerapan air adalah:

- a. Timbangan.
- b. *Picnometer*.
- c. Kerucut terpancung (*Cone*) dan batang penumbuk
- d. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.

- e. Bejana tempat air.
  - f. Saringan No.04
4. Pengujian Kadar Lumpur Agregat  
Alat yang dipergunakan pada berat isi adalah:
    - a. Saringan No.200 (0,075mm).
    - b. Timbangan.
    - c. Cawan.
    - d. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
  5. Pengujian *Slump Test* (Beton Segar)  
Peralatannya adalah:
    - a. Kerucut *Abrams*.
    - b. Batang penumbuk.
    - c. Mistar.
    - d. Sendok semen.
  6. Pembuatan Benda Uji  
Peralatan yang digunakan adalah:
    - a. Mesin molen.
    - b. Sendok semen.
    - c. Cetakan kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm.
    - d. Batang penumbuk.
    - e. Talam baja.
  7. Perendaman Beton  
Beton yang telah dibuka dari cetakan setelah 24 jam direndam dalam bak perendam.
  8. Pengujian Kuat Tekan Beton  
Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat berupa mesin uji kuat tekan beton (*compressive strength machine*).

#### 4.2.2. Bahan Penelitian

Material dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland PCC* tipe 1 dengan merk dagang Semen Padang dengan kemasan 50kg (1 zak).



**Gambar 4.21.** Semen (Dokumentasi penelitian, 2021)

2. Agregat Kasar

Penelitian ini menggunakan agregat kasar berjenis batu sungai pecah dengan ukuran 10mm-20mm yang diperoleh dari PT. RMB (Riau Mas Bersaudara).



**Gambar 4.22.** Agregat kasar (Dokumentasi penelitian, 2021)

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir pasang atau pasir sungai, yang diperoleh dari PT. RMB (Riau Mas Bersaudara).



**Gambar 4.23.** Agregat halus (Dokumentasi penelitian, 2021)

4. Air

Pada proses campuran beton, air yang digunakan berasal dari sumur bor Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

5. Bahan tambahan

Penelitian ini menggunakan 2 jenis bahan tambah yaitu *admixture* Damdex dan cairan bakteri sebagai substitusi jumlah semen. *Admixture* Damdex yang digunakan diperoleh dari toko bangunan. Cairan bakteri diproses dan diolah dari pembusukan limbah sayuran sawi kemudian diberi nutrisi berupa kalsium klorida dan urea.



**Gambar 4.24.** Cairan bakteri (Dokumentasi penelitian, 2021)

#### 4.3. Tahap Penelitian

Pencampuran adukan beton mengacu pada metode SNI dengan menggunakan *mix design* sesuai dengan rumus yang tercantum pada SNI. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan.

### 4.3.1. Persiapan

Tahap persiapan dilakukan untuk menganalisis sifat mekanis beton untuk mengetahui sifat-sifat material guna merencanakan campuran pembuatan beton yang tepat, sehingga diperlukan pengkajian secara detail sehingga setiap data yang digunakan efektif dan efisien. Beberapa langkah pelaksanaan pada tahap persiapan yaitu:

1. Pengolahan bakteri

Bakteri yang digunakan pada penelitian ini diolah terlebih dahulu melalui tahapan berikut:

- a. Pengumpulan limbah sayuran

Limbah sayuran yang digunakan berasal dari pasar pagi Arengka, pasar Kodim, pasar kaget Karya 1, dan pasar Taratak Buluh.

- b. Pembersihan sayuran

Sayuran yang telah dikumpulkan kemudian dicuci bersih untuk menghilangkan sisa pestisida maupun kotoran yang mungkin menempel pada sayuran.

- c. Pembersihan sayuran

Setelah dicuci bersih, sayuran ditiriskan kemudian dimasukkan kedalam plastik *packing* dan ditutup rapat. Sayuran dibiarkan membusuk selama 1 minggu.

- d. Ekstraksi bakteri

Setelah sayuran membusuk, langkah selanjutnya sayuran diblender dengan ditambahkan air agar lebih mudah dalam penghancurannya. Sayuran yang telah hancur, disaring kemudian ditambahkan kalsium klorida dan urea, diaduk hingga larut. Cairan tersebut disimpan dalam jerigen yang ditutup rapat.



**Gambar 4.25.** Proses pengolahan bakteri (Dokumentasi penelitian, 2021)

2. Pemeriksaan bahan penyusun beton

Material yang diperiksa pada penelitian ini yaitu agregat halus dan agregat kasar. Beberapa pemeriksaan yang dilakukan yaitu:

a. Pemeriksaan gradasi agregat.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pemeriksaan gradasi agregat yaitu:

- a) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$ , hingga berat tetap.
- b) Saringan disusun dengan lubang ayakan yang paling besar, ditempatkan paling atas kemudian secara berurutan lubang ayakan yang lebih kecil di bawahnya.
- c) Agregat dimasukkan ke ayakan yang paling atas.
- d) Agregat yang telah masuk ke dalam ayakan diayak dengan tangan atau alat penggetar hingga agregat telah terpisah satu sama lain. Ayakan ini diguncang selama kurang lebih 15menit.
- e) Agregat yang tertinggal di masing-masing ayakan dipindahkan ke wadah yang lain. Ayakan dibersihkan terlebih dahulu dengan sikat agar tidak ada butir-butir agregat yang tertinggal dalam ayakan.

- f) Agregat ditimbang satu sama lain. Penimbangan sebaiknya dilakukan secara kumulatif yaitu dari butiran yang kasar terlebih dahulu, kemudian ditambahkan dengan butiran yang lebih halus hingga semua butir ditimbang. Berat agregat dicatat pada setiap kali penimbangan.



**Gambar 4.26.** Gradasi agregat (Dokumentasi penelitian, 2021)

- b. Pemeriksaan berat isi agregat
- Urutan proses dari pemeriksaan berat isi agregat adalah:
- a) Berat isi gembur atau lepas
    - (a) Persiapkan benda uji (agregat halus dan kasar) yang mewakili agregat dilapangan.
    - (b) Timbang dan catat wadah bejana (W1).
    - (c) Masukkan benda uji dengan perlahan-lahan (agar tidak terjadi pemisahan butiran) maksimum 5cm dari atas wadah dengan mempergunakan sendok lalu datarkan permukaannya, jika perlu menggunakan mistar perata.
    - (d) Timbang dan catat berat bejana yang berisi benda uji (W2).
  - b) Berat isi padat
    - (a) Persiapkan benda uji (agregat halus dan kasar) yang akan diperiksa yang mewakili agregat dilapangan.
    - (b) Timbang dan catat berat/wadah (W1)

- (c) Masukkan benda uji kedalam wadah lebih kurang 3 lapis yang sama ketebalannya, setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tumbukan secara merata. Setiap tusukan tidak boleh sampai ke lapisan sebelumnya.
- (d) Ratakan permukaan benda uji sehingga rata dengan bagian atas bejana dengan menggunakan mistar perata jika diperlukan.
- (e) Ditimbang dan dicatat berat wadah/ tempat yang berisi benda uji (W<sub>2</sub>).
- c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air
- Langkah-langkah dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air sebagai berikut:
- a) Agregat Halus
- (a) Keringkan benda uji dalam oven hingga dicapai berat tetap, lalu dinginkan pada suhu ruangan kemudian rendam dalam air selama 24 jam.
- (b) Buang air perendam secara hati-hati dan perlahan hingga tidak ada butiran yang hilang, tebarkan agregat halus diatas talam, keringkan benda uji dengan cara membalik-balikkan benda uji hingga kering permukaan jenuh.
- (c) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, hingga keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila benda runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- (d) Setelah kering permukaan jenuh tercapai, dimasukkan 500gram benda uji kedalam picnometer. Masukkan air suling hingga mencapai 90% dari isi picnometer, putar sambil diguncang hingga tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
- (e) Rendam picnometer yang berisi air dan ukur suhu air untuk menyesuaikan perhitungan standar 25°C.
- (f) Tambahkan air hingga mencapai tanda batas.
- (g) Timbang picnometer yang berisi air dan benda uji.

- (h) Keluarkan benda uji lalu keringkan dalam oven sampai mencapai berat tetap, kemudian keringkan dalam desikator.
  - (i) Setelah benda uji dingin, lalu ditimbang.
  - (j) Tentukan berat piknometer yang berisi air penuh, ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C.
- b) Agregat Kasar
- (a) Cuci benda uji untuk menghilangkan kotoran dan debu.
  - (b) Keringkan benda uji dengan oven sampai mendapatkan berat tetap.
  - (c) Benda uji di dinginkan lalu ditimbang.
  - (d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
  - (e) Keluarkan benda uji dari air, bersihkan dan lap menggunakan kain yang dapat menyerap air hingga selaput air pada permukaan benda uji hilang (kering permukaan).
  - (f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh.
  - (g) Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncang benda uji untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air, ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan standar.
  - (h) Lakukan pemeriksaan yang berulang, kemudian ambil nilai rata-rata untuk hasil yang paling mendekati dengan kondisi sebenarnya.
- d. Pemeriksaan kadar lumpur
- Langkah-langkah pemeriksaan kadar lumpur adalah sebagai berikut:
- a) Benda uji dimasukkan ke dalam cawan lalu dikeringkan di dalam oven selama 24 jam. Lalu ditimbang.
  - b) Benda uji yang telah ditimbang lalu dicuci dengan cara disaring menggunakan saringan No.200.
  - c) Benda uji dikeringkan kembali menggunakan oven sampai berat tetap, lalu di timbang.

- e. Pemeriksaan kadar air

Urutan proses pemeriksaan kadar air adalah:

- a) Timbang cawan.
- b) Masukkan benda uji basah ke dalam cawan lalu timbang.
- c) Oven benda uji selama 24 jam.
- d) Timbang kembali benda uji setelah dingin.

#### 4.3.2. Perencanaan Beton

Perencanaan dalam pembuatan beton diperlukan agar beton yang dibuat sesuai dengan mutu yang diinginkan dengan menentukan proporsi campuran bahan pembentuk beton. Perhitungan proporsi campuran beton menurut (SNI 03-2834-2000) adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan kuat tekan ( $f'c$ ) yang diisyaratkan.  
Beton yang direncanakan harus memenuhi persyaratan kuat tekan beton rata-rata ( $f'c'r$ ).
2. Menentukan nilai deviasi standar (S)  
Nilai deviasi standar digunakan sebagai salah satu data masukan pada perencanaan campuran adukan beton. Banyaknya data yang didapat tiap pengujian kuat tekan beton, dibutuhkan deviasi standar agar data yang didapat mendekati nilai sebenarnya.
3. Menentukan nilai tambah (Margin)  
Pelaksana harus memberikan angka aman pada perencanaan beton yang dibuat untuk mengatasi penyimpangan-penyimpangan yang mungkin terjadi di lapangan saat pelaksanaan pembuatan beton.
4. Menghitung kuat tekan rata-rata ( $f'c'r$ ) yang ditargetkan.
5. Menetapkan jenis semen Portland yang digunakan.
6. Menetapkan jenis agregat yang akan digunakan. Baik agregat halus maupun agregat kasar.
7. Menentukan faktor air semen (FAS)

Faktor air semen didapat dari grafik hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen. Langkah-langkah dalam menentukan faktor air semen disyaratkan sebagai berikut:

- a) Menentukan kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan tipe semen dan agregat sesuai dengan benda uji yang direncanakan.
  - b) Tarik garis tegak lurus pada FAS 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan beton yang ditentukan.
  - c) Tarik garis mendatar kuat tekan yang dipakai sampai memotong garis tegak lurus
8. Penetapan nilai *slump*  
Penentuan nilai *slump* dimaksudkan untuk memperoleh beton yang mudah dalam pengerjaannya.
  9. Penetapan ukuran agregat maksimum.
  10. Menentukan kadar air bebas.
  11. Menghitung jumlah semen yang diperlukan.
  12. Menghitung berat jenis relatif agregat
  13. Menghitung kadar air gabungan, yaitu berat jenis beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air.
  14. Menghitung kadar agregat kasar, agregat gabungan dikurangi kadar agregat kasar.
  15. Melakukan koreksi terhadap sifat agregat.

#### 4.3.3. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 15cm x 15cm x 15cm, berjumlah 27 benda uji terdiri dari 15 benda uji kuat tekan dan 12 benda uji pemulihan retakan. Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji yaitu:

1. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan benda uji sesuai dengan data yang didapat pada tahap perencanaan beton. Alat yang digunakan harus dibasahi terlebih dahulu agar tidak menyerap air yang digunakan pada campuran. Lapiskan bagian dalam cetakan atau *mold*

dengan oli, hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam proses membuka cetakan beton. Timbang cetakan beton yang digunakan.

2. Lakukan pengecoran dengan menggunakan mesin molen. Masukkan agregat kasar terlebih dahulu, kemudian agregat halus, semen, air dan cairan bakteri, serta *admixture* Damdex.



**Gambar 4.27.** Pengecoran (Dokumentasi penelitian, 2021)

3. Lakukan pengadukan sampai tercampur rata, waktu minimal pengadukan adalah 5 menit.
4. Setelah adukan tercampur secara merata, tuang campuran mortar ke talam. Lakukan pengambilan mortar yang mungkin menempel di dinding bagian dalam mesin molen dengan menggunakan sendok semen.



**Gambar 4.28.** Penuangan mortar ke talam (Dokumentasi penelitian, 2021)

5. Lakukan pengadukan ringan pada campuran mortar dengan menggunakan sekop dan seggndok semen.
6. Lakukan pengujian *slump* pada beton segar.
7. Setelah nilai *slump* didapatkan, masukkan beton segar ke dalam cetakan. Masukkan beton segar sebanyak setengah cetakan, kemudian tusuk dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, hal ini dilakukan agar mempermudah dalam proses pemadatan beton segar. Kemudian, masukkan beton segar hingga penuh.



**Gambar 4.29.** Pengisian beton segar ke cetakan (Dokumentasi penelitian, 2021)

8. Lakukan pemadatan pada beton segar dalam cetakan menggunakan mesin penggetar, cetakan ditahan diatas mesin penggetar selama beberapa detik hingga gelembung udara yang mungkin terdapat di dalam beton segar keluar. Hal ini dilakukan agar hasil beton menjadi padat. Penuhi beton hingga permukaan cetakan.



**Gambar 4.30.** Pemadatan beton (Dokumentasi penelitian, 2021)

9. Beton yang telah padat ditimbang, beri tanda dengan kertas untuk membedakan variasi beton yang dibuat.
10. Beton yang telah ditimbang diletakkan di tempat yang tidak terganggu dan terhindar dari pengaruh sinar matahari dan hujan. Diamkan selama satu hari.
11. Buka cetakan beton, dan lakukan perawatan.

#### 4.3.4. Perawatan Benda Uji

Setelah beton dibuat, beton harus diberi perawatan. Beton yang telah keras dipindahkan ke dalam bak perendaman, beton harus terendam sepenuhnya. Lakukan perendaman selama waktu yang direncanakan. Tutup bak perendaman agar air hujan tidak tercampur kedalam air rendaman.

#### 4.3.5. Tahap Pengujian

Penelitian melakukan beberapa jenis pengujian, pengujian yang dilakukan yaitu:

##### 1. Slump Test

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui nilai *slump* dari beton yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan. Langkah dalam pengujian nilai *slump* yaitu:

- a. Basahkan alat yang digunakan untuk pengujian *slump*.

- b. Beton segar yang telah tercampur rata di mesin molen dituang ke talam baja.
- c. Ratakan campuran beton segar dengan sekop dan sendok semen.
- d. Letakkan kerucut *abrams* di atas talam, masukkan beton segar dengan cara mengisi 1/3 bagian kerucut, lalu tusuk dengan batang baja sebanyak 25 kali secara melingkar dengan bagian luar terlebih dahulu, kemudian bagian dalam. Selama proses, kerucut ditahan dan ditekan agar tidak bergeser.
- e. Ulangi langkah di atas hingga kerucut penuh. Ratakan permukaannya menggunakan sendok semen.
- f. Bersihkan beton segar yang tumpah di sekitar kerucut.
- g. Tunggu dan tahan selama 30 detik.
- h. Angkat kerucut *abrams* secara perlahan.
- i. Ukur nilai runtuh dengan cara membalikkan kerucut *abrams*, letakkan batang baja di atas kerucut, lalu ukur jarak beton dan batang baja menggunakan penggaris untuk mendapatkan nilai *slump*.



**Gambar 4.31.** Pengujian *slump* (Dokumentasi penelitian, 2021)

## 2. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui mutu dari benda uji yang dibuat pada waktu yang telah direncanakan. Pada pengujian kuat tekan benda uji berbentuk kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm dengan umur perawatan selama 28 hari. Langkah-langkah untuk melakukan pengujian kuat tekan yaitu:

- a. Sehari sebelum pengujian dilakukan, benda uji harus dikeluarkan dari bak perendaman dan dibiarkan selama 24 jam.
- b. Setelah 24 jam, timbang benda uji dan catat berat benda uji, setelah itu letakan benda uji di alat tekan.
- c. Jalankan mesin kuat tekan hingga perlahan membuat benda uji rusak atau hancur, perhatikan dan catat angka di manometer ketika jarum menunjukkan angka maksimum, catat beban tekan maksimum yang ditunjukkan oleh jarum, Nilai menunjukan kuat tekan maksimum yang dicapai.
- d. Ulangi langkah-langkah diatas untuk benda uji selanjutnya.

Hasil pengujian kuat tekan, daya dukung dari benda uji diperoleh dari manometer, yang mana ditunjukkan ketika jarum di manometer mencapai angka paling besar sebelum perlahan turun. Disarankan ketika melakukan uji kuat tekan, lakukan pengambilan video di manometer agar tidak ada kekeliruan.



**Gambar 4.32.** Uji kuat tekan (Dokumentasi penelitian, 2021)

### 3. Uji Pemulihan Retakan

Uji pemulihan dari retakan akan menunjukkan secara visual hasil pemulihan beton dengan metode *self healing concrete*. Langkah-langkah pengujian pemulihan retakan yaitu:

- a. Keluarkan benda uji dari bak perendaman dan biarkan selama satu hari.
- b. Setelah satu hari, retakkan benda uji dengan menggunakan palu.
- c. Lakukan proses keretakan secara perlahan sehingga retak yang terbuat tidak terlalu besar.
- d. Letak benda uji di tempat yang terlindung.
- e. Lakukan penyiraman setiap hari pada benda uji yang telah retak.
- f. Setiap hari, ambil gambar benda uji untuk melihat proses pemulihan retakan tiap harinya.
- g. Setelah benda uji dirawat dengan disiram setiap hari, lakukan pengujian kuat tekan kembali, hal ini dilakukan untuk melihat perbandingan benda uji yang diuji kuat tekannya langsung dan benda uji yang telah diretakkan.



**Gambar 4.33.** Peretakan (Dokumentasi penelitian, 2021)

#### 4.3.6. Analisis Data

Analisis data terdiri dari beberapa bagian yaitu:

##### 1. Pemeriksaan Material

Data yang dianalisis pada pemeriksaan material yaitu:

- a. Pengujian analisa agregat kasar dan agregat halus.
- b. Pengujian berat isi agregat halus dan agregat kasar.
- c. Pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
- d. Pengujian kadar air agregat halus dan agregat kasar.
- e. Pengujian kadar lumpur agregat halus dan agregat kasar.
- f. Pengujian zat organik agregat halus.

##### 2. Perhitungan Rencana Pembuatan Beton

Analisis data pada perhitungan rencana pembuatan beton yaitu:

- a. Menentukan kebutuhan agregat halus.
- b. Menentukan kebutuhan agregat kasar.
- c. Menentukan kebutuhan semen.
- d. Menentukan kebutuhan sayuran.
- e. Menentukan kebutuhan air.

### 3. Analisa Pengujian Beton

Data pengujian beton yang dianalisis yaitu:

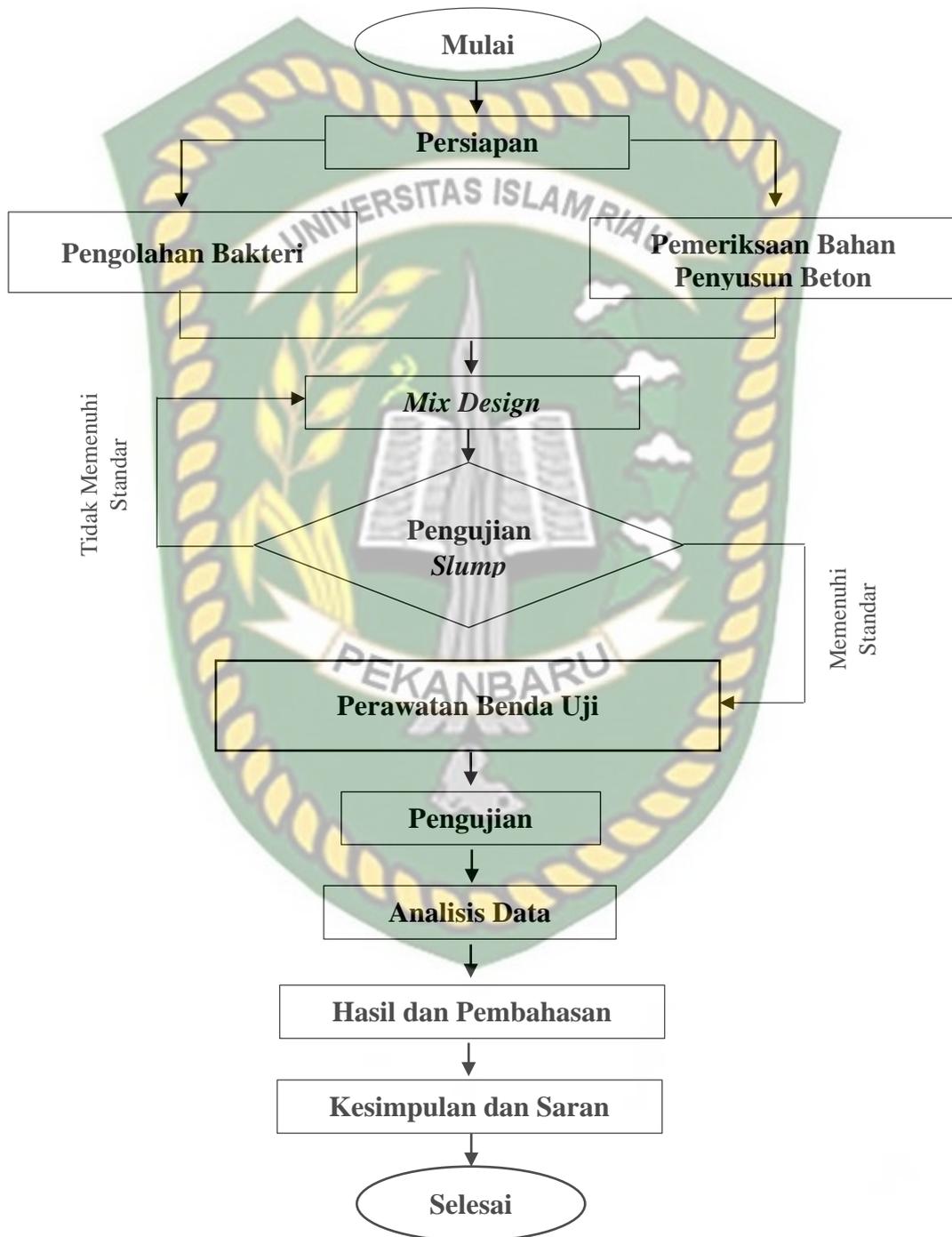
- a. Menentukan rata-rata kuat tekan beton.
- b. Menentukan rata-rata kuat tekan beton retak.
- c. Menentukan proses pemulihan retakan pada beton secara visual.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Secara lebih ringkas, tahapan dalam penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 4.35



Gambar 4.34. Diagram alir penelitian

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Hasil Pemeriksaan Benda Uji

Pemeriksaan benda uji pada penelitian ini yaitu pemeriksaan gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, pemeriksaan berat isi agregat, pemeriksaan kadar lumpur agregat, dan pemeriksaan kadar air agregat.

##### 5.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

Agregat halus dan agregat kasar pada penelitian ini telah diperiksa ukuran butirannya. Hasil pemeriksaan gradasi agregat sebagai berikut.

###### 1. Pemeriksaan gradasi agregat halus

Pemeriksaan gradasi agregat halus dilakukan dua kali dan diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati ke kondisi sebenarnya, hasil dari pemeriksaan gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1. berikut.

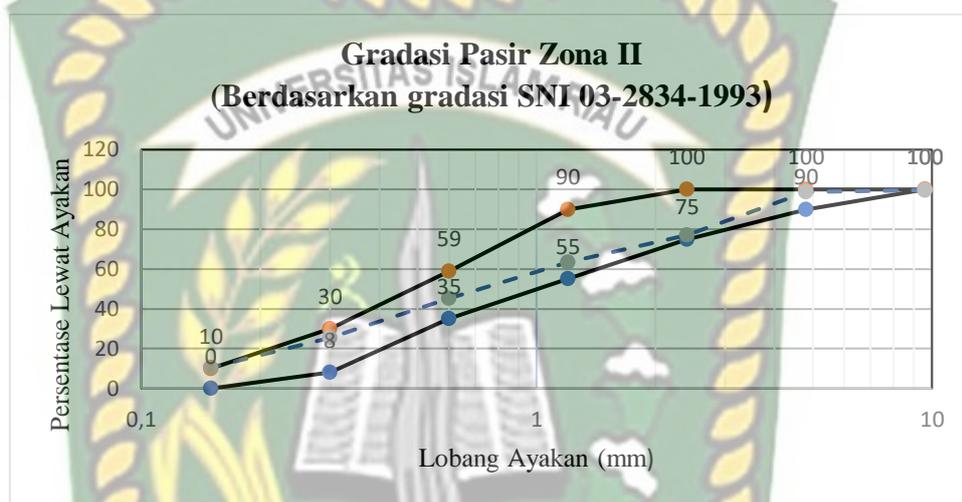
**Tabel 5.1.** Hasil pemeriksaan rata-rata nilai persentase lolos agregat halus

Nomor Saringan	1,5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Ukuran Saringan	38,1	25,4	19	12,7	9,6	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
Persentase Lolos	100	100	100	100	99,65	98,36	77,02	63,29	45,26	25,32	10,53	6,41

Hasil pada Tabel 5.1 digunakan untuk memperoleh jumlah persentasi butiran pada agregat halus dan menentukan batas gradasi. Dapat diketahui bahwa agregat halus memenuhi syarat batas gradasi, yaitu pada daerah zona II. Pada saringan 1.1/2" sampai 1/2" masing masing persentasi lolos sebesar 100%. Saringan ukuran 3/8" persentasi lolos 99,65%, untuk saringan No.4 memiliki nilai persentase lolos 98,36 %, saringan No.8 memiliki nilai persentasi lolos 77,02%, saringan No. 16 memiliki nilai persentasi lolos 63,29%, saringan No.30 memiliki nilai persentasi lolos 45,26%, saringan No. 50 memiliki nilai persentasi lolos 25,32%, saringan

No.100 memiliki nilai persentasi lolos 10,53%, dan saringan No. 200 memiliki nilai persentase lolos 6,41%. Hasil pemeriksaan analisa saringan dapat dilihat pada Lampiran B-3.

Dari Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos saringan agregat halus berada diantara batas maksimum dan minimum pada setiap ukuran saringan, seperti yang terlihat pada Gambar 5.1. berikut.



**Gambar 5.1.** Grafik gradasi agregat halus

Berdasarkan Gambar 5.1. dapat dilihat gradasi agregat halus masuk kedalam zona II. Pemilihan Zona gradasi agregat halus digunakan pada penentuan perbandingan agregat halus dan agregat kasar yang digunakan pada perencanaan beton.

## 2. Pemeriksaan gradasi agregat kasar

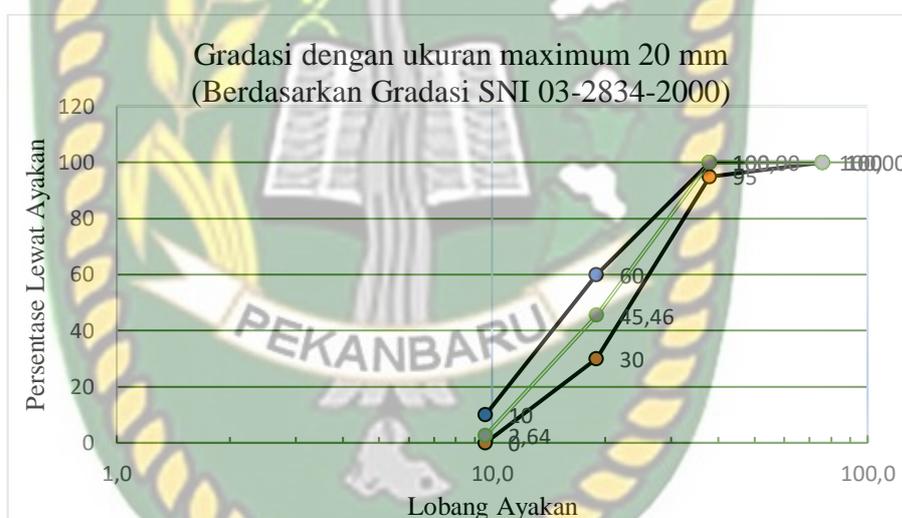
Sama halnya dengan pemeriksaan gradasi agregat halus, pemeriksaan gradasi agregat kasar juga dilakukan sebanyak dua kali dan diambil nilai rata-ratanya. Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2. berikut.

**Tabel 5.2.** Hasil pemeriksaan rata-rata nilai persentase lolos agregat kasar

Nomor Saringan	1,5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Ukuran Saringan	38,1	25,4	19	12,7	9,6	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
Persentase Rata-rata	100	100	49,10	3,52	0,64	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,48

Hasil pada Tabel 5.2 digunakan untuk memperoleh jumlah persentasi butiran pada agregat kasar. Dapat diketahui bahwa besar butir agregat maksimum adalah 20 mm. Pada saringan  $1\frac{1}{2}$ " dan 1 "persentase lolos 100%, saringan ukuran  $\frac{1}{4}$ " persentase lolos 49,10%, saringan ukuran  $\frac{1}{2}$ " persentase lolos 3,52%. Saringan ukuran  $\frac{3}{8}$ " sampai saringan No.100 memiliki persentase lolos 0,60%, dan saringan No. 200 memiliki nilai persentase lolos 0,48%. Hasil pemeriksaan analisa saringan dapat dilihat pada Lampiran B-6.

Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa persentase lolos saringan agregat kasar berada diantara batas maksimum dan minimum batas zona III pada setiap ukuran saringan, seperti yang terlihat pada Gambar 5.2. berikut.



**Gambar 5.2.** Grafik gradasi agregat kasar

Berdasarkan Gambar 5.2. besar ukuran agregat kasar maksimum 20 mm. Data ini digunakan untuk penentuan banyaknya kebutuhan air pada perencanaan beton.

### 5.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Berat isi adalah perbandingan antara berat agregat kering dan volumenya. Analisa dapat dilihat pada Lampiran B-7, dan Lampiran B-8. Hasil dari penelitian berat isi agregat dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.3.** Hasil pemeriksaan berat isi agregat

Material	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )		Nilai Standar	Keterangan
	Kondisi Gembur	Kondisi Padat		
Agregat Halus	1.65	1.74	1.4 – 1.9	Ok Ok
Agregat Kasar	1.34	1.475	1.4 – 1.9	Tidak Ok Ok

Dari Tabel 5.3 diatas menunjukkan bahwa hasil pemeriksaan berat isi pada agregat halus memenuhi standar untuk pembuatan campuran beton. Agregat kasar yang digunakan pada saat kondisi gembur tidak memenuhi standar spesifikasi berat isi, namun hal ini diperbolehkan karena saat kondisi padat memenuhi standar spesifikasi berat isi. Dengan demikian, agregat ini dapat digunakan pada pembuatan beton.

### 5.1.3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Pemeriksaan berat jenis serta penyerapan air material dilakukan untuk mengetahui berat jenis kering permukaan jenuh SSD (*Standard Surface Dry*), berat jenis curah, dan berat jenis semu. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat yaitu sebagai berikut.

#### 1. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Hasil pemeriksaan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4.** Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Agr. Halus	Nilai Standar (%)	Keterangan
BJ Semu	gr	2,638	2,5 – 2,7	Ok
BJ Permukaan Jenuh	gr	2,616	2,5 – 2,7	Ok
BJ Curah	gr	2,602	2,5 – 2,7	Ok
Penyerapan	gr	0,530	2 - 7	Tidak Ok

Dari Tabel 5.4 dapat diketahui hasil pemeriksaan berat jenis untuk agregat halus untuk berat jenis semu, berat jenis permukaan, dan berat jenis curah hasil penelitiannya mencapai standar. Sedangkan untuk penyerapan

yaitu 0,53 % tidak mencapai standar, yang mana standarnya adalah 2% - 7%, berarti agregat halus yang digunakan dalam kondisi basah. Penyerapan agregat mempengaruhi daya lekat antara agregat dan pasta semen, dengan demikian diperlukan koreksi untuk mengurangi jumlah air yang digunakan pada pembuatan beton. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran B-9.

## 2. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Hasil pemeriksaan berat jenis pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5.** Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Agr. Kasar	Nilai Standar (%)	Keterangan
BJ Semu	Gr	2,656	2,5 – 2,7	Ok
BJ Permukaan Jenuh	Gr	2,619	2,5 – 2,7	Ok
BJ Curah	Gr	2,596	2,5 – 2,7	Ok
Penyerapan	Gr	0,875	2 – 7	Tidak Ok

Dari Tabel 5.5 diketahui hasil pemeriksaan berat jenis untuk agregat kasar untuk berat jenis semu, berat jenis permukaan, dan berat jenis curah memenuhi standar, sedangkan penyerapan hasil penelitiannya tidak mencapai standar. Untuk lebih lanjut dapat dilihat pada Lampiran B-10.

### 5.1.4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Kadar air pada agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air pada campuran beton sesuai perbandingan air atau FAS. Hasil pemeriksaan kadar air agregat dapat dilihat pada Tabel 5.6. berikut.

**Tabel 5.6.** Hasil pemeriksaan kadar air

Material	Kadar Air (%)	Nilai Standar (%)	Keterangan
Agregat Halus	2,57	3-5	Tidak Oke
Agregat Kasar 2/3	0,76	3-5	Tidak Oke

Dari Tabel 5.6 dapat diketahui bahwa hasil pengujian agregat halus memiliki kadar air 2,57% yang mana dapat di lihat pada Lampiran B-11. kadar air

pada agregat halus tidak sesuai standar SNI 03-4142-1996 spesifikasi kadar air yaitu 3% sampai 5%.

Hasil pengujian kadar air agregat kasar memiliki kadar air yang rendah yaitu 0,76% , dapat di lihat pada Lampiran B-11. Kadar air pada agregat kasar tidak sesuai standar SNI 03-4142-1996 spesifikasi kadar air yaitu 3% sampai 5%. Untuk agregat kasar nilai kadar air yang terkandung tidak mencapai standar karena agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari pangkalan yang mana air yang terkandung di dalamnya sangatlah kecil. Dengan demikian, diperlukan koreksi pada kebutuhan air agar tidak mempengaruhi faktor air semen pada perencanaan campuran.

#### 5.1.5. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat

Pemeriksaan kadar lumpur pada penelitian ini menggunakan metode penjumlahan bahan agregat yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Analisa perhitungan kadar lumpur dapat dilihat pada Lampiran B-12 dan Lampiran B-13. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7.** Hasil pemeriksaan kadar lumpur

<b>Material</b>	<b>Kadar Lumpur (%)</b>	<b>Nilai Standar (%)</b>	<b>Keterangan</b>
Agregat Halus	3,11	<5	Ok
Agregat Kasar	0,22	<5	Ok

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa semua material memiliki kadar lumpur < 5 maka semua material memenuhi standar untuk digunakan pada campuran beton.

#### 5.2. Hasil Pemeriksaan Beton

Pemeriksaan beton atau benda uji yaitu pemeksaan campuran beton (*mix design*), pengujian *slump*, pengujian kuat tekan, dan pengujian pulih retakan serta pengujian kuat tekan beton pulih retakan.

### 5.2.1. Hasil Pemeriksaan Campuran Beton

Hasil pemeriksaan campuran beton yaitu proporsi campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah serta bakteri yang digunakan. Analisa campuran beton dapat dilihat pada lampiran A, hasil campuran beton dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8.** Hasil proporsi campuran beton untuk tiap 3 benda uji kubus

Persentase Bakteri	Semen (kg)	Air (liter)	Ag. Ha (kg)	Ag.Ka (kg)	2% Damdex (kg)	Bakteri (liter)
0%	4,9815	2,3375	8,66	12,719	0,0996	
2%	4,88	2,2379	8,66	12,719	0,0996	0,0996
4%	4,78	2,1383	8,66	12,719	0,0996	0,1992
6%	4,68	2,0387	8,66	12,719	0,0996	0,2988
8%	4,58	1,9391	8,66	12,719	0,0996	0,3984

Pada Tabel 5.8 diketahui bahwa proporsi campuran beton normal untuk tiap 3 benda uji kubus menggunakan air, agregat halus, agregat kasar, dan 2% Damdex adalah 2,3375 liter; 8,66 kg; 12,719 kg; dan 0,0996 kg. Untuk variasi 0% bakteri semen yang dibutuhkan sebanyak 4,9815 kg. Untuk variasi 2% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,88 kg dan 0,0996 kg. Untuk variasi 4% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,78 kg dan 0,1992 kg. Untuk variasi 6% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,68 kg dan 0,2988 kg. Untuk variasi 8% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,58kg dan 0,3984 kg.

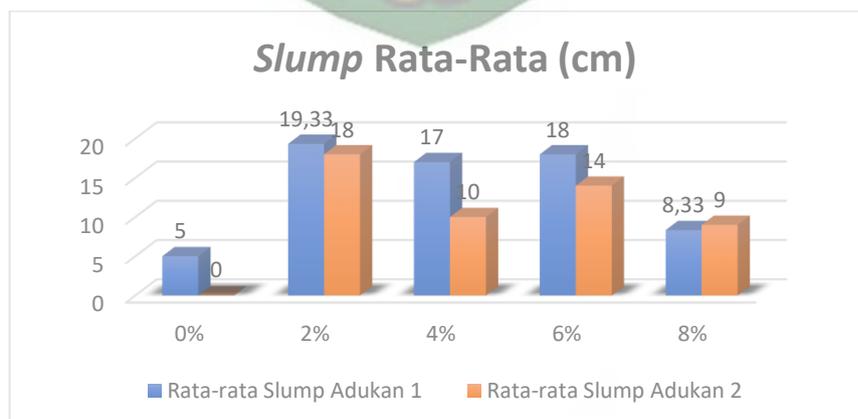
### 5.2.2. Hasil Pengujian Slump

Hasil nilai *slump* digunakan untuk mengetahui konsistensi beton dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) sesuai dengan syarat-syarat yang ditetapkan. Semakin tinggi nilai *slump*, maka beton akan semakin mudah dikerjakan. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.9. berikut.

**Tabel 5.9.** Hasil nilai *slump*

No.	Persentase variasi	Slump Pengadukan 1 (mm)	Rata-rata Slump Adukan 1 (mm)	Slump Adukan 2 (mm)	Rata-rata Slump Adukan 2 (mm)
1	0%	4	5,00	-	-
		5			
		6			
2	2%	18	19,33	16	18,00
		19		18	
		21		20	
3	4%	15	17,00	9	10,00
		17		10	
		19		11	
4	6%	17	18,00	13	14,00
		18		14	
		19		15	
5	8%	6	8,33	8	9,00
		8		9	
		11		10	

Dari Tabel 5.9. diketahui nilai *slump* telah memenuhi standar dengan ketentuan  $\pm 3\text{cm}$  atau 30mm dari *slump* rencana. Adukan pertama untuk beton umur 28 hari, dan adukan kedua untuk beton retakan. Persentase variasi 0% tidak dilakukan adukan ke dua dikarenakan beton tidak dibuat pada adukan kedua. Nilai *slump* dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.3. berikut.

**Gambar 5.3.** Nilai *slump* rata-rata

Dari grafik dapat disimpulkan penggunaan bakteri pada campuran beton akan membuat nilai *slump* naik dibandingkan nilai *slump* beton normal, karena bakteri yang berbentuk cairan akan menyebabkan kelecakan pada saat pengadukan beton.

### 5.2.3. Hasil Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah masa perawatan dan diuji menggunakan mesin kuat tekan. Beton berbentuk kubus dengan sisi 15 cm x 15 cm x 15 cm, dengan tambahan 2% Damdex dari berat semen, dan tambahan bakteri dengan varisasi 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% sebagai pengganti sebagian semen. Uji kuat tekan dilakukan sebanyak 2 kali pada tiap variasi.

#### 1. Hasil kuat tekan beton setelah direndam selama 28 hari

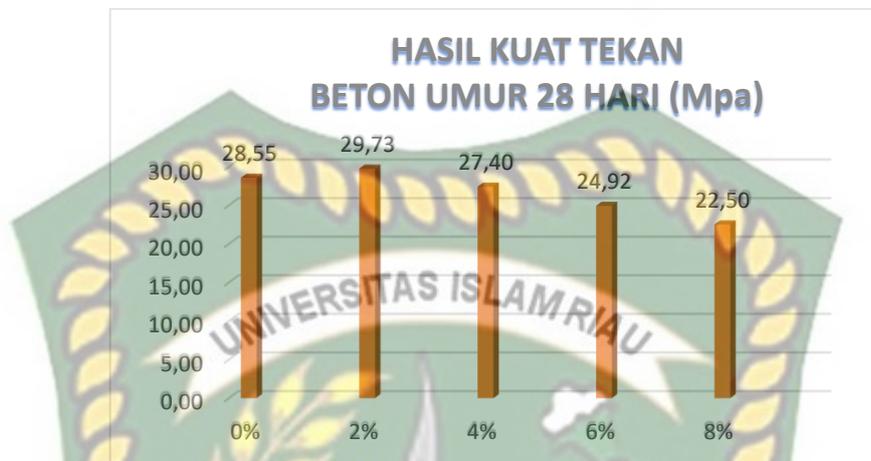
Analisa pengujian kuat tekan beton setelah perendaman 28 hari dapat dilihat pada lampiran A-13. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.10. berikut.

**Tabel 5.10.** Hasil kuat tekan beton umur 28 hari

Varian (%)	Umur (hari)	f'c Rerata (MPa)	Kenaikan (%)
0	28	28,55	0
2	28	29,73	4,142
4	28	27,40	-4,035
6	28	24,92	-12,714
8	28	22,50	-12,178

Dari tabel diketahui hasil kuat tekan beton umur 28 hari tanpa bakteri pengganti sebagian semen adalah 28,55 MPa, variasi 2% bakteri pengganti sebagian semen adalah 29,73 MPa dengan kenaikan sebesar 4,142%, variasi 4% bakteri adalah 27,40 MPa atau mengalami penurunan sebesar 4,035% dibandingkan beton tanpa bakteri, variasi 6% bakteri adalah 24,92 MPa atau mengalami penurunan sebesar 12,714% dibandingkan beton tanpa bakteri, dan variasi 8% adalah 22,50MPa atau mengalami

penurunan sebesar 21,178% dibandingkan beton tanpa bakteri. Dari data pada tabel 5.10 dapat buat dalam bentuk Gambar 5.4. berikut.



**Gambar 5.4.** Hasil kuat tekan beton

Berdasarkan Gambar 5.4. kuat tekan maksimum berada pada variasi 2% bakteri pengganti sebagian semen dengan nilai 29,73 MPa. Nilai kuat tekan minimum berada pada variasi 8% bakteri pengganti sebagian semen dengan nilai 22,50 MPa. Penambahan bakteri dengan komposisi yang tepat dapat meningkatkan kuat tekan pada beton meskipun dengan pengurangan semen yang dibutuhkan, namun jika bakteri yang digunakan dan semen yang dikurangi terlalu banyak dapat mengurangi kuat tekan beton yang dibuat.

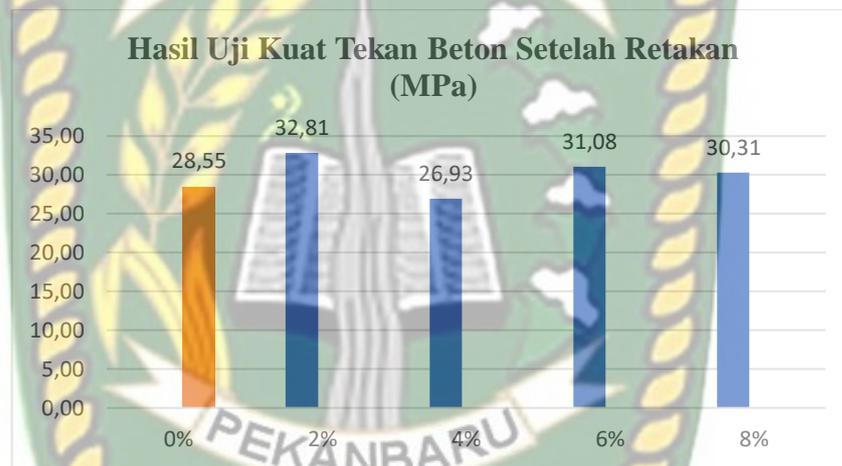
## 2. Hasil kuat tekan beton setelah retakan

Analisa pengujian kuat tekan beton setelah retakan dapat dilihat pada lampiran A-18. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.11. berikut.

**Tabel 5.11.** Hasil kuat tekan beton setelah retakan

Varian (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan (%)
0	28,55	0
2	32,81	14,92
4	26,93	-5,68
6	31,08	8,85
8	30,31	6,14

Dari Tabel 5.11. diketahui hasil kuat tekan beton retakan dengan variasi 2% bakteri pengganti sebagian semen adalah 32,81 MPa mengalami kenaikan sebesar 14,92 % dibandingkan beton tanpa bakteri, variasi 4% bakteri adalah 26,93 MPa atau mengalami penurunan sebesar 5,68% dibandingkan beton tanpa bakteri, variasi 6% bakteri adalah 31,08 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 8,85% dibandingkan beton tanpa bakteri, dan variasi 8% adalah 30,31 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 6,14 % dibandingkan beton tanpa bakteri. Dari data pada tabel 5.11 dapat buat dalam bentuk Gambar 5.5. berikut.



**Gambar 5.5.** Grafik hasil kuat tekan beton setelah retakan

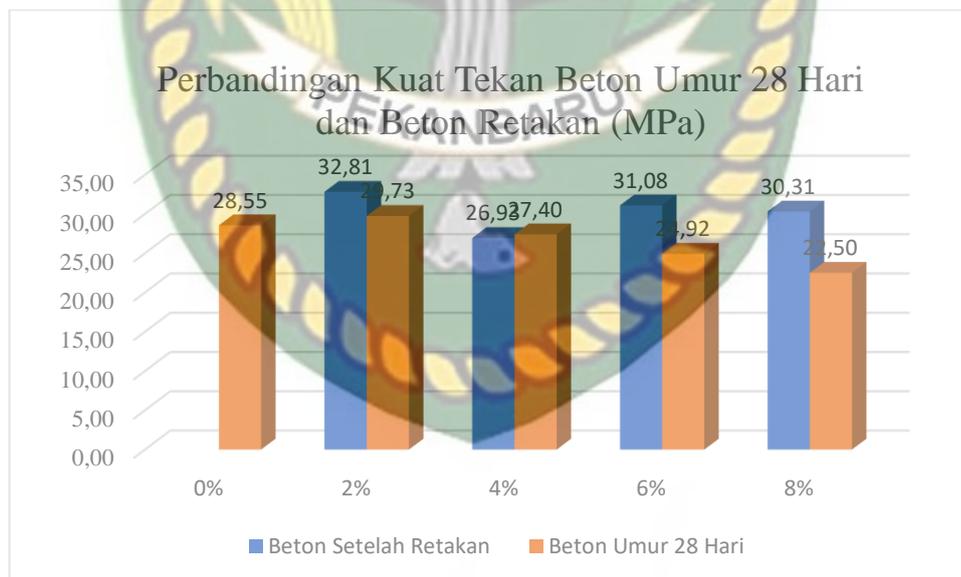
Berdasarkan Gambar 5.5. kuat tekan maksimum berada pada variasi 2% bakteri pengganti sebagian semen dengan nilai 31,81 MPa. Nilai kuat tekan minimum berada pada variasi 4% bakteri pengganti sebagian semen dengan nilai 26,93 MPa.

Terdapat perbedaan pada hasil kuat tekan beton umur 28 hari dan beton setelah retakan, perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12. berikut.

**Tabel 5.12.** Perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan

Varian (%)	Beton 28 hari (Mpa)	Beton Retakan	kenaikan (%)
0	28,55	0	0
2	29,73	32,81	10,36
4	27,40	26,93	-1,71
6	24,92	31,08	24,72
8	22,50	30,31	34,69

Dari Tabel 5.12. diketahui hasil kuat tekan beton retakan dengan variasi 2% bakteri pengganti sebagian semen mengalami kenaikan sebesar 10,36%, variasi 4% bakteri mengalami penurunan sebesar 1,71%, variasi 6% mengalami kenaikan sebesar 24,72%, dan variasi 8% mengalami kenaikan sebesar 34,69%. Data tabel 5.12. Perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan dapat dibuat dalam bentuk grafik, seperti pada Gambar 5.6. berikut.

**Gambar 5.6.** Grafik perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan

Berdasarkan Gambar 5.6. perbandingan kenaikan kuat tekan beton umur 28 hari dan beton retakan maksimum berada pada beton retakan variasi 8% bakteri pengganti sebagian semen dengan kenaikan sebesar 34,69%. Nilai perbandingan

kuat tekan minimum berada pada variasi 4% bakteri pengganti sebagian semen dengan penurunan sebesar 1,71%.

#### 5.2.4. Hasil Pemulihan Retakan

Pemulihan retakan pada beton dilihat secara visual dengan cara pengambilan gambar setiap harinya. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat proses penutupan retakan pada tiap variasi bakteri dalam jangka waktu satu minggu. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran C.

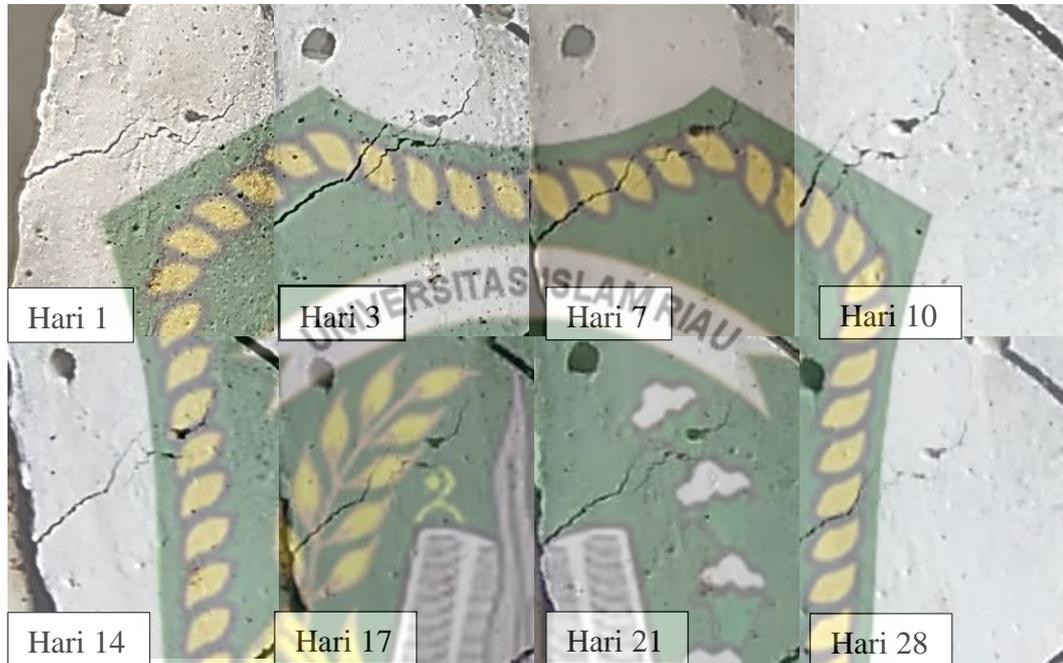
Hasil pengamatan pemulihan retakan beton variasi bakteri 2% dapat dilihat pada Gambar 5.7. dibawah ini.



**Gambar 5.7.** Pemulihan retakan beton variasi bakteri 2% (Dokumentasi penelitian, 2021)

Berdasarkan Gambar 5.7. penutupan retakan beton variasi bakteri 2% pada hari pertama retakan pada beton terlihat sangat jelas, pada hari ke 7 sudah mulai terlihat zat kapur pada permukaan beton yang menutupi celah retakan yang berukuran kecil, pada hari ke 21 dan hari ke 28, terlihat pengaruh metode *self healing concrete* yang digunakan menutup retakan beton yang berukuran kecil.

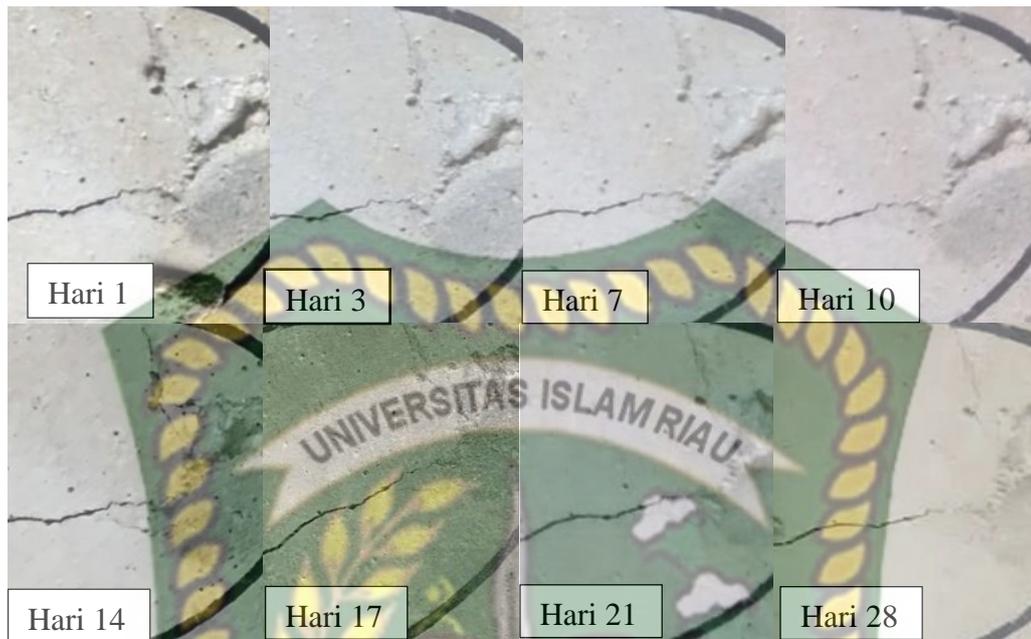
Hasil pengamatan pemulihan retakan beton variasi bakteri 4% dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.8.** Pemulihan retakan beton variasi bakteri 4% (Dokumentasi penelitian, 2021)

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 5.8. retakan berukuran kecil pada beton mulai menghilang pada hari ke 7, menjelang hari ke 28 permukaan beton sudah terlihat datar, dan zat kapur yang dihasilkan bakteri sudah menutupi retakan halus pada beton.

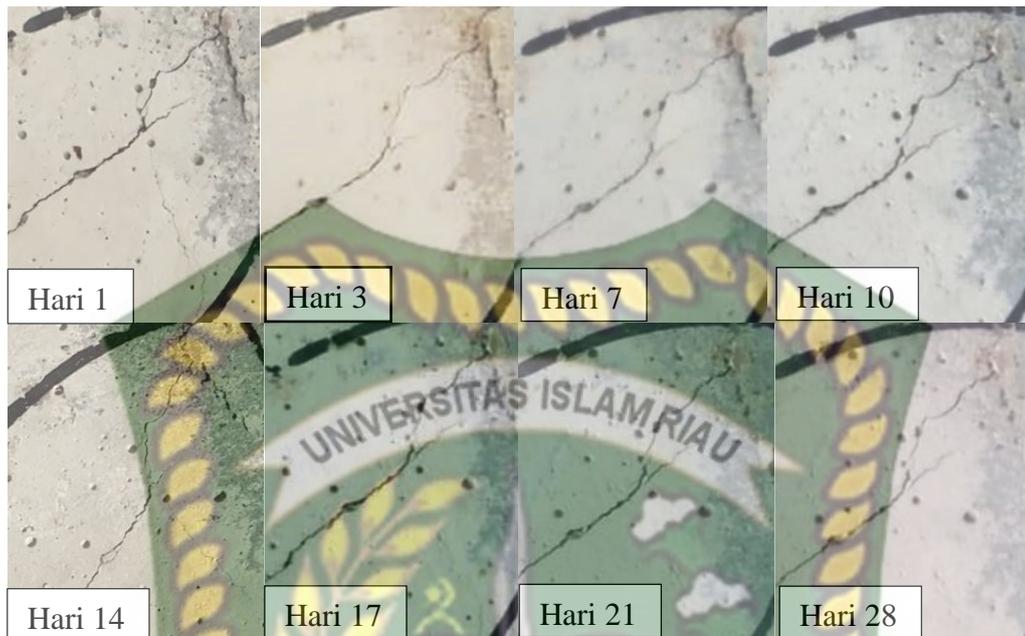
Hasil pengamatan pemulihan retakan beton variasi bakteri 6% dapat dilihat pada Gambar 5.9. dibawah ini.



**Gambar 5.9.** Pemulihan retakan beton variasi bakteri 6% (Dokumentasi penelitian, 2021)

Berdasarkan Gambar 5.9. pada hari pertama retakan beton terlihat dalam dan terdapat lubang pada ujung retakan, namun pada hari ke 3, hari ke 7, dan hari ke 10, retakan perlahan mengecil dan terdapat sebagian kecil retakan yang telah tertutup, pada hari ke 14, permukaan beton sudah mulai datar, dan pada hari ke 17, hari ke 21, dan hari ke 28, permukaan beton tertutup oleh zat kapur yang dihasilkan bakteri sehingga ukuran dan kedalaman retakan pada beton mengecil.

Hasil pengamatan pemulihan retakan beton variasi bakteri 8% dapat dilihat pada Gambar 5.10. dibawah ini.



**Gambar 5.10.** Pemulihan retakan beton variasi bakteri 8% (Dokumentasi penelitian, 2021)

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 5.10. retakan berukuran kecil pada beton mulai menghilang pada hari ke 7, menjelang hari ke 28 permukaan beton sudah terlihat datar, dan zat kapur yang dihasilkan bakteri sudah menutupi retakan halus pada beton.

Hasil pengamatan secara visual pada gambar-gambar diatas terlihat perubahan yang terjadi pada retakan beton. Retakan yang terdapat pada beton perlahan menutup seiring waktu perawatan beton. Air yang masuk pada celah beton memuat bakteri menjadi aktif dan menumbuhkan spora-spora berupa zat kapur yang melapisi permukaan serta menutup retakan. Pada saat menyentuh permukaan beton zat kapur akan meninggalkan bekas pada tangan, ini membuktikan terdapat zat kapur pada beton, hal ini juga dapat dilihat pada dengan seksama pada gambar. Akan tetapi, zat kapur yang dihasilkan hanya dapat menutup retakan-retakan yang berukuran kecil.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan mengenai pengaruh metode *self healing concrete* pada beton dengan *admixture* Damdex terhadap kuat tekan dan pemulihan retakan pada beton, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan maksimum beton umur 28 hari dan setelah retakan terletak pada variasi 2%, yaitu sebesar 29,73 MPa dan 32,81 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 4,142% dan 14,92% dibandingkan beton tanpa bakteri. Perbandingan terbesar kuat tekan beton setelah retakan dengan beton umur 28 hari terletak pada variasi 8% senilai 34,69% sedangkan pada variasi 4% mengalami penurunan sebesar 1,71%.
2. Hasil pengamatan secara visual terlihat perubahan yang terjadi pada retakan beton perlahan menutup seiring waktu perawatan. Akan tetapi, zat kapur yang dihasilkan hanya dapat menutup retakan-retakan yang berukuran kecil.

### 6.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan benda uji menurut SNI yaitu berbentuk silinder.
2. Pengamatan retakan beton yang dilakukan dapat menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk hasil yang lebih akurat.
3. Penelitian selanjutnya menggunakan kadar bakteri yang lebih bervariasi untuk mengetahui *mix design* beton yang lebih tepat
4. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan limbah sayuran jenis lain untuk menemukan bakteri lain yang dapat dimanfaatkan dalam metode *self healing concrete*.
5. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan alat bantu untuk menghasilkan retakan beton yang lebih seragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, S., Soebandono, B., & Cahyati, M. D. (2013). *Pengaruh Kuat Lentur Balok Self Healing Concrete dengan Bacillus Subtilis Terhadap Umur Perawatan*. 1–8.
- Ansari, N., & Joshi, R. (2020). *a Study on Self-Healing Property of Concrete Using E-Coli As a Study on Self-Healing Property of Concrete Using E-Coli As Bacteria*. June 2019.
- Arfa, W. A., Djauhari, Z., & Yuniarto, E. (2018). Sifat Fisik Beton Pulih Mandiri Dengan Memanfaatkan Bakteri Bacillus Subtilis. *Jom FTEKNIK*, 5(510), 51–57.
- ASTM C.150. 1950, *Standart Spesification For Portland Cement*. Annual Books Of ASTM Standard. Philadelphia, USA.
- Ghodke, P., & Swarda, M. (2018). T He S Piritual S Elf : *The Self-Healing Concrete - A Review*, 31(2), 129–142.
- Harianja, J. A., & Barus, E. (2008). Penggunaan Damdex sebagai Bahan Tambah pada Campuran Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM*, 1–15.
- Jonkers, H. . (2017). Bacteria based self healing concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 152(1), 1008–1014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.040>
- Kusuma K, Rai, A. K., Kumar, P., Harini K, & M.N, H. (2018). Self-Healing Cocrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 9001, 3817–3822. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Lucas, S. S., Moxham, C., Tziviloglou, E., & Jonkers, H. (2018). Study of self-healing properties in concrete with bacteria encapsulated in expanded clay. *Science and Technology of Materials*, 30(January), 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.11.006>
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton, Edisi Kedua*, Penerbit: Andi, Yogyakarta.
- Nurmaidah. (2016). *Penggunaan Bahan Tambah Damdex (Waterproofing) Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. 1.
- Pandit, A., Shaikh, S., Mangalwedhekar, P., Jagtap, S., & Gorade, S. (2018). A Review Paper on Bacterial Concrete. *Science*, 5(5). <https://doi.org/10.1126/science.86.2228.231>
- PBI-1971 *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*
- Prasad, D. H. K., & Prasad, C. V. S. R. (2017). *Review Paper on the Effect of Microbiologically induced CaCO 3 Precipitation on Self healing Method of Concrete : Bacterial concrete*. 5(Xii), 1045–1049.

- Rahmat, Hendriyani, I., & Anwar, M. S. (2016). Analisis Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Reduced Water dan Accelerated Admixture. *Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai*, 17(2), 205–218.
- Ramadhan, M. R., & Putra, H. (2021). Evaluation of carbonate precipitation methods for improving the strength of peat soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012032>
- Setiawan, Agus., 2018. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847: 2013 : Penerbit ERLANGGA
- Soda, P. R. K., Poornima, V., Rameshkumar, V., & Venkatasubramani, R. (2017). Influence of ureolytic bacteria in improving performance characteristics of concrete. *Ecology, Environment and Conservation*, 23 (September), S57–S63.
- SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Rencana Campuran Beton Normal*.  
Bandung: Badan Standar Nasional
- Tjokrodimulyo, K., 2007, *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.