

**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN
PENGANTI SEBAGIAN DARI BERAT SEMEN TERHADAP
NILAI *SLUMP* 60-180 DAN NILAI KUAT TEKAN BETON
DALAM PROSES *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 :

FAUZAAN

163110469

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2022

**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN
PENGANTI SEBAGIAN DARI BERAT SEMEN TERHADAP
NILAI *SLUMP* 60-180 DAN NILAI KUAT TEKAN BETON
DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE***

TUGAS AKHIR

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

Universitas Islam Riau

Pekanbaru

DISUSUN OLEH :

FAUZAAN

NPM : 163110469

Diperiksa dan Disetujui oleh :

Firman Syarif, S.T., M.Eng

Pembimbing

.....
Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN PENGANTI SEBAGIAN DARI BERAT SEMEN TERHADAP NILAI *SLUMP* 60-180 DAN NILAI KUAT TEKAN BETON DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE*

DISUSUN OLEH :

**FAUZAAN
163110469**

Telah Disetujui di Depan Dewan Penguji Tanggal 14 Maret 2022 Dan Dinyatakan
Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

**Firman Syarif, S.T., M.Eng
Dosen Pembimbing**

**Harmiyati, S.T., M.Si
Penguji I**

**Dr. Elizar, S.T., M.T
Penguji II**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah di ajukan untuk mendapatkan gelar akademik (strata satu) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 14 Maret 2022

Fauzaan
163110469

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirobbal'alamin segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul **“PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN PENGGANTI SEBAGIAN DARI BERAT SEMEN TERHADAP NILAI *SLUMP* 60-180 DAN NILAI KUAT TEKAN BETON DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE*”**. Adapun penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan meraih gelar sarjana pada program studi teknik sipil (Strata 1) Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dalam penelitian ini penulis memanfaatkan ekstrak limbah sayur yang di kumpulkan dari pasar-pasar yang berada di sekitar Pekanbaru yang tidak habis di jual oleh pedagang atau busuk. Dalam penelitian ini penulis mencoba menganalisa perubahan nilai *slump* rendah terhadap beton yang di tambahkan ekstrak limbah sayur dalam proses *self healing concrete*.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menyadari masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis berharap agar Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua terutama bagi penulis sendiri.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Pekanbaru, 14 Maret 2022

Penulis

FAUZAAN

NPM.163110469

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dengan judul **“Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran Pengganti Sebagian Dari Berat Semen Terhadap Nilai *Slump* 60-180 Dan Nilai Kuat Tekan Beton Dalam Proses *Self Healing Concrete*”** dapat diselesaikan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

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

10. Ibu Dr. Elizar, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II dalam Tugas Akhir ini.
11. Bapak Mahadi Kurniawan, ST, MT sebagai kepala Laboratorium Teknologi Beton dan semua karyawan/i Laboratorium Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
12. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
13. Seluruh karyawan dan karyawan/i fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
14. Ayahanda Yulhendri dan ibunda Yusrita, sebagai Orang Tua yang selalu memberikan seluruh kasih sayang, membimbing, selalu mendukung dan mendo'akan yang terbaik serta sangat berperan dalam proses pendewasaan penulis.
15. Kakak Elsa Junita S.Ds., dan abang Irwansyah Subandi, adik Mia Tri Wahyuni dan Azka Novebrian, serta keponakan tersayang Annasya Zahra Irsya yang selalu memberikan segala kasih sayang, motivasi dan selalu memberikan semangat kepada penulis,
16. My best partner yang setia Sabarianin, S.E.,
17. Seluruh teman-teman teknik sipil UIR seperjuangan yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

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

Fauzaan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum.....	4
2.2. Penelitian Terdahulu.....	4
2.3. Keaslian Penelitian	6
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1. Beton	8
3.2. Material Pembentuk Beton.....	9
3.2.1. Agregat.....	9
3.2.2. Semen Portland	14
3.2.3. Air	18
3.2.3. Bahan Tambah	19
3.3. <i>Self Healing Concrete</i>	20

3.4.	Pengujian Material	22
3.4.1.	Gradasi Agregat	23
3.4.2.	Berat Isi Agregat	23
3.4.3.	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	24
3.4.4.	Pemeriksaan Kadar Lumpur	25
3.4.5.	Pemeriksaan Kadar Air	25
3.5.	Perencanaan Beton	25
3.6.	<i>Slump Test</i>	30
3.7.	Pemadatan Beton.....	31
3.8.	Perawatan Beton.....	32
3.9.	Kuat Tekan Beton.....	32
 BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		
4.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	36
4.2.	Jenis Penelitian	36
4.3.	Bahan Penelitian.....	36
4.4.	Peralatan Penelitian	37
4.5.	Teknik Penelitian.....	46
4.6.	Tahapan Penelitian	46
4.6.1.	Persiapan Alat dan Bahan	46
4.6.2.	Pemeriksaan Material.....	46
4.6.3.	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	52
4.6.4.	Pembuatan Benda Uji	52
4.6.5.	Pengujian <i>Slump</i>	53
4.6.6.	Perawatan Benda Uji.....	54
4.6.7.	Pengujian Kuat Tekan.....	54
4.6.8.	Hasil Analisa Data dan Pembahasan.....	55
4.6.9.	.Kesimpulan dan Saran	55
4.9.	Tahapan Analisa Data	57

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1.	Hasil Pemeriksaan Benda Uji.....	58
5.1.1.	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	58
5.1.2.	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	59
5.1.3.	Hasil Pemeriksaan Kadar Air.....	60
5.1.4.	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Material	61
5.1.5.	Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	62
5.1.6.	Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat	63
5.2.	Hasil Pemeriksaan Beton.....	63
5.2.1.	Hasil Pemeriksaan Campuran Beton	63
5.2.2.	Hasil dan Analisa Nilai <i>Slump</i>	64
5.2.3.	Hasil Analisa Kuat Tekan Beton.....	66
5.3.	Hasil Pemeriksaan <i>Self Healing Concrete</i>	69

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1.	Kesimpulan.....	77
6.2.	Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA.....	80
----------------------------	-----------

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

DAFTAR TABEL

Daftar Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Perbedaan Karakteristik Penelitian	7
Tabel 3.1. Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar (03-2834-2000).....	26
Tabel 3.2. Nilai Deviasi Standar Untuk Indikasi Tingkat Pengendalian Mutu Beton (Mulyono, 2004)	27
Tabel 3.3. Penetapan Nilai <i>Slump</i> (SNI 03-2834-2000).....	31
Tabel 3.4. Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekan (Tjokrodimuljo, 1996)...	33
Tabel 4.1. Perawatan Benda Uji.....	54
Tabel 5.1. Hasil Pemeriksaan Rata-rata Nilai Persentase Lolos Agregat Halus ..	58
Tabel 5.2. Hasil Pemeriksaan Rata-rata Nilai Persentase Lolos Agregat Kasar ..	59
Tabel 5.3. Hasil Pemeriksaan Kadar Air	61
Tabel 5.4. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	61
Tabel 5.5. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	62
Tabel 5.6. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	62
Tabel 5.7. Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat.....	63
Tabel 5.8. Hasil Proporsi Campuran Beton.....	64
Tabel 5.9. Hasil Nilai <i>Slump</i> Beton.....	65
Tabel 5.10. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pengadukan Pertama	66
Tabel 5.11. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pengadukan Kedua	67

DAFTAR GAMBAR

Daftar Gambar	Halaman
Gambar 4.1. Cawan (Dokumentasi Penelitian, 2021)	37
Gambar 4.2. Timbangan Manual (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	38
Gambar 4.3. Timbangan Digital (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	38
Gambar 4.4. Timbangan Duduk (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	39
Gambar 4.5. Saringan (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	39
Gambar 4.6. Oven (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	40
Gambar 4.7. Batang Penusuk (Dokumentasi Penelitian, 2021)	40
Gambar 4.8. Alat Uji <i>Slump</i> (Dokumentasi Penelitian, 2021)	40
Gambar 4.9. Mistar (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	41
Gambar 4.10. Wadah (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	41
Gambar 4.11. Koran (Dokumentasi Penelitian, 2021)	41
Gambar 4.12. Mesin Pengaduk (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	42
Gambar 4.13. Kerucut Terpancung (Dokumentasi Penelitian, 2021)	42
Gambar 4.14. Cetakan Beton (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	42
Gambar 4.15. <i>Picnometer</i> (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	43
Gambar 4.16. Botol <i>Vacum</i> Air (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	43
Gambar 4.17. Mesin Penggetar (Dokumentasi Penelitian, 2021)	43
Gambar 4.18. Mesin Kuat Tekan (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	44
Gambar 4.19. Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	50
Gambar 4.20. Pencucian Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)	50
Gambar 4.21. Pembusukan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021) ...	51
Gambar 4.22. Penghalusan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)....	51
Gambar 4.23. Penyaringan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)....	51
Gambar 4.24. Pencampuran Kalsium Klorida dan Urea (Dokumentasi penelitian, 2021).	52
Gambar 4.25. Bagan Alir Tahap Penelitian.....	56

Gambar 5.1.	Grafik Batas gradasi agregat halus dengan batas gradasi.....	59
Gambar 5.2.	Grafik persentase lolos agregat kasar	60
Gambar 5.3.	Grafik Hasil Nilai <i>Slump</i> rata-rata setiap varian ekstrak limbah sayur	65
Gambar 5.4.	Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Pengadukan Pertama	67
Gambar 5.5.	Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Pengadukan Kedua	68
Gambar 5.6.	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari, Beton Setelah Retakan, dan Nilai <i>Slump</i>	69
Gambar 5.7.	Pemulihan Retakan Varian 3%.....	70
Gambar 5.8.	Pemulihan Retakan Varian 5%.....	71
Gambar 5.9.	Pemulihan Retakan Varian 7%.....	72
Gambar 5.10.	Pemulihan Retakan Varian 9%.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

- A-2 Rancangan Campuran Beton Dengan Metode SK.SNI 03-2834-2000
- A-12 Proporsi Campuran Beton
- A-15 *Slump Test* Beton
- A-16 Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton

LAMPIRAN B

- B-1 Analisa Saringan Agregat
- B-7 Pemeriksaan Berat Isi Agregat
- B-9 Pemeriksaan Berat Jenis
- B-11 Pemeriksaan Kadar Air
- B-12 Pemeriksaan Kadar Lumpur
- B-13 Pengujian Kuat Tekan Beton

LAMPIRAN C

- C-1 Dokumentasi Analisa Saringan
- C-2 Dokumentasi Pemeriksaan Berat Volume/isi Agregat
- C-3 Dokumentasi Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air
- C-4 Dokumentasi Pengujian *Slump*
- C-5 Dokumentasi Kuat Tekan Beton
- C-6 Dokumentasi Hasil Pemulihan Keretakan Beton

DAFTAR NOTASI

A	= Jumlah air yang dibutuhkan (ltr/m^3)
A_h	= Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat alami (liter/m^3)
A_k	= Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat batupecah (liter/m^3)
B	= Jumlah air (Kg/m^3)
BA	= Berat benda uji kering permukaanjenuh (gram)
BK	= Berat benda uji kering oven (gram)
BS	= <i>British Standard</i>
BT	= Berat pikno + benda uji SSD + air (25°c) (gram)
C	= Jumlah agregat halus (Kg/cm^3)
Ca	= Penyerapan air pada agregat halus (%)
CaCO_3	= Kalsium Karbonat
Ck	= Kandungan air dalam agregat halus (%)
D	= Jumlah agregat kasar (Kg/cm^3)
Da	= Penyerapan air pada agregat kasar (%)
Dk	= Kandungan air dalam agregat kasar (%)
$F.A.S$	= Faktor air seman
fc'	= Kuat tekan beton (MPa)
$fc'r$	= Kuat tekan beton rata – rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
$fc'k$	= Kuat tekan beton karakteristik(MPa)
$ft'r$	= Kuat tarik belah beton rata-rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
H_2O	= Air
K	= Ketetapan Konstanta
M	= Nilai tambah margin($1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Mpa}$)
MPa	= Mega Pascal ($1 \text{ Mpa} = 10 \text{ Kg/cm}^3$)
N/mm^2	= Newton/ mm^2 ($1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Mpa}$)
O_2	= Oksigen
P	= Beban aksial yang bekerja (KN)
S	= Standar deviasi (MPa)

SSD = Koreksi kadar air (*Saturated surface dry*)

SNI = Standar Nasional Indonesia



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN
PENGANTI SEBAGIAN DARI BERAT SEMEN TERHADAP NILAI
SLUMP 60-180 DAN NILAI KUAT TEKAN BETON DALAM PROSES
SELF HEALING CONCRETE**

**FAUZAAN
163110469**

ABSTRAK

Beton merupakan material yang umum digunakan pada konstruksi bangunan, karena kekuatan dan ketahanannya, serta rendah biaya. Namun beton dapat mengalami retak halus akibat susut beton dan beban hidup yang bekerja sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktur beton. Salah satu inovasi agar beton memiliki kemampuan untuk memperbaiki kerusakan secara mandiri disebut *self healing concrete*. Pada penelitian ini beton dicampur dengan ekstrak limbah sayur yang didapat dari Pasar di Pekanbaru. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai *slump* beton dengan campuran ekstrak limbah sayuran variasi 3%, 5%, 7%, 9% apakah dapat memenuhi standar nilai *slump* 60-180 dan mengetahui perubahan keretakan pada beton yang menggunakan campuran ekstrak limbah sayuran dalam proses *self healing concrete*.

Penelitian dilakukan di laboratorium mengacu pada SNI 03-03-2834-2000 dengan benda uji beton berbentuk kubus sebanyak 27 sampel, dengan jumlah 3 benda uji setiap variasi. Umur perawatan 28 hari setelah itu sampel yang ditetaskan dilakukan pemulihan selama 28 hari, kemudian sampel di uji tekan.

Hasil dari penelitian ini nilai *slump* beton normal memiliki nilai *slump* 146,667 mm, Sedangkan beton dengan campuran ekstrak limbah sayuran, nilai *slump* varian 3% dan 5% mengalami penurunan dengan nilai *slump* 70 mm dan 90 mm, hal ini menunjukkan bahwa beton menyerap air lebih besar. Untuk nilai *slump* varian 7%, dan 9% mengalami kenaikan dengan nilai *slump* 166,667 mm dan 180 mm, dan nilai *slump* masih memenuhi standar yang direncanakan yaitu 60 mm sampai 180 mm. Setelah melihat penyembuhan retakan secara visual pada beton selama 28 hari, hasil dari proses *self healing concrete* tiap variasi 3%, 5%, 7%, 9% mengalami penutupan pada retakannya secara mandiri. Penutupan retakan terlihat pada varian 5% dan 7% yang mengandung kadar CaCO_3 berjumlah 11,5% dan 10,5%.

Kata Kunci : Ekstrak Limbah Sayur, *Slump*, Kuat Tekan, *Self healing concrete*.

THE EFFECT OF ADDING VEGETABLE EXTRACT BY SUBSTITUTE PARTS OF CEMENT WEIGHT ON SLUMP VALUE OF 60-180 AND VALUE OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH IN SELF HEALING CONCRETE PROCESS

FAUZAAN
163110469

ABSTRACT

Concrete is a common material used in building construction, due to its strength and durability, as well as low cost. However, concrete can experience fine cracks due to concrete shrinking and working living loads that can cause damage to concrete structures. One of the innovations so that concrete has the ability to repair damage independently is called self healing concrete. In this study concrete was mixed with vegetable waste extracts that were extracted from the Market in Pekanbaru. The purpose of this study was to find out the value of concrete slump with vegetable waste extract mixture variations of 3%, 5%, 7%, 9% whether it can meet the standard slump value of 60-180 and know the changes in cracks in concrete that use vegetable waste extract mixture in the process of self healing concrete.

The study was conducted in the laboratory referring to SNI 03-03-2834-2000 with cube-shaped concrete test objects as many as 27 samples, with the number of 3 test objects per variation. Treatment age 28 days after that the sample that was selected was restored for 28 days, then the sample was pressed.

The results of this study the normal concrete slump value has a slump value of 146,667 mm, while concrete with a mixture of vegetable waste extract, the slump value of the 3% and 5% variants decreased with a slump value of 70 mm and 90 mm, this indicates that concrete absorbs water more. For the slump value of the 7% variant, and 9% experienced an increase with a slump value of 166,667 mm and 180 mm, and the slump value still meets the planned standard of 60 mm to 180 mm. After seeing visual changes in concrete for 28 days, the results of the self healing concrete process each variation of 3%, 5%, 7%, 9% experienced changes in the crack. The changes look perfect in the 5% and 7% variants containing CaCO₃ levels of 11.5% and 10.5%.

Keywords: Vegetable Waste Extract, Slump, Compressive Strength, Self healing concrete.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material yang umum digunakan pada konstruksi bangunan, di karenakan kekuatan dan ketahanannya, serta rendah pembiayaan jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya (Khaliq dan Ehsan, 2016). Pesatnya perkembangan beton dewasa ini telah menciptakan kebutuhan akan penelitian yang dapat melahirkan penemuan-penemuan baru, atau dapat melanjutkan dan mengembangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diharapkan akan menghasilkan produk beton yang murah dan berkualitas.

Bahan konstruksi beton merupakan bahan yang nyaris sempurna, namun beton dapat mengalami retak halus akibat susut beton dan beban hidup yang bekerja sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktur. Oleh sebab itu, untuk mengatasi kerusakan yang bisa diderita beton, terdapat inovasi beton *self-healing concrete*, yaitu suatu inovasi yang memberikan kemampuan beton untuk memperbaiki kerusakan retak secara mandiri. Inovasi ini bertujuan agar beton dapat memperbaiki atau menutup retakan secara mandiri. Sampai saat ini, teknologi inovatif untuk beton dengan berbagai aplikasi telah dikembangkan menggunakan berbagai aditif, salah satunya bakteri dari ekstrak limbah sayuran.

Penggunaan bakteri pada beton merupakan teknik inovasi baru dalam teknologi beton, bakteri yang ditambahkan ke dalam campuran beton bertujuan untuk meningkatkan kekuatan beton (Amudhavalli et al., 2015). Dalam penelitian ini, alternatif bahan bakteri yang digunakan adalah bakteri dari ekstrak limbah sayur. Menurut (Lala & Akhtar, 2014), bakteri akan memproduksi batu kapur sehingga akan mengisi bagian yang retak pada saat terjadi keretakan pada beton. Proses beton memperbaiki keretakan pada dirinya sendiri dimulai dengan memproduksi asam laktat, dan oksigen. Kemudian pada beton akan menjadi tempat masuknya air dalam beton, sehingga spora bakteri akan memakan asam laktat kemudian menjadi batu kapur. Batu kapur tersebut akan mengeras pada retakan di permukaan beton, sehingga mengakibatkan penyumbatan dan menutupi celah

keretakan pada beton. Jadi, dengan menggunakan bakteri dalam campuran beton, diharapkan beton akan segera memperbaiki retakan yang sudah muncul, tanpa menimbulkan biaya perbaikan dan perawatan beton tambahan.

Namun dalam pelaksanaannya, pengecoran menggunakan beton segar selalu diawasi mulai dari pecampuran hingga dengan penuangan. Buat penuangan beton segar umumnya pengawas melakukan pengujian *slump* menggunakan alat *slump test* terlebih dahulu sebelum penuangan dilakukan. Dengan adanya penambahan ekstrak limbah sayuran yang menggantikan sebagian dari berat semen, diharapkan campuran beton masih masuk dari ketentuan *slump* yang direncanakan, Bila nilai *slump* melebihi dari ketentuan yang sudah ditetapkan maka beton segar tadi tidak bisa dituang untuk pengecoran sebab dikhawatirkan kualitas beton menurun.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis menganggap penting dan melakukan penelitian di laboratorium Universitas Islam Riau dengan *focus* judul “Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran Pengganti Sebagian Dari Berat Semen Terhadap Nilai *Slump* 60-180 Dan Nilai Kuat Tekan Beton Dalam Proses *Self Healing Concrete*”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dari penelitian ini adalah :

1. Apakah pengaruh nilai *slump* beton dengan campuran menggunakan ekstrak limbah sayuran variasi 3%, 5%, 7%, 9% memenuhi standar nilai *slump* 60-180 dalam proses *self healing concrete*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran sebagai pengganti sebagian dari berat semen terhadap kuat tekan beton dengan metode *self healing concrete*?
3. Apakah beton dengan campuran ekstrak limbah sayuran mengalami perubahan keretakan dalam proses *self healing concrete*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian berikut adalah :

1. Untuk mengetahui nilai *slump* beton dengan campuran menggunakan ekstrak limbah sayuran variasi 3%, 5%, 7%, 9% memenuhi standar nilai *slump* 60-180 dalam proses *self healing concrete*.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran sebagai pengganti sebagian dari berat semen terhadap kuat tekan beton dengan metode *self healing concrete*.
3. Untuk mengetahui perubahan keretakan pada beton yang menggunakan campuran ekstrak limbah sayuran dalam proses *self healing concrete*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan bahan referensi untuk penelitian kedepannya.
2. Bagi masyarakat, dapat memanfaatkan ekstrak limbah dari sayuran menjadi pengganti sebagian dari berat semen.
3. Bagi kontraktor, diharapkan dapat menekan biaya operasional untuk perbaikan dan perawatan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk mempersingkat dan memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Mutu Beton $F_c'19$ mpa setara k-225.
2. Bakteri yang digunakan berasal dari ekstrak limbah sayuran sawi.
3. Penelitian hanya menggunakan campuran bakteri dengan varian 0%, 3%, 5%, 7%, 9% sebagai pengganti sebagian dari berat semen.
4. Pengujian dilakukan pada perawatan 28 hari.
5. *self healing concrete* dilakukan pada perawatan 28 hari.
6. Penelitian hanya terbatas terhadap sifat fisik sample.
7. Setiap variasi campuran benda uji sebanyak 3 buah.
8. Benda uji di buat dalam bentuk kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm.
9. Metode yang digunakan adalah SNI-032834-2000.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan pembahasan mengenai hasil penelitian yang terdahulu yang digunakan untuk landasan bagi peneliti untuk melakukan suatu penelitian yang menggunakan teori-teori yang relevan. Penulisan tinjauan pustaka bertujuan untuk menguatkan penelitian yang sedang dilakukan dengan berlandaskan penelitian yang sudah ada. Maka dari itu, dalam bab ini memuat beberapa referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.2 Peneliti Terdahulu

Beberapa penelitian di bawah ini menjadi salah satu acuan peneliti dalam melakukan penelitian sehingga peneliti mendapatkan lebih banyak teori yang membantu dalam penelitian yang dilakukan. Dari penelitian terdahulu peneliti tidak menemukan judul yang sama dengan penelitian yang akan dilakukan. Namun, peneliti mengambil beberapa penelitian sebagai referensi dan bahan tinjauan dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan beberapa skripsi dan jurnal penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam melakukan penelitian.

Iswara (2020), telah melakukan penelitian dengan judul "*Penggunaan Bakteri Untuk Regenerasi Beton Yang Retak Self Healing Concrete Dengan Metode Pengujian Kuat Tekan*". Tujuan penelitian ini buat memperbaiki kelemahan beton berupa retakan menggunakan cara memberikan bakteri pada beton, di pelaksanaan penelitian ini memakai metode penambahan bakteri yang nantinya beton akan menerima kemampuan regenerasi atau pulih kembali dari keretakan yang terjadi. Hasil pengujian ini terdapat ada perbedaan kuat tekan antara beton normal dan beton akibat regenerasi yaitu beton normal 21,602MPa dan beton hasil regenerasi 18,047MPa atau ada perbedaan sebesar 16,456%. Dan dari hasil analisis keretakan bisa disimpulkan retak yang terjadi pada beton ialah retak tekan.

Widika., dkk (2018), telah melakukan penelitian dengan judul "*Sifat Fisik Beton Pulih Mandiri Dengan Memanfaatkan Bakteri Bacillus Subtilis*". Tujuan

penelitian ini untuk melihat sifat fisik beton apakah mengalami perubahan retakan pada beton. Pada pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode penambahan bakteri larutan pada campuran beton dengan benda uji berbentuk silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *slump* pada beton bakterial sebesar 80 mm. Ini menunjukkan beton bakterial memiliki konsistensi yang lebih rendah dari beton normal. Hasil porositas pada beton bakteri lebih baik dengan deviasi 11,241% dibandingkan beton normal pada umur 28 hari dan tingkat susut yang rendah yaitu 61,50 cm. Oleh karena itu, bisa jadi menyimpulkan bahwa sifat fisik beton penyembuhan diri lebih baik dari biasanya konkret.

Gobel (2017), Sudah melakukan penelitian dengan judul “*Nilai Kuat Tekan Beton Pada Slump Beton Tertentu*”. Tujuan penelitian ini buat mengetahui efek nilai kuat tekan pada setiap perubahan *slump*. Pada pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode Mix Design yang digunakan sesuai SNI 03-2834-2000. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan rata-rata buat *slump* 12 sebesar 34,97 Mpa, kuat tekan ini memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 28,498 Mpa, sedangkan kuat tekan rata-rata *slump* 14 sebesar 27,84 Mpa, kuat tekan rata-rata *slump* 16 sebesar 26,40 Mpa, dan kuat tekan rata-rata *slump* 18 sebesar 25,20 Mpa. *Slump* 14, 16 dan 18 tidak memenuhi syarat kuat tekan yang direncanakan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh variasi *slump* menggunakan penambahan jumlah air. Semakin tinggi nilai *slump* maka kuat tekan beton semakin turun demikian juga kebalikannya.

Pangeran (2016), telah melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Mencampurkan Bakteri *Basilus Subtilis* Yang Dikapsulisasi Dengan Kalsium Laktat*”. Tujuan penelitian ini buat mengetahui kekuatan kuat tekan pada beton yang sudah dicampurkan bakteri *Basilus Subtilis* dan reaksi bakteri tersebut terhadap keretakan, serta buat mengetahui takaran komposisi campuran bakteri dan beton yang sinkron untuk bisa mempertahankan mutu dan kualitasnya serta untuk mengetahui perkembangan bakteri terhadap beton bisa dapat menutupi keretakan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope*. Di aplikasi penelitian ini menggunakan metode penanaman bakteri pada media agar, serta dikapsulisasi dengan memakai kalsium laktat, dan di beton itu sendiri

digunakan metode curing yang sangat cocok buat menunda suhu ph yang cocok dengan pencampuran kapsul berisi bakteri terhadap beton. Hasil pada penelitian ini didapat bahwa hasil kuat tekan menunjukkan beton dengan campuran B.Subtilis+Na (10gr) +Ca(40gr) , B.Subtilis+Na (5gr)+Ca(30gr) ,Beton Normal menunjukkan hasil yang signifikan diatas mutu *planning* awal dengan penambahan sebanyak 10,21% ,7,6%, 10%. Dari hasil SEM didapat bahwa perkembangan bakteri selama dilihat selama 2 bulan belum terlalu signifikan dikarenakan banyaknya faktor yang dapat mempengaruhi bakteri didalam beton tadi.

Humaidi & Hafizh (2011), telah melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh Nilai Slump Terhadap Kuat Tekan*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi nilai *slump* terhadap kuat tekan beton. Pada pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode Mix Design yang digunakan berdasarkan spesifikasi SNI 03-2834-1993. Hasil penelitian dapat disimpulkan walaupun terdapat perbedaan hasil uji kuat tekan tetapi variasi nilai *slump* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan beton terutama pada umur beton 28 hari dan kuat tekan rencana juga dapat tercapai.

2.3 Keaslian Penelitian

Keaslian penelitian ini berdasarkan pada penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan penelitian yang peneliti lakukan dalam hal teori, tetapi berbeda dalam jumlah dan variabel penelitian yang di gunakan. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan ekstrak limbah sayuran sebagai pengganti sebagian semen. Limbah sayur yang digunakan berasal dari pasar Pagi Arengka, dan agregat yang digunakan dari PT.RMB Pangkalan. Beberapa perbedaan karakteristik antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan karakteristik penelitian dengan penelitian terdahulu

Nama Peneliti	Keterangan
Iswara (2020)	Menggunakan metode penambahan bakteri yang nantinya beton akan menerima kemampuan regenerasi atau puih kembali berasal keretakan yang terjadi.
Widika., dkk (2018)	Memanfaatkan Bakteri Bacillus Subtilis dengan metode <i>self healing concrte</i>
Gobel (2017)	Nilai Slump yang digunakan 12, 14, 16 dan 18
Pangeran (2016)	Mencampurkan bakteri basilus subtilis yang dikapsulisasi menggunakan kalsium laktat
Humaidi & Hafizh (2011)	Menggunakan metode Mix Design yang dipergunakan berdasarkan spesifikasi SNI 03-2834-1993
Penelitian yang dilakukan	Menggunakan tambahan bakteri yang berasal dari ekstrak limbah sayuran dengan metode Mix Design dipergunakan berdasarkan SNI 03-2834-2000.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton merupakan hasil dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu batu, batu pecah, pasir atau bahan lainnya, dengan menambahkan semen secukupnya yang berfungsi sebagai perekat bahan susunan beton, dan air sebagai bahan pembantu keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Bahkan jika diharapkan, bahan tambah (*admixture*) bisa dibubuhi untuk mengubah sifat tertentu dari beton yang bersangkutan (Pangeran,2016).

Sesuai SNI 2847:2013, beton adalah adonan antara semen *Portland* atau semen *hidraulik* yang lain, agregat halus, agregat kasar serta air, menggunakan atau tanpa bahan adonan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring menggunakan penambahan umur, beton akan semakin mengeras serta akan mencapai kekuatan rencana (f^c) di usia 28 hari.

Secara awam adapun kelebihan serta kelemahan penggunaan beton (Tjokrodimulyo, 2007) merupakan sebagai berikut.

Kelebihan beton adalah sebagai berikut :

1. Beton mampu menunda gaya tekan dengan baik, dan memiliki sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh syarat lingkungan.
2. Beton segar dapat menggunakan praktis dicetak sesuai dengan harapan.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kepada retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar bisa dipompakan sebagai akibatnya memungkinkan untuk dituang di tempat-daerah yang posisinya sulit.
5. Beton tahan aus dan tahan bakar, jadi perawatannya lebih murah.

Kekurangan beton ialah sebagai berikut.

1. Beton dianggap tidak bisa menunda gaya tarik, akibatnya mudah retak, oleh sebab itu perlu diberikan baja tulangan menjadi hambatan gaya tarik.
2. Beton keras menyusut dan membesar jika terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi untuk mengatasi retakan-retakan dampak terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton rapat air secara tepat, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
4. Beton bersifat getas (tidak daktail) jadi wajib dihitung dan diteliti secara akurat supaya selesainya dikompositkan dengan baja tulangan sebagai bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.

3.2. Material Pembentuk Beton

Berikut adalah beberapa bahan yang di gunakan untuk pembuatan beton sebagai berikut.

3.2.1 Agregat

Agregat berdasarkan SNI 03-2847-2002, agregat merupakan material granular contohnya pasir, kerikil, batu pecah sebagai hasil disintegrasi alami yang didapatkan dari industry pemecah batu yang memiliki butir terbesar 0,5 mm untuk agregat halus. Sedangkan agregat kasar mempunyai butir antara 5 mm sampai menggunakan 40 mm.

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat menjadi penting.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, sedangkan porositas dan karakteristik penyerapan air dapat mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan saat musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat yang dipergunakan dalam pembuatan adonan beton bisa berupa agregat alam atau agregat buatan (*Artificial Aggregates*). Secara umum, agregat

dapat dibedakan sesuai ukurannya, mirip agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar ialah batuan yang berukuran butirannya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) serta agregat halus ialah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm(4,75). Sedangkan agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua, yang berdiameter antara 4,80-40 mm disebut kerikil beton serta yang lebih dari 40 mm dianggap kerikil kasar (Pangeran, 2016).

Kekuatan agregat dapat bervariasi pada batas yang besar. Butir-butir agregat bisa bersifat kurang kuat karena 2 hal:

1. Karena terhindar berasal bahan yang lemah atau terdiri dari partikel yang kuat tetapi tidak baik pada hal pengikatan.
2. Porositas yang besar, porositas yang besar mempengaruhi keuletan yang memilih ketahanan terhadap beban kejut. Kekerasan atau kekuatan butir-butir agregat tergantung dari bahannya serta tidak dipengaruhi oleh Ikatan antara butir satu menggunakan lainnya. Agregat yang lebih kuat biasanya mempunyai modulus elastisitas (sifat dalam pengujian beban *uniaxial*) yang lebih tinggi. Butir-butir yang lemah (lebih rendah berasal pasta semen) tidak dapat menghasilkan kekuatan beton yang sanggup diandalkan. Kekerasan sedang mungkin justru lebih menguntungkan, sebab dapat mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi, atau pembasahan dan pengeringan, atau pemanasan dan pendinginan dan dengan demikian membantu mengurangi kemungkinan terjadinya retakan dalam beton. Butiran yang lemah serta lunak perlu dibatasi nilai minimumnya bila ketahan terhadap pengikisan yang kuat diperlukan. Modulus elastisitas agregat juga krusial diketahui sebab memberikan kontribusi dalam modulus elastisitas beton.

Tujuan penggunaan agregat dalam adukan beton yaitu sebagai berikut:

1. Berhemat penggunaan semen *Portland*.
2. Menghasilkan kekuatan besar di beton.
3. Mengurangi susut pengerasan di beton.
4. Mencapai susunan beton yang padat menggunakan gradasi.
5. Sifat dapat dikerjakan (*workability*) dapat diperiksa pada adukan beton menggunakan gradasi yang baik.

Berdasarkan ukurannya agregat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Agregat Halus

Agregat halus (AH) adalah agregat yang ukurannya lebih kecil dari 4,75 mm tetapi lebih besar dari 0,75. Agregat halus menurut (SNI T-15-1991-03) didefinisikan sebagai hasil *desintegrasi* secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang mempunyai ukuran butiran terbesar 5,0 mm. Agregat halus adalah agregat yang lewat ayakan 3/8 inch (9,5 mm) dan hampir seluruhnya lewat saringan 4,75 mm (saringan no. 4) dan tertahan pada saringan 0,075 mm.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar (AK) bila ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm ayakan no. 4. Sifat agregat mempengaruhi kekuatan akhir dari beton keras dan daya tahannya terhadap pengaruh cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar harus bersih dari bahan-bahan organik dan mempunyai ikatan yang baik dengan semen.

Jenis agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecah). Agregat alam dan pecah bisa dibedakan berdasarkan berat, asal, diameter butiran (gradasi), dan tekstur permukaannya, maka dari itu jenis agregat dapat dikategorikan sebagai berikut (Mulyono, 2004):

1. Jenis agregat berdasarkan berat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan sebagai berikut (Mulyono, 2004) :

- a. Agregat normal dihasilkan berasal pemecahan batuan menggunakan *quary* atau langsung berasal dari sumber alam. Agregat ini berasal dari granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Berat jenis rata – ratanya merupakan 2.5 – 2.7 atau tidak kurang berasal 1.2 kg/cm³. Beton yang dibuat dengan agregat normal adalah beton normal merupakan beton yang mempunyai berat isi 2.200 – 2.500 kg/m³. Kekuatan tekannya lebih kurang 15 – 40 Mpa.
- b. Agregat ringan digunakan buat membentuk beton yang ringan dalam sebuah bangunan yang memperhitungkan berat dirinya. Agregat ringan digunakan dalam berbagai beton misalnya bahan–bahan untuk isolasi atau bahan untuk pra tekan. Agregat ini paling banyak digunakan buat beton pra cetak.

c. Agregat berat mempunyai berat jenis lebih besar dari 2.800 kg/m³. Contohnya ialah *magnetic (Fe₃O₄)*, *baeytes (BaSO₄)* serta serbuk besi. Beton yang dibuat dengan agregat ini biasanya digunakan sebagai pelindung dari radiasi sinar-X. Untuk mengetahui apakah suatu agregat termasuk agregat berat, ringan, normal dapat diperiksa berat isinya. Standar yang digunakan adalah C29. Definisi berat isi sendiri adalah berat dalam satuan volume untuk setiap partikel.

2. Jenis agregat berdasarkan bentuk

Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara alamiah bentuk agregat dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Setelah dilakukan penambangan, bentuk agregat dipengaruhi oleh cara peledakan maupun mesin pemecah batu dan teknik yang digunakan. Tes standar yang dapat digunakan dalam menentukan bentuk agregat ini adalah ASTM D-3398. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut (Mulyono, 2004):

a. Agregat bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya abrasi oleh air atau keseluruhannya terbentuk karena pergeseran. Rongga udaranya minimum 33%, sebagai akibatnya rasio luas permukaannya kecil. Beton yang didapatkan berasal agregat ini tidak cocok buat struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, sebab ikatan antar agregat kurang kuat.

b. Agregat Bulat Sebagian atau Tidak beraturan

Agregat ini secara alamiah berbentuk tidak beraturan. Sebagian yang terbentuk sebab pergeseran sebagai akibatnya permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, kisaran 35-38%, sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar mudah dikerjakan. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik buat struktur yang menekankan pada kekuatan atau buat beton mutu tinggi, sebab ikatan antar agregat belum cukup baik (masih belum relatif kuat).

c. Agregat sudut

Agregat ini memiliki sudut-sudut yang terlihat jelas, yang terbentuk ditempat-tempat pada perpotongan bidang-bidang menggunkan bagian atas kasar. Rongga udara di agregat ini berkisar antara 38%-40%, sehingga membutuhkan lebih banyak supaya praktis dalam pengerjaanya. Beton yang didapatkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregatnya baik (kuat). Agregat ini dapat juga bisa digunakan untuk bahan lapis perkerasan (*rigid pavement*).

d. Agregat Panjang

Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $9/5$ dari ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata ialah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat. Agregat ini jauh lebih panjang dari pada lebarnya jauh lebih besar dari ketebalannya. Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm akan lolos ayakan 19 mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($9/5 \times 15\text{mm}$). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Agregat jenis ini cenderung berada di rata-rata air sehingga akan terdapat rongga dibawahnya. Kekuatan tekan dari beton yang menggunakan agregat ini buruk.

e. Agregat datar

Agregat disebut datar jika perbandingan antara tebal agregat terhadap ukuran- ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Agregat datar sama dengan agregat panjang, tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya. Agregat datar mempunyai perbandingan antara panjang dan lebar dengan ketebalan rasio 1:3 yang dapat digambarkan sama dengan uang logam.

f. Agregat Pipih dan Panjang

Agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar dibandingkan lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

3. Jenis agregat berdasarkan tekstur

Umumnya jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut (Mulyono, 2004):

a. Agregat Licin

Agregat licin lebih sedikit membutuhkan air dari agregat kasar. Dari hasil penelitian kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat licin cenderung mutunya lebih rendah.

b. Berbutir

Pecahan agregat berbutir berbentuk bulat dan seragam.

c. Kasar

Pecahan kasar terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan berkrystal.

d. Berbentuk sarang lebah terlihat dengan jelas pori dan rongganya.

3.2.2 Semen Portland

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesive dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup (Pangeran, 2016). Berdasarkan ASTM C-150, 1950, Semen *Portland* adalah semen hidrolik yang menghasilkan dengan cara menggiling klinker yang mana terdiri dari *kalsium silikat hidrolik*, umumnya mengandung satu atau lebih *kalsium sulfat* sebagai bahan tambahan dan digiling dengan menggunakan bahan utamanya.

Semen *Portland* dihasilkan dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi umumnya ialah kalsium dan aluminium silikat. Bahan utama pembuatan semen *Portland* adalah kapur (CaO), silica (SiO_3), alumina (AlO_3), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksidasi besi, sedangkan gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen (Mulyono, 2004).

Semen bila dicampur menggunakan air akan membuat adukan yang dianggap pasta semen, Jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang dianggap mortar, jika ditambah lagi dengan agregat

kasar 11 (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa dianggap beton. Pada campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi. (Tjokrodimulyo, 1995)

Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen *portland* menjadi lima jenis (SNI 03-2834-2000) yaitu :

1. Tipe I, Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi. semen *portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan spesifik seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen *portland* modifikasi yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat serta panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, Kekuatan 28 hari umumnya bisa dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai. semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal tinggi dalam fase permulaan setelah peningkatan terjadi.
4. Tipe IV, semen *portland* penggunaannya yang memerlukan panas hidrasi yang rendah, yang digunakan untuk syarat di mana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar.
5. Tipe V, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Semen *portland* mempunyai beberapa sifat yang penting (Mulyono, 2004) yaitu:

1. Kehalusan butiran

Kehalusan semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi lebih lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air. Semakin halus butiran

semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

2. Waktu ikatan

Waktu ikat ialah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sehingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikatan awal sangat penting pada kontrol pekerjaan beton, untuk kasus-kasus tertentu diperlukan initial setting time lebih dari 2 jam agar waktu terjadinya ikatan lebih panjang.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama pada struktur beton bermutu tinggi, retakan ini tidak diinginkan.

4. Berat jenis

Berat jenis yang dianjurkan ialah $3,15 \text{ Mg/m}^3$. Pada kenyataannya, berat jenis semen memproduksi berkisar diantaranya $3,05 \text{ Mg/m}^3$ sampai $3,25 \text{ Mg/m}^3$.

5. Perubahan volume (kekekalan)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

Secara garis besar, ada empat senyawa kimia yang menyusun semen *portland*, yaitu :

- a. *Trikalsium silika* ($3\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. *Dikalsium silika* ($2\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. *Trikalsium aluminat* ($3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d. *Tetrakalsium aluminoforit* ($4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

Adapun fungsi atau pengaruh dari masing-masing unsur senyawa dalam semen sebagai berikut (Mulyono, 2004).

1. *Trikalsium silika* (C_3S)

Adapun fungsi atau pengaruh *Trikalsium silika* dalam semen adalah:

- a. Senyawa *Trikalsium silika* membuat cepat bereaksi jika terkena air dan menghasilkan panas
- b. Mempengaruhi kekuatan awal beton terutama sebelum umur 14 beton.

2. *Dikalsium silika* (C_2S)

Adapun fungsi atau pengaruh *Dikalsium silika* dalam semen adalah:

- a. *Dikalsium silika* bereaksi akibat air lebih lambat dan panas hidrasi lebih rendah.
- b. Berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih kurang 7 hari dan memberikan kekuatan akhir pada beton dan tahan terhadap serangan kimia yang tinggi.

3. *Trikalsium aluminat* (C_3A)

Adapun pengaruh *Trikalsium aluminat* dalam semen adalah:

- a. Bereaksi secara *exothermic* dan beraksi sangat cepat, memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama.
- b. Berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik di awal maupun pada saat pengerasan berikut yang sangat panjang.
- c. Unsur *Trikalsium aluminat* dalam semen tidak dianjurkan melebihi 10%, dikarenakan akan menghasilkan beton yang kurang baik dan tidak tahan asam sulfat.

4. *Tetrakalsium aluminoforit* (C_4AF)

Adapun pengaruh *Tetrakalsium aluminoforit* dalam semen adalah:

- a. Cepat bereaksi dengan air, dan pasta berbentuk dalam waktu menit.

- b. Berpengaruh kurang besar untuk keras semen sehingga kontribusi dalam peningkatan kekuatan kecil.

3.2.3 Air

Air ialah bahan dasar penghasil beton yang sangat penting. Air dibutuhkan karena bereaksi dengan semen dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar bisa praktis dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen. Namun, pada kenyataannya nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 sulit dilaksanakan. Kelebihan air yang ada dipergunakan sebagai pelumas. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalubanyak karena kekuatan beton akan berkurang. Selain itu, akan menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini berupa lapisan tipis yang mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton.

Air pada dalam campuran beton berfungsi buat menghidrasi semen dan sangat menentukan workability asal pekerjaan semen. Kental atau encernya campuran menentukan oleh banyaknya air yang terdapat dalam beton yang baru diaduk. Kandungan air dalam beton segar harus sesuai dengan yang ditetapkan dalam *mix design* dan kondisi lapangan sewaktu pembuatan beton. Kadar air yang tinggi akan menyebabkan beton menjadi encer sedangkan kadar air yang rendah akan menyebabkan daya rekat campuran beton berkurang. Air sangat diperlukan dalam pembuatan beton, beton tidak akan terbentuk tanpa adanya air sebagai campurannya. karena semen tidak akan bereaksi dan menjadipasta apabila tidak terdapat air. Air selalu diperlukan dalam campuran beton, tidak saja untuk proses hidrasi semen, tapi juga mengubah semen menjadi pasta sehingga beton menjadi lecah serta mudah dikerjakan terutama pada saat penuangan beton dalam cetakan.

Fungsi air di dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan / material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.

5. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Asal air dapat digunakan pada campuran beton akandi jelaskan.

1. Air yang menyerap dalam agregat, akan membuat agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry = SSD*).
2. Air yang ditambahkan dalam proses pencampuran (*mixing*). Jumlahnya dikoreksi dengan air permukaan pada agregat dan atau tanpa air yang diserap dalam agregat, tergantung pada pengambilan dasar perhitungan dalam perbandingan air / semen (fas).
3. Air permukaan dalam agregat. Jumlahnya akan bervariasi sehingga mempengaruhi jumlah air total untuk campuran beton.

3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya (SNI-03-2847-2002).

Bahan tambah (*admixture*) merupakan material tambahan yang ditambahkan dalam campuran beton selain semen, agregat, dan air. Bahan tambah di tambahkan sebelum atau pada saat proses pengadukan campuran beton dimulai. Bahan berfungsi untuk menghasilkan beton yang lebih baik dari sisi pengerjaan, mutu maupun nilai ekonomisnya. Jenis bahan tambah yang sering di gunakan adalah (Setiawan, 2018) :

1. Bahan tambah percepatan penumbuhan kuat tekan beton (*accelerating admixtures*) Merupakan bahan tambahan yang dicampurkan dalam adukan beton untuk mereduksi waktu ukat beton serta mempercepat laju pertumbuhan kuat tekan beton.
2. Bahan tambah pembentuk gelembung udara (*air-entraining admixtures*) merupakan bahan tambah yang akan membentuk gelembung udara berdiameter 1mm pada campuran beton atau mortar pada saat proses pengadukan dilakukan. Bahan tambahan akan meningkat dalam kemudahan pengerjaan beton serta pada beton yang telah mengeras akan mampu meningkatkan bertahan terhadap es.

3. Bahan tambahan pengurang air (*water-reducing admixtures*) merupakan bahan tambah yang berfungsi akan mengurangi rasio air semen jadi akan meningkatkan kuat tekan beton.
4. Bahan tambahan untuk memperlambat waktu ikat beton (*set retarding admixtures*). Merupakan bahan tambah yang digunakan untuk memperlambat waktu ikat beton, dan digunakan apabila pengadukan beton dan pempadatan adukan (lokasi proyek) yang cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai dan pencampuran adukan beton hingga pematangan lebih dari 1 jam.
5. Bahan tambahan untuk mengurangi air dalam jumlah banyak (*high range water reducer*). Merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran hingga 12%, dan dapat menghasilkan beton dengan tingkat kelecakan yang bagus.
6. Bahan tambahan pozzolan. Pozzolon sendiri merupakan bahan alami atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika dan alumina. Pozzolan sendiri tidak memiliki sifat semen, namun dalam keadaan halus (lolos ayakan 0,21 mm) bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal (24-27°C) menjadi suatu masa padat yang tidak larut dalam air. Jika dipakai sebagai substitusi parsial semen semen Portland, maka persentase penggunaan pozzolan yang digunakan dapat berkisar 10-35% dari berat semen.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari campuran beton tersebut. Karena memiliki tujuan untuk memperbaiki atau mengubah sifat serta karakteristik dari beton atau mortar yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah (Mulyono,2004).

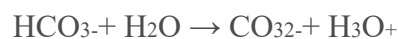
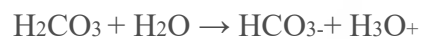
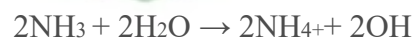
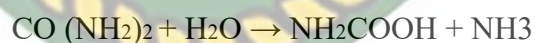
3.3. *Self Healing Concrete*

Self Healing Concrete adalah bakteri yang mampu mengubah nutrisi organik sehingga terjadi pengendapan kalsit saat retak dan rapat menutup celah-

celah retakan pada beton (Lala & Akhtar 2014). Sampai saat ini, banyak inovasi untuk beton telah dikembangkan untuk berbagai keperluan tertentu dan memanfaatkan berbagai aditif. Maka, untuk dapat mengatasi kerusakan yang dapat diderita beton, maka ada inovasi beton self-healing concrete, sebuah inovasi yang memberikan kemampuan beton untuk memperbaiki kerusakan jenis retak secara mandiri.

Inovasi ini bertujuan agar dengan memanfaatkan bakteri yang ditanam pada beton, beton dapat memperbaiki atau menutup retakan secara mandiri. Oleh karena itu, bakteri ini diharapkan mampu menutup retakan pada beton dan mencegah kerusakan lebih lanjut akibat retakan yang terjadi segera tanpa menimbulkan biaya tambahan untuk perbaikan dan pemeliharaan beton.

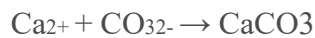
Berdasarkan mekanisme perbaikannya, ada beberapa cara penggunaan bakteri untuk masuk ke dalam beton, salah satunya *self healing concrete* dengan cara perbaikan dan konsolidasi fase mineral bahan bangunan dan penyembuhan diri beton dengan bantuan bakteri yang mengandung kalsium karbonat. Kalsium karbonat terjadi melalui hidrolisis urea dengan reaksi yang ditunjukkan di bawah ini, dinding sel bakteri bermuatan negative menyebabkan kation tertarik dari sekitarnya. Dalam lingkungan yang kaya kalsium, ion kalsium (Ca^{2+}) disimpan di permukaan sel. Hal ini menyebabkan reaksi selanjutnya antara karbonat dan ion kalsium, menghasilkan pengendapan batu kapur di permukaan sel (Jonkers, 2016). Persamaan awal dan akhir untuk jalur pertama adalah sebagai berikut :



Reaksi bersih:



Reaksi akhir:



Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah salah satu pengisi yang paling berguna dan serbaguna untuk menyumbat rongga, porositas, dan retakan pada beton. Pengendapan kalsium karbonat telah diketahui bahwa mikroorganisme, khususnya bakteri mampu menghasilkan berbagai macam mineral seperti karbonat, sulfida, silikat dan fosfat. Kalsium karbonat adalah salah satu bahan pengisi yang paling cocok untuk beton karena kesesuaiannya yang tinggi dengan komposisi yang mengandung semen. Kalsium karbonat dapat diendapkan melalui proses mineralisasi yang diinduksi secara biologis dengan adanya sumber kalsium.

Cara bakteri sebagai agen *self healing concrete* pada beton akan terjadi apabila beton mengalami kerusakan berupa *crack* atau retak, kemudian retak tersebut mencapai atau mengenai enkapsulasi bakteri. Secara perlahan enkapsulasi bakteri tersebut akan mengisi bagian retak dengan cara menumbuhkan endospora yang dirangsang atau dibantu juga pertumbuhannya oleh oksigen O_2 dan air H_2O . Tetapi kemampuan perbaikan mandiri beton dengan memanfaatkan enkapsulasi bakteri ini hanya dapat menutup keretakan yang dialami oleh beton kisaran 3-5 mm saja. *Self healing concrete* menggunakan kemampuan mikroba yang bertujuan untuk pengendapan kalsium karbonat. Presipitasi karbonat yang terjadi akan menutupi keretakan yang terjadi pada beton, sehingga tidak mengurangi kekuatan beton tersebut.

3.4. Pengujian Material

Pengujian material meliputi jumlah serta jenis agregat yang baik dari air, agregat halus, dan kasar. Bentuk dan cara pengujiannya disesuaikan dengan ketentuan yang telah ditentukan dalam Buku Panduan Praktikum Teknologi Bahan Universitas Islam Riau tahun 2017, sehingga hasil pengujian material bisa digunakan untuk kepentingan perencanaan, antara lain:

3.4.1 Gradasi Agregat

Analisis gradasi (pemeriksaan gradasi) untuk agregat hasil dan kasar ini merupakan uraian langkah-langkah untuk melakukan analisa distribusi ukuran butir (gradasi) agregat melalui alat ayakan. Metode yang dimaksud sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan yang ditentukan. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran.

Gradasi agregat dengan rumus yang diperoleh :

$$\text{Persentase (\%)} \text{ tertahan} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\text{Berat Bahan Kering}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Persentase (\%)} \text{ lolos} = 100\% - \text{Persentase \% tertahan} \quad (3.2)$$

3.4.2 Berat Isi Agregat

Perbandingan antara berat dan volume (termasuk rongga-rongga antar butir-butir pasir ataupun krikil) disebut berat satuan atau berat isi . pemeriksaan ini dimaksud untuk mengetahui cara mencari berat satuan (isi) tersebut.

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

berat bersih pada benda uji :

$$W_3 \text{ (gram)} = W_2 - W_1 \quad (3.3)$$

Dimana :

W_1 = Berat tempat (gr)

W_2 = Berat tempat + benda uji (gr)

W_3 = Berat benda uji (gr)

Berat isi tempat (W_4) :

$$W_4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot T \quad (3.4)$$

Dimana :

D = Diameter tempat(gr)

T = Tinggi tempat (gr)

W_4 = Berat isi tempat (gr)

Berat isi lepas (W_5) :

$$W_5 = W_3 + W_4$$

(3.5)

Dimana :

 W_5 = Berat isi lepas (gr)

3.4.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pemeriksaan ini merupakan suatu pegangan utama dalam pengujian agregat pembuat beton untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat halus dan kasar, serta angka penyerapan dari agregat halus dan kasar. Hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan:

1. Penyelidikan Quarry Agregat
2. Perencanaan campuran pengendalian mutu beton.
3. Perencanaan campuran dan pengendalian mutu perkerasan.

Hitungan berat jenis dan penyerapan agregat dengan rumus :

$$\text{Berat jenis (bulk)} : \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.6)$$

$$\text{Berat jenis permukaan jenuh} : \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3.7)$$

$$\text{Berat jenis Semu (apparent)} : \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.8)$$

$$\text{Penyerapan (absorption)} : \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.9)$$

$$\text{Resapan Efektif (Re)} : \frac{Bj - Bk}{Bj} \times 100\% \quad (3.10)$$

$$\text{Berat air yang mampu diserap benda uji (Wa)} : Re \times Bj \quad (3.11)$$

Dimana :

 Bj = Berat benda uji kering oven (gr) Bk = Berat benda uji kering permukaan (gr) Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

3.4.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kandungan lumpur ini merupakan cara untuk menetapkan banyaknya kandungan lumpur (tanah liat dan debu) terutama dalam pasir secara teliti. Dalam pengujian kali ini menggunakan metode penjumlahan bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200 (0,0075 mm) yang dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam melaksanakan pengujian untuk menentukan jumlah setelah dilakukan pencucian benda uji.

Berikut adalah cara menghitung kadar lumpur dengan rumus :

$$\text{Persentase Kadar Lumpur} : \frac{B1-B2}{B1} \times 100\% \quad (3.12)$$

Dimana :

$B1$ = Berat benda uji kering sebelum dicuci (gr)

$B2$ = Berat benda uji kering sesudah dicuci (gr)

3.4.5 Pemeriksaan Kadar Air

Pemeriksaan kadar air merupakan cara untuk mengetahui seberapa besar serapan air yang terjadi didalam agregat. Dalam pembuatan beton, kadar air sangat dibutuhkan guna mengetahui komposisi yang tepat dalam membuat suatu beton yang baik dan pembuatan beton.

Hitungan persentase kadar air agregat dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} : \frac{W1}{W2} \times 100\% \quad (3.13)$$

Dimana :

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

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

3.5. Perencanaan Beton

Perencanaan campuran beton adalah hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Bahan penyusun akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Pada dasarnya perencanaan campuran dimaksudkan untuk menghasilkan suatu campuran bahan yang optimal dengan kekuatan optimum. 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). Adapun syarat-syarat perencanaan dari metode SNI 2834-2000 sebagai berikut:

1. Merencanakan kuat tekan ($f'c$) yang diisyaratkan pada umur 28 hari. Beton yang direncanakan harus memenuhi persyaratan kuat tekan beton rata-rata.
2. Deviasi Standar (S)

Deviasi Standar (S) adalah alat ukur tingkat mutu pelaksanaan pembuatan (produksi) beton. Deviasi Standar adalah indentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data dalam hal ini produksi beton. Nilai S ini digunakan sebagai salah satu data masukan pada perencanaan campuran adukan beton.

Rumus menghitung deviasi standar adalah sebagai berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(f'c'r - f'c)^2}{n-1}} \quad (3.14)$$

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 dikelompokkan berdasarkan jumlah pengujiannya seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Faktor pengali untuk deviasi standar (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

Tabel 3.2 Nilai deviasi standar untuk indikasi tingkat pengendalian mutu beton
(Mulyono, 2004)

Deviasi Standaar (S)	Indeks Tingkat Pengendalian Mutu Beton
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:

- Mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulka.
- Mewakili kuat tekan beton yang diisyaratkan f_c' yang nilainya dalam batas lebih kurang 7 MPa dari nilai yang ditentukan.
- 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.

3. Nilai tambah (Margin)

Nilai tambah dihitung dengan rumus:

$$M = K \times S \quad (3.15)$$

Dimana:

M = Nilai tambah margin (N/mm²)

K = 1,64 adalah ketetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase yang lebih rendah dari f_c' . Dalam hal ini diambil 5%, sehingga nilai k = 1,64

S = Standar deviasi (N/mm²).

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

Kuat tekan rata-rata direncanakan dihitung dengan rumus :

$$f_c'r = f_c' + M \quad (3.16)$$

Dimana:

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

f_c' = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa)

M = Nilai tambah atau Margin (MPa)

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 adalah perbandingan berat air dengan berat semen dalam campuran beton. Faktor air-semen mempunyai pengaruh yang besar terhadap keadaan beton, dan semakin rendah rasio semen terhadap air berarti semakin kental campuran beton dan semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Nilai koefisien air-semen yang lebih rendah tidak berarti bahwa kuat tekan beton semakin tinggi, dan ada keterbatasan dalam hal ini. Nilai koefisien air-semen yang rendah dapat menyebabkan pekerjaan yang sulit, yaitu pemadatan, yang menyebabkan penurunan kualitas beton. Faktor air-semen diperoleh dari grafik kuat tekan versus faktor air-semen, dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder. Lanjutkan sebagai berikut:

Satu. Kuat tekan beton 28 hari yang ditentukan menurut jenis semen dan agregat ditunjukkan pada Tabel 3.6. Subjek uji seperti yang direncanakan pada Gambar 3.1.

- a. Kuat tekan beton 28 hari yang ditentukan menurut jenis semen dan agregat ditunjukkan pada Tabel 3.6. Subjek uji seperti yang direncanakan pada Gambar 3.1 sesuai dengan benda uji yang direncanakan.
 - b. Menarik garis tegak lurus pada FAS 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan beton ditentukan.
 - c. Menarik garis mendatar kuat tekan yang dipakai sampai memotong garis tegak lurus.
8. Penetapan nilai *slump*.
 9. Penetapan ukuran agregat maksimum yang akan digunakan campuran beton.
 10. Kadar air bebas: 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 :

$$\text{Dengan: } \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k - \quad (3.17)$$

W_h : perkiraan air untuk agregat halus

W_k : perkiraan air untuk agregat kasar

11. Menghitung jumlah semen.

12. Jumlah semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan.

13. Hitung berat jenis agregat :

$$B_j \text{ Campuran} = \left(\frac{P}{100} \times B_j \text{ Agregat Halus} \right) + \left(\frac{K}{100} \times B_j \text{ Agregat kasar} \right) \quad (3.18)$$

Dimana :

P = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran (%)

K = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

B_j = Berat jenis

14. Hitung berat jenis campuran beton

Dalam menghitung berat jenis campuran beton dengan melihat grafik perkiraan berat jenis beton berdasarkan kadar air bebas dengan berat jenis campuran beton.

15. Menentukan kadar agregat campuran

Dalam menentukan kadar agregat campuran yaitu berat jenis beton campuran yang dikurangi dengan kadar air dan juga kadar semen. Dapat dihitung menggunakan rumus :

$$W_{agr. \text{ camp}} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (3.19)$$

Dimana :

$W_{agr. \text{ camp}}$ = berat agregat campuran

W_{beton} = berat beton

W_{air} = berat air

W_{semen} = berat semen

16. Hitung kadar agregat kasar

Dalam menentukan berat agregat kasar dapat dihitung dengan rumus:

$$W_{agr. halus} = k \times W_{agr. camp} \quad (3.20)$$

Dimana :

$W_{agr. kasar}$ = Berat agregat kasar

k = Persentase kadar agregat kasar

$W_{agr. camp}$ = Berat agregat campuran

17. Menentukan berat agregat halus

Dalam menentukan berat agregat halus dapat dihitung dengan rumus:

$$W_{agr. halus} = h \times W_{agr. camp} \quad (3.21)$$

Dimana :

$W_{agr. halus}$ = Berat agregat halus

h = Persentase kadar agregat halus

$W_{agr. camp}$ = Berat Agregat campuran

3.6. *Slump Test*

Pengujian *slump* (*slump test*), dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. 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).

Tujuan pengujian *slump* adalah 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. Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin mudah pengerjaan beton. Sebaliknya semakin kecil nilai *slump* maka pengerjaan beton akan semakin sulit. Pengujian *slump* menghasilkan cara praktis dan sederhana untuk mempertahankan informasi yang dapat diterima terhadap konsistensi beton yang dihasilkan di lapangan.

Untuk itu dianjurkan penggunaan nilai *slump* yang terletak dalam batasan yang telah ditentukan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 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 koison, struktur dibawah tanah	9,0	2,5
Plat, Balok, Kolom, dan Dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Berdasarkan Tabel 3.3 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 koison dan struktur dibawah tanah 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 masal dengan nilai maksimum yaitu 7,5 cm dan minimal 2,5 cm.

3.7. Pematatan Beton

Setelah pengujian *slump* selesai dilaksanakan maka dilakukan pematatan setelah beton dituang dari mesin pengaduk (molen) keatas talam baja. Pematatan dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapat di dalam beton segar ketika dituang kedalam cetakan beton (*bekisting*). Semakin banyaknya rongga udara yang terperangkap didalam cetakan beton maka kekuatan beton semakin berkurang.

Alat pematat mesin 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 pemadatan (Mulyono, 2004) adalah :

1. Pada jarak yang berdekatan/pendek, pemadatan dengan alat getar dilaksanakan dalam waktu yang pendek.
2. Pemadatan dilaksanakan secara vertikal dan jatuh dengan beratnya sendiri.
3. Tidak menyebabkan terjadinya *bleeding*.
4. Pemadatan 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

Perawatan beton (*curing*) ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna. Penguapan yang menyebabkan penyusutan kering yang terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang mungkin menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup dengan menahan tegangan ini. Oleh karena itu direncanakan suatu cara perawatan beton supaya terus menerus berada akibat keadaan basah.

Tujuan utama dari perawatan beton adalah untuk mempertahankan beton supaya terus menerus dalam keadaan yang basah selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu sampai beton akan dilakukan pengujian. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya.

3.9. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan ialah kemampuan beton akan menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah bangunan, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Rancangan campuran beton untuk penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan ukuran, diameter 150 mm, panjang 300 mm. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dapat dikelompokkan menjadi dua bagian kategori, yaitu:

1. Faktor berdasarkan metode percobaan
 - a. Ukuran percobaan (benda uji)
 - b. Keadaan tumpuan.
 - c. Ukuran dalam hubungan ukuran agregat.
 - d. Keadaan air.
 - e. Tipe pengangkutan beban.
 - f. Pembebanan rata-rata dari benda uji
 - g. Tipe dari uji mesin.
 - h. Asumsi analisa yang berhubungan dengan ketegangan untuk keruntuhan kegagalan beban.
2. Faktor yang berdasarkan kepada metode percobaan
 - a. Tipe semen, umur perawatan dan jenis agregat.
 - b. Derajat kepadatan.
 - c. Porsi adukan beton, berat isi semen, perbandingan agregat semen, kadar hampa udara dan perbandingan air semen.
 - d. Tipe perawatan dan suhu masa perawatan.
 - e. Jenis pembebanan yang mana sebagai contoh benda uji, statis, pemeliharaan, dinamis dan lain-lain.

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis antara lain :

Tabel 3.4 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekan (Tjokrodinuljo, 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

Berdasarkan Tabel 3.4 bahwa beton dibedakan dalam beberapa jenis yaitu beton sederhana dengan nilai kuat tekan sampai 10 Mpa, beton normal dengan 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 diperoleh dengan melakukan uji kuat tekan menggunakan mesin kuat tekan. Beban tekan diterapkan secara bertahap pada tingkat beban tertentu untuk pengujian beton. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus (Panduan Praktikum Teknologi Material dan Beton, Universitas Islam Riau, 2019):

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

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.22)$$

Dimana:

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

P = Besar beban maksimum, N

A = Luas penampang benda uji, mm²

2. Kuat tekan rata-rata benda uji ($f'c' r$)

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

$$f'c' r = (f'c)/n$$

$f'c$ = kuat tekan benda uji beton (Kg/cm²)

$f'c' r$ = kuat tekan rata-rata jumlah benda uji (Kg/cm²)

n = jumlah subjek tes.

3. Standar deviasi (s)

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

$$s = \frac{\sqrt{\sum(f'c' r - f'c)^2}}{n-1} \quad (3.24)$$

Dimana:

- s = Standar deviasi
 $f'c$ = Kuat tekan beton estimasi 28 hari
 $n - 1$ = Jumlah benda uji
 $f'c'r$ = Kuat tekan beton rata-rata 28 hari

4. Kuat tekan karakteristik

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

$$f'c'k = f'c'r - (1,64 \cdot s) \quad (3.25)$$

Dimana:

- $f'c'k$ = Kuat tekan karakteristik beton
 $f'c'r$ = Kuat tekan beton rata-rata estimasi 28 hari
 s = Standar deviasi

Dari perhitungan diatas, kuat tekan karakteristik yang diperoleh harus lebih atau sama dengan kuat tekan karekteristik yang direncanakan atau ($f'c \geq f'c'r$).

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini mulai dilakukan pada tanggal 1 Juli 2021 di Laboratorium Prodi Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru. Di Laboratorium Prodi Teknik Sipil penulis melakukan pemeriksaan material, pengecoran atau pembuatan benda uji (kubus), *mix desingn*, uji *slump*, perawatan beton, dan pengujian kuat tekan.

4.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan melakukan penelitian dilaboratorium mengacu pada SNI SNI 03-03-2834-2000 dengan benda uji beton berbentuk kubus sebanyak 27 sampel, Dimana ukuran cetakan beton adalah 15cm x 15cm x 15cm berjumlah 3 benda uji setiap variasi. 0% berjumlah 3 sample, Pengadukan pertama dengan variasi 3%, 5%, 7%, 9% berjumlah 12 sampel menggantikan berat semen untuk di uji menggunakan mesin kuat tekan beton pada umur perawatan 28 hari. pengadukan kedua dengan variasi 3%, 5%, 7%, 9% berjumlah 12 *sample* menggantikan berat semen untuk diretakkan menggunakan palu setelah umur perawatan 28 hari, setelah itu sampel yang diretakkan dilakukan pemulihan selama 28 hari, kemudian sample di uji tekan.

4.3 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan oleh peneliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland* (PCC Tipe 1) dari PT. Semen Padang kemasan 50 kg. dalam penelitian ini semen digunakan sebagai campuran utama dalam pembuatan beton.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian adalah batu pecah ukuran $\frac{1}{2}$ yang berasal dari PT. RMB (Riau Mas Bersaudara). Dalam penelitian ini agregat kasar digunakan sebagai campuran utama dalam pembuatan beton.

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir dari PT. RMB (Riau Mas Bersaudara). Dalam penelitian ini agregat halus digunakan sebagai campuran utama beton.

4. Air

Air menggunakan berasal dari sumur Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

5. Bahan Campuran

Bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah mikroorganisme yang didapatkan dari limbah sayuran yang telah diolah melalui proses pembusukan. Limbah sayuran yang digunakan berasal dari pasar di kota Pekanbaru, Riau.

4.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ialah :

1. Cawan

Cawan digunakan sebagai wadah atau tempat benda uji sebelum melakukan pengujian. Dalam penelitian ini cawan digunakan untuk pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur, dan kadar air.



Gambar 4.1 Cawan (Dokumentasi Penelitian, 2021)

2. Timbangan

Timbangan yang digunakan ada beberapa jenis, yaitu :

- a. Timbangan manual adalah timbangan yang digunakan untuk menimbang bahan campuran beton yang akan di cor digunakan juga untuk pemeriksaan berat jenis agregat kasar.



Gambar 4.2 Timbangan manual (Dokumentasi Penelitian, 2021)

- b. Timbangan digital digunakan pada penelitian ini untuk menimbang cawan, pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur air.



Gambar 4.3 Timbangan Digital (Dokumentasi Penelitian, 2021)

- c. Timbangan duduk adalah timbangan dimana benda yang di timbang dalam keadaan duduk. Dalam penelitian ini timbangan duduk digunakan untuk menimbang beton yang akan di uji.



Gambar 4.4 Timbangan duduk (Dokumentasi Penelitian, 2021)

3. Saringan

Saringan yang digunakan untuk pengujian analisa adalah saringan agregat kasar dan halus. Ukuran saringan yang digunakan yaitu no.1 ½” (38,1 mm), no.3/4” (19 mm), no.1/2” (12,7 mm), no.3/8” (9,6 mm), no.4 (4,8 mm), no.8 (2,4 mm), no.16 (1,2 mm), no.30 (0,6 mm), no.50 (0,3 mm), no.100 (0,15 mm), no.200 (0,075 mm).



Gambar 4.5 Saringan (Dokumentasi Penelitian, 2021)

4. Oven

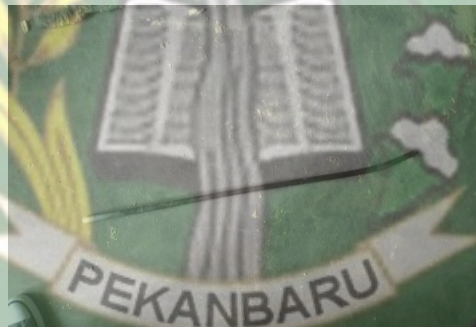
Oven yang berfungsi sebagai pengeringan agregat, yang dilengkapi dengan pengaturan suhu. Dalam penelitian ini cawan digunakan untuk pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur, kadar air.



Gambar 4.6 Oven (Dokumentasi Penelitian, 2021)

5. Batang Penusuk

Batang penusuk terbuat dari baja dengan panjang 60 cm dan berdiameter 16 cm. Dalam penelitian ini digunakan untuk pengujian berat isi, untuk pengujian *slump*, dan untuk memadatkan beton dalam kubus.



Gambar 4.7 Batang penusuk (Dokumentasi Penelitian, 2021)

6. Alat uji *slump*

Alat ini terbuat dari baja yang berbentuk kerucut dengan tebal 2 mm, diameter atas 100mm dan bawah 200 mm. Pada penelitian ini alat uji digunakan untuk pemeriksaan *slump* setelah pengadukan beton.



Gambar 4.8 Alat uji *slump* (Dokumentasi Penelitian, 2021)

7. Mistar

Digunakan untuk mengukur peneurunan pada pengujian *slump*.



Gambar 4.9 Mistar (Dokumentasi Penelitian, 2021)

8. Wadah

Wadah berbentuk silinder yang terbuat dari baja dengan tinggi 155 mm dan berdiameter 158 mm. Dalam penelitian ini wadah digunakan untuk pemeriksaan berat isi agregat.



Gambar 4.10 Wadah bejana (Dokumentasi Penelitian, 2021)

9. Koran

Koran digunakan sebagai tempat media pengeringan pasir yang telah direndam untuk pemeriksaan berat jenis. Pada penelitian koran digunakan pada pemeriksaan berat jenis agregat.



Gambar 4.11 Koran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

10. Mesin pengaduk campuran beton (molen)

Mesin ini berfungsi untuk mengaduk campuran beton agar tercampur merata. Pada penelitian ini mesin molen yang digunakan adalah *tiger* berkapasitas 125 liter.



Gambar 4.12 Mesin molen (Dokumentasi Penelitian, 2021)

11. Kerucut Terpancung

Kerucut terpancung yang terbuat dari kuningan digunakan untuk mengetahui kering permukaan jenuh pada pasir penelitian.



Gambar 4.13 Kerucut Terpancung (Dokumentasi Penelitian, 2021)

12. Cetakan Beton

Cetakan beton yang terbuat dari baja berupa kubus dengan ukuran 15cm x 15cm x 15cm, berfungsi untuk mencetak beton setelah pengecoran.



Gambar 4.14 Cetakan Beton (Dokumentasi Penelitian, 2021)

13. *Picnometer*

Picnometer adalah alat ukur yang digunakan untuk menghilangkan kadar udara pada saat dicampurkan dengan air pada pemeriksaan berat jenis agregat halus.



Gambar 4.15 *Picnometer* (Dokumentasi Penelitian, 2021)

14. Botol *vacuum* air

Botol *vacuum* air digunakan untuk mempermudah saat memasukkan air ke dalam *picnometer*.



Gambar 4.16 Botol *vacuum* air (Dokumentasi Penelitian, 2021)

15. Mesin Penggetar

Berfungsi untuk memadatkan beton pada cetakan benda uji agar tidak ada rongga udara yang terperangkap di dalam cetakan, sehingga beton bersifat padat.



Gambar 4.17 Mesin penggetar (Dokumentasi Penelitian, 2020)

16. Mesin Kuat Tekan

Mesin uji tekan berkapasitas maksimum 2000 KN ini digerakkan oleh tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengujian kuat tekan beton. Seluruh badan mesin yang dibuat dari baja dan mempunyai pengatur serta pengontrol beban.



Gambar 4.18 Mesin Uji (Dokumentasi Penelitian, 2021)

17. Alat Pendukung Lainnya

Alat-alat pendukung antara lain cangkul, skop, grobak, sendok semen dan lain sebagainya. Penggunaan peralatan tersebut dalam penelitian ini dapat dilihat pada bagian berikut ini:

1. Analisa Saringan

Peralatan yang digunakan pada analisa saringan adalah

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

2. Berat Isi Agregat

Alat-alat yang digunakan pada berat isi adalah

- a. Timbangan.
- b. Tongkat Pematik (berbentuk besi penumbuk)
- c. Mistar Perata.
- d. Talam.

3. Berat Jenis dan Analisa Penyerapan Air

Alat alat yang dipergunakan pada analisis penyerapan air adalah

- a. Timbangan.
- b. Piktometer.
- c. Kerucut terpancung (*cone*).
- d. Batang penumbuk.
- e. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- f. Talam.
- g. Bejana tempat air.
- h. Saringan no. 4

4. Pengujian Kadar Lumpur Agregat

Alat alat yang digunakan pada berat isi adalah

- a. Timbangan.
- b. Cawan.
- c. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- d. Saringan no. 200 (0,075 mm)

5. Pengujian *Slump Test* (beton segar)

Alat alat yang digunakan pada *slump test* adalah

- a. Cetakan berupa kerucut
- b. Batang baja (diameter 16 mm)
- c. Mistar
- d. Alat perata (sendok semen)
- e. Skop pengaduk
- f. Pekerjaan Pembuatan Benda Uji
- g. Alat alat yang digunakan adalah
- h. Skop dan sendok semen
- i. Cetakan kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm
- j. Molen
- k. Batang penusuk baja
- l. Alat penggetar
- m. Bak Perendam

- n. Digunakan untuk merendam beton yang telah dibua dari cetakan setelah 24 jam

6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton ini menggunakan lat berupa mesin uji kuat tekan beton (*compressive strength machine*).

4.5 Teknik Penelitian

Eksperimen laboratorium adalah penelitian yang dilakukan dengan cara mengkaji variabel-variabel bebas mungkin yang berpengaruh, sedangkan variable yang tidak sesuai dengan masalah penelitian dibuat seminimal mungkin dilaksanakan secara terkontrol, teliti, dan cermat.

4.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian akan dilakukan secara garis besar dan secara detail adalah sebagai berikut :

4.6.1 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam melaksanakan penelitian perlu dilakukan persiapan diantaranya perizinan pemakaian laboratorium, pengumpulan bahan/mengambil sampel material, persiapan alat penelitian dan persiapan blanko isian data.

4.6.2 Pemeriksaan Material

1. Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pemeriksaan material terdiri dari analisa saringan, berat jenis dan penyerapan agregat, berat isi agregat, kadar lumpur, dan kadar air.

a. Langkah kerja pengujian analisa saringan sebagai berikut :

- Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° C, hingga berat tetap.
- Ayakan (saringan) disusun menurut susunan dengan lubang ayakan yang paling besar ditaruh paling atas kemudian secara berurutan lubang yang lebih kecil di bawahnya.
- Agregat dimasukkan ke dalam ayakan yang paling atas.
- Diayak agregat yang telah masuk ke dalam ayakan dengan tangan

atau alat penggetar hingga jelas bahwa agregat telah terpisah satu sama lain. Ayakan ini diguncang selama kurang lebih 15 menit.

- Agregat yang tertinggal di dalam masing-masing ayakan dipindahkan ke wadah yang lain atau kertas. Ayakan dibersihkan terlebih dahulu dengan sikat agar tidak ada butir-butir agregat yang tertinggal dalam ayakan.
 - Agregat kemudian 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. Penimbangan juga dilakukan dengan hati-hati agar semua butir tidak ada yang tidak ditimbang.
- b. Langkah kerja pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus sebagai berikut :
- Dikeringkan benda uji dalam oven hingga dicapai berat tetap, lalu dinginkan pada suhu ruangan kemudian rendam dalam air selama 24 jam (1 hari).
 - Dibuang 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 dicapai kering permukaan jenuh.
 - Diperiksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, hingga keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda runtuh tetapi masih keadaan tercetak.
 - Setelah kering permukaan jenuh tercapai, dimasukkan 500 gram benda uji kedalam picnometer. Masukkan air suling hingga mencapai 90% dari isi picnometer, putar sambil diguncang hingga tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Cara kerja ini juga dapat menggunakan pipa hampa hisap, tetapi perhatikan jangan sampai ada air yang terhisap.
 - Direndam pinometer yang berisi air dan ukur suhu air untuk

menyesuaikan perhitungan standar 250 C.

- Ditambahkan air hingga mencapai tanda batas.
 - Ditimbang picnometer yang berisi air dan benda uji.
 - Dikeluarkan benda uji lalu keringkan dalam oven sampai menacapai berat tetap, kemudian keringkan dalam desikator.
 - Setelah benda uji dingin, lalu ditimbang (*BK*).
 - Ditentukan berat picnometer yang berisi air penuh, ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 250 C (*B*).
- c. Langkah kerja pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar sebagai berikut :
- Cuci benda uji untuk menghilangkan kotoran dan debu.
 - Keringkan benda uji dengan oven sampai berat tetap.
 - Benda uji di dinginkan lalu ditimbang (*BK*).
 - Direndam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam (1 hari).
 - Dikeluarkan benda uji dari air, bersihkan dan lap menggunakan kain yang dapat menyerap air hingga selaput air pada permukaan benda uji hilang (ker- ing permukaan).
 - Ditimbang benda uji keringkan permukaan jenuh (*BJ*).
 - Diletakkan benda uji didalam keranjang, guncang benda uji untuk menge- luarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (*BA*), ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan standar.
 - Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir- butir berat dan ringan, bahan seperti ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan hati- hati. Dalam hal ini, beberapa pemeriksaan ulang diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.
- d. Langkah kerja pengujian berat isi agregat sebagai berikut :
- Berat isi (satuan) gembur atau lepas
- Disediakan benda uji (agregat halus dan kasar) yang mewakili agregat dilapangan.

- Ditimbang dan dicatat berat tempat/wadah bejana (W1).
 - Dimasukkan benda uji dengan perlahan-lahan (agar tidak terjadi pemisahan butiran) maksimum 5 cm dari atas wadah dengan mempergunakan sendok lalu datarkan permukaannya, jika perlu menggunakan mistar perata.
 - Ditimbang dan dicatat berat wadah/ bejana yang berisi benda uji (W2).
Berat isi (satuan) padat
 - Diambil benda uji (agregat halus dan kasar) yang akan diperiksa yang mewakili agregat dilapangan.
 - Ditimbang dan dicatat berat/wadah (W1)
 - Dimasukkan 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.
 - Diratakan permukaan benda uji sehingga rata dengan bagian atas bejana dengan menggunakan mistar perata (jika perlu)
 - Ditimbang dan dicatat berat wadah/ tempat yang berisi benda uji (W2).
- e. Langkah kerja pengujian pemeriksaan kadar lumpur sebagai berikut :
- Benda uji dimasukkan kedalam cawan lalu dikeringkan didalam oven selama 24 jam. Lalu ditimbang beratnya (B1)
 - Benda uji yang telah ditimbang lalu dicuci dengan cara disaring menggunakan saringan No.200
 - Kemudian benda uji dikeringkan kembali menggunakan oven sampai berat tetap. Lalu di timbang beratnya (B2)
- f. Langkah kerja pengujian pemeriksaan kadar air sebagai berikut :
- Timbang berat cawan
 - Masukkan benda uji basah kedalam cawan dan timbang
 - Oven benda uji yang telah ditimbang selama 24 jam
 - Setelah benda uji dingin lalu di timbang kembali.

2. Ekstrak Limbah Sayur

Proses pengolahan limbah sayuran hingga menjadi bakteri untuk substitusi semen adalah sebagai berikut :

a. Pengumpulan limbah sayuran

Limbah sayuran didapat dari limbah sisa penjualan yang sudah tidak layak konsumsi dan tidak terjual.



Gambar 4.19 Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

b. Pencucian limbah sayuran

Proses pencucian dilakukan supaya limbah sayur yang sebelumnya sudah dikumpulkan bersih dari kotoran yang masih terdapat dipermukaan sayur.



Gambar 4.20 Pencucian Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

c. Pembusukan

Proses pembusukan dapat dilihat pada gambar 4.21 yang dilakukan dengan cara menyimpan limbah sayuran didalam plastik dalam keadaan tertutup.



Gambar 4.21 Pembusukan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

d. Penghalusan

Penghalusan dilakukan menggunakan *blender* supaya mendapatkan hasil limbah sayuran yang halus secara merata.



Gambar 4.22 Penghalusan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

e. Penyaringan

Proses penyaringan dilakukan dengan cara diperas kemudian di saring dan di ambil ekstraknya yang nanti akan digunakan untuk bahan campuran pengganti sebagian dari berat semen.



Gambar 4.23 Penyaringan Limbah Sayuran (Dokumentasi Penelitian, 2021)

f. Pencampuran bahan kimia

Proses pencampuran bahan kimia dilakukan setelah diambil ekstrak sayuran yang telah disaring yang mengandung mikroorganisme, kemudian dicampurkan senyawa kalsium klorida dan urea ke dalam ekstrak sayuran. Pencampuran bahan kimia bermaksud agar bakteri berperan sebagai reagen yang akan mengubah senyawa kimia menjadi kalsium karbonat yang akan berperan sebagai proses perbaikan beton secara mandiri.



Gambar 4.24 Pencampuran Kalsium Klorida dan Urea (Dokumentasi Penelitian, 2021)

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Adapun metode yang dilakukan dalam perencanaan campuran beton (*Mix Design*) ini berdasarkan Metode SNI 03-2834-2000 dengan percobaan awal (*Trial Mixes*) dengan memperhitungkan jumlah agregat kasar, agregat halus, semen, dan air dalam merencanakan campuran beton yang kita inginkan. Pembuatan beton segar dilakukan menggunakan mesin pengaduk (molen).

4.6.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan beton segar ini menggunakan mesin pengaduk beton (molen). Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan kubus dengan ukuran 15cm x 15cm x 15cm yang berjumlah 27. Adapun langkah kerja dalam pembuatan benda uji sebagai berikut:

- a. Semen dan agregat (halus dan kasar) diukur beratnya dengan cara ditimbang, setelah itu untuk pengukuran air dapat dilakukan dengan menggunakan gelas ukur.

- b. Berat bahan yang akan dicampur harus ditetapkan terlebih dahulu perbandingan antara materialnya.
- c. Sebelum ditimbang, agregat halus dalam keadaan kering jenuh
- d. Agregat dimasukkan ke dalam mesin pengaduk dan semen dimasukkan diatas agregat tersebut.
- e. Sambal diaduk, air dimasukkan pada mesin aduk yang telah tercampur dengan bahan tambah.
- f. Waktu pengadukan tidak kurang dari 3 menit.

4.6.5 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dimaksud sebagai tolak ukur kelecakan beton segar, yang berhubungan dengan tingkat kemudahan dalam pengerjaan beton. Adapun langkah kerja dalam pengujian *slump* sebagai berikut :

- a. Dibasahi corong cetakan dan plat dengan air, kemudian ditaruh ditempat yang rata, setelah itu berdiri pada kedua kaki selama pengisian corong.
- b. Corong di isi dalam 3 lapis, masing-masing lapis terdiri dari 1/3 volume corong, untuk setiap lapisnya beton segar ditusuk dengan pemadat tongkat sebanyak 25 kali. Penusukan harus dilakukan secara merata.
- c. Kemudian beton segar dimasukkan kembali kedalam bagian atas dan diratakan sehingga rata dengan sisi atas cetakan, kemudian alas disekitar cetakan dibersihkan dari beton segar yang tercecer.
- d. Setelah ditunggu 30 detik, kemudian cetakan corong ditarik ke atas dengan perlahan sehingga benar-benar tegak.
- e. Pengukuran nilai *slump* dilakukan dengan penggaris dengan ditaruh cetakan corong disamping beton segar dan menaruh batang baja sejajar diatas beton segarnya.
- f. Beton segar yang terlalu cair akan tampak pada pemeriksaan ini, yakni bentuk kerucutnya akan hilang sama sekali.
- g. Besar *slump* adalah tinggi cetakan dikurangi dengan tinggi setelah keruntuhan.

4.6.6 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton bermaksud untuk mengurangi hidrasi pada beton sehingga dapat mengurangi terjadinya kerusakan pada beton. Umur perawatan dan jumlah benda uji dapat dilihat dari tabel 4.1 berikut.

Tabel. 4.1 Perawatan benda uji

Umur Perawatan	Pengujian	Persentasi ekstrak limbah sayur Menggantikan Sebagian Semen					Jumlah Benda Uji
		0%	3%	5%	7%	9%	
							27
28 Hari	Kuat Tekan Beton	3	3	3	3	3	15
28 hari	Penglihatan Visual Self Healing		3	3	3	3	12

Dapat dilihat dari tabel diatas, Untuk pengadukan pertama benda uji berjumlah 15, benda uji normal berjumlah 3, sedangkan untuk benda uji varian 3%, 5%, 7%, dan 9% benda uji yang berjumlah 12, pengadukan pertama hanya dilakukan perendaman selama 28 hari. Sedangkan untuk pengadukan kedua, benda uji varian 3%, 5%, 7%, dan 9% berjumlah 12 dilakukan perendaman selama 28 hari, lalu diletakkan menggunakan palu dan selama 28 hari kedepan retakan dilihat secara visual proses *self healing concrete*.

4.6.7 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk menjadi acuan dilapangan dengan menggunakan alat uji kuat tekan. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton di uji pada umur 28 hari dan 56 hari. Adapun langkah kerja pengujian kuat tekan sebagai berikut :

- Benda uji ditimbang dengan timbangan ketelitian 0,001 kg
- Permukaan benda uji dibersihkan dan cari permukaan benda uji yang rata
- Diletakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan
- Dilakukan pembebanan sampai benda uji hancur, kemudian dicatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji

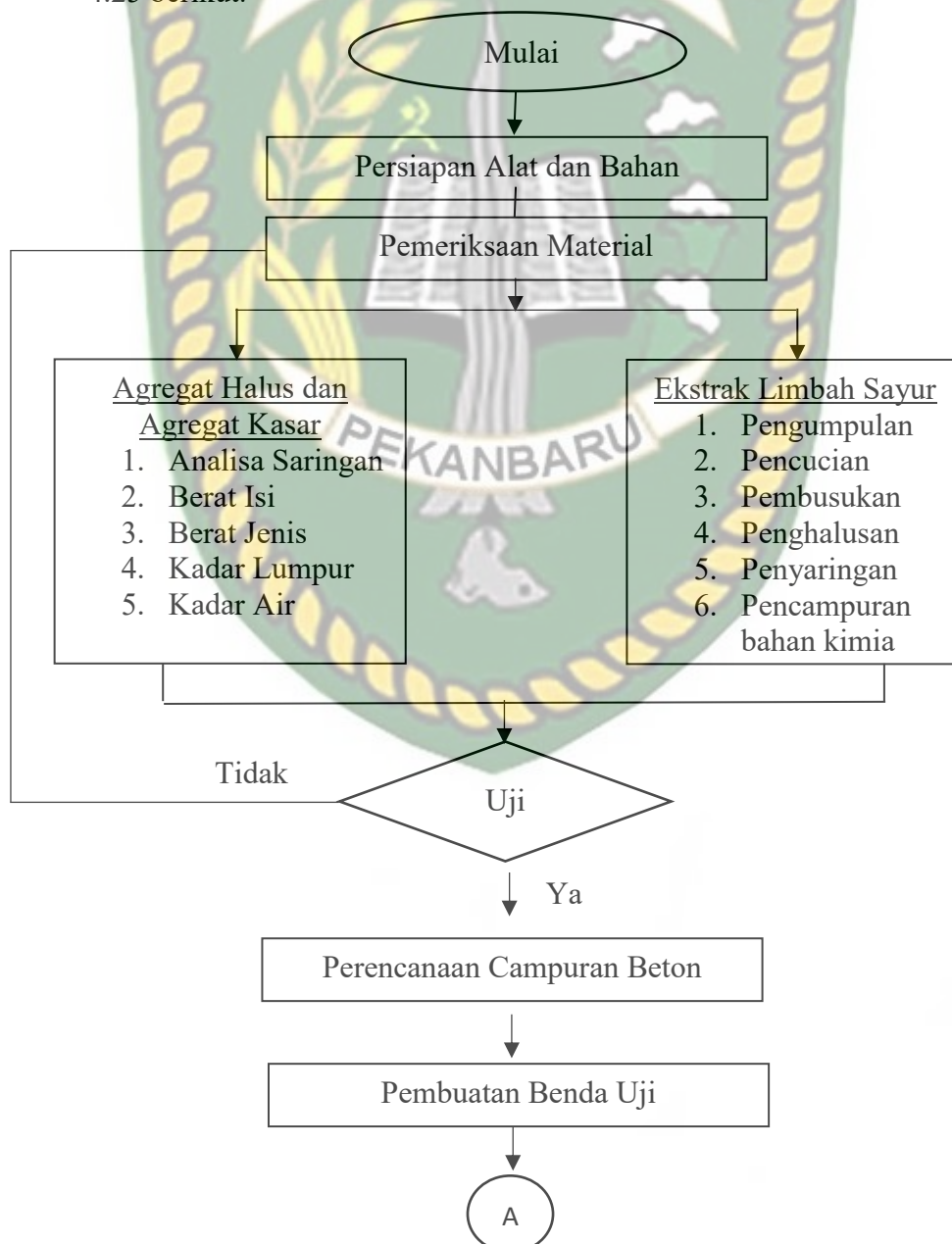
4.6.8 Hasil Analisa Data dan Pembahasan

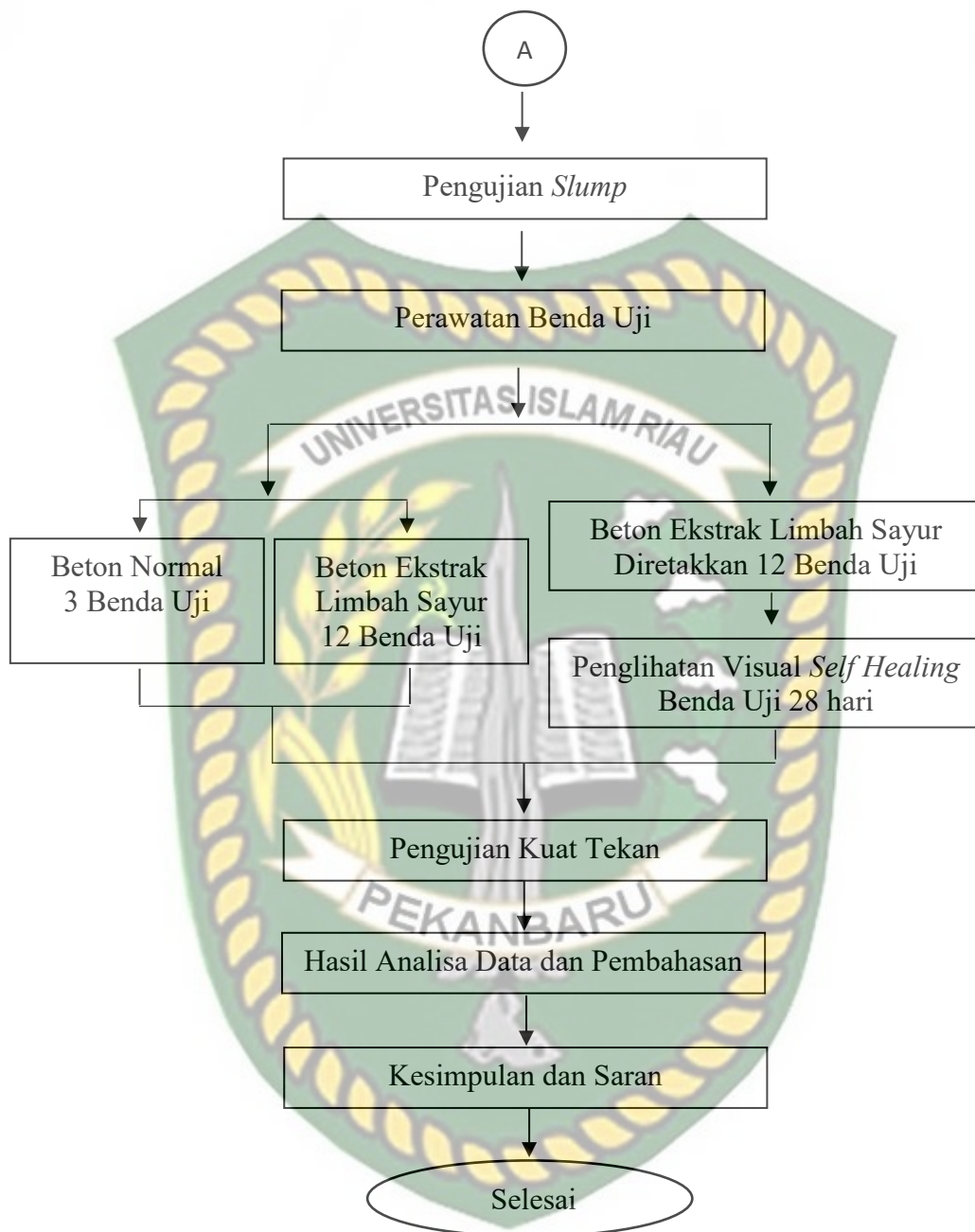
Data yang diperoleh dari hasil pengujian di analisa dan dilakukan pembahasan.

4.6.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran dari penelitian bertujuan menyimpulkan apa yang telah didapat dari hasil penelitian dan memberi saran kepada peneliti selanjutnya maupun bagi para pelaku konstruksi.

Adapun uraian tahap pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 4.25 berikut.





Gambar 4.25 Bagan Alir Tahapan Penelitian

4.7 Tahapan Analisa Data

Tahapan-tahapan analisa data dalam penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Material
 - a. Pengujian analisa agregat kasar dan agregat halus
 - b. Pengujian berat isi agregat kasar dan agregat halus
 - c. Pengujian berat jenis agregat kasar dan agregat halus
 - d. Pengujian kadar air agregat kasar dan agregat halus
 - e. Pengujian kadar lumpur agregat kasar dan agregat halus
2. Menghitung rencana pembuatan beton
 - a. Menentukan kebutuhan agregat halus
 - b. Menentukan kebutuhan agregat kasar
 - c. Menentukan kebutuhan semen
 - d. Menentukan kebutuhan mikroorganisme
 - e. Menentukan kebutuhan air
3. Analisa pengujian beton sesuai SNI-03-2834-2000
 - a. Menentukan rata-rata kuat tekan beton
4. Analisa *self healing* pada Beton
 - a. Menentukan kadar kalsium karbonat pada beton
 - b. Menganalisa secara visual penutupan retakan pada beton

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Benda Uji

Hasil pengujian material pada penelitian ini adalah analisa pemeriksaan saringan agregat halus dan agregat kasar, pemeriksaaan berat jenis agregat halus dan kasar, pemeriksaan berat volume agregat halus dan kasar, pemeriksaan kadar air agregat halus dan kasar, dan pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus dan kasar.

5.1.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

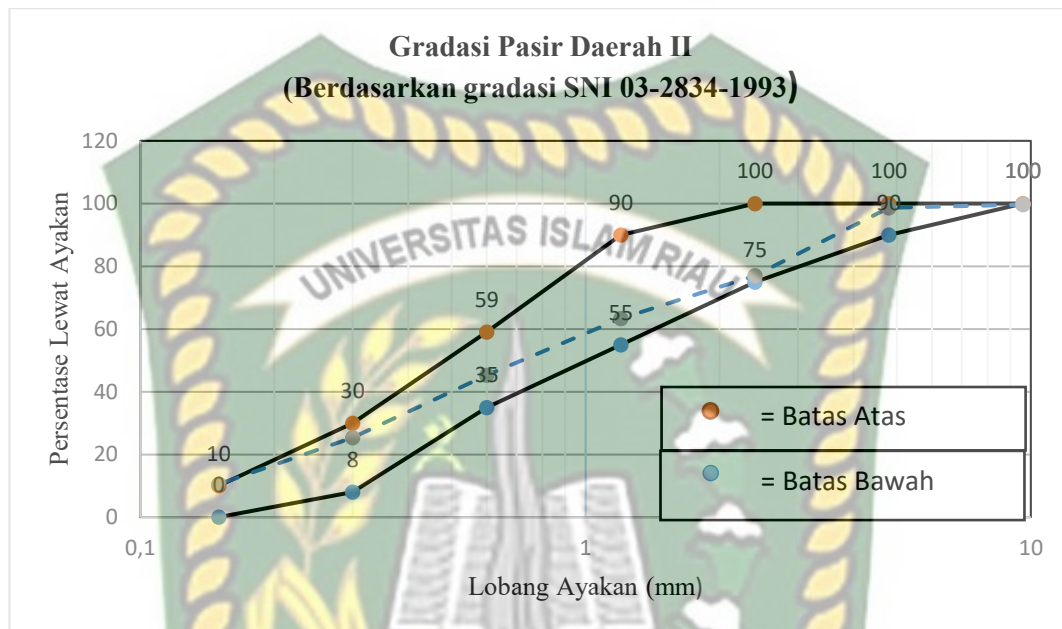
Gradasi agregat halus dinyatakan dengan persentase banyaknya agregat halus tertahan atau melewati suatu saringan 9,6 mm atau saringan No.3/8. Hasil penelitian analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

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 Rata-rata Lolos Sarigan	100	100	100	100	99,65	98,36	77,02	63,29	45,26	25,32	10,53	6,41

Hasil dari tabel 5.1 pemeriksaan analisa saringan ini digunakan untuk memperoleh jumlah persentasi butiran pada agregat halus dan menentukan batas gradasi. Dapat diketahui bahwa agregat halus memenuhi sarat batas gradasi, yaitu pada daerah zona II. Dapat dilihat dari saringan 1^{1/2}" sampai 1/2" masing-masing persentase lolos sebesar 100%. Saringan No. 3/8" persentase lolos 99,65%, saringan ukuran No.4 persantasi lolos 98,36%, untuk saringan No.8 memiliki nilai persentase 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 persentasi lolos 6,41%. Dari Tabel 5.1

dapat dilihat bahwa persentase lolos saringan agregat halus berada diantara batas maksimum dan minimum pada setiap ukuran saringan. Hasil pemeriksaan analisa saringan dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Batas gradasi agregat halus dengan batas gradasi zona II

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.

5.1.2 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan agregat kasar ukuran 1-2. Hasil analisa saringan agregat kasar ukuran 1-2 dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Rata-rata Nilai Persentase Lolos Agregat Kasar 1-2

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 Lolos Sarigan	100	100	49,10	3,52	0,64	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,48

Dapat dilihat pada tabel 5.2 bahwa persentasi lolos agregat kasar ukuran 1-2 saringan 1½" dan 1" persentase lolos 100%. Saringan ¾" persentasi lolos 49,10%,

saringan $\frac{1}{2}$ 3,52%, saringan $\frac{3}{8}$ " persentasi lolos sebesar 0,64%, saringan ukuran No.4 persantasi lolos 0,60%, saringan No.8 memiliki nilai persentasi lolos 0,60%, saringan No.16 memiliki nilai persentasi lolos 0,60%, saringan No. 30 memiliki nilai persentasi lolos 0,60%, saringan No.50 memiliki nilai persentasi lolos 0,60%, saringan No. 100 memiliki nilai persentasi lolos 0,60%, dan saringan No.200 memiliki nilai persentasi lolos 0,48%. Hasil pemeriksaan analisa saringan dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik persentase lolos agregat kasar dengan batas gradasi untuk besar ukuran maksimum 20 mm

Berdasarkan gambar 5.2 dapat dilihat gradasi agregat kasar memenuhi persyaratan batas gradasi agregat kasar yaitu ukuran maksimum 20 mm. Persentase lolos agregat kasar 1-2 Nilai dari modulus kehalusan agregat kasar 1-2 pada penelitian sebesar 9,47%.

5.1.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air

Kadar air pada agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air pada campuran beton sesuai perbandingan air dan FAS. Hasil pemeriksaan kadar air dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil pemeriksaan kadar air

Material	Kadar Air (%)	Nilai Standar (%)	Keterangan
Agregat Halus	0,41	3-5	Tidak Oke
Agregat Kasar	0,76	3-5	Tidak Oke

Dari Tabel 5.3 dapat diketahui bahwa hasil pengujian agregat halus memiliki kadar air yang lebih rendah yaitu 0,41% yang mana dapat di lihat pada Lampiran B-15. kadar air pada agregat halus tidak sesuai standar SNI 03-4142-1996 spesifikasi kadar air yaitu 3% sampai 5%. analisa mix design

Hasil pengujian agregat kasar memiliki kadar air yang lebih tinggi yaitu 0,76% yang mana dapat di lihat pada Lampiran B-15. Kadar air pada agregat kasar tidak sesuai standar SNI 03-4142-1996 spesifikasi kadar air yaitu 3% sampai 5%. Agregat kasar nilai kadar air yang terkandung tidak mencapai standar karena agregat yang digunakan adalah batu pecah dari pangkalan yang mana air yang terkandung didalamnya sangatlah kecil, maka di analisa Mix Design dilakukan koreksi terhadap campuran beton.

5.1.4 Hasil pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Material

Pemeriksaan berat jenis serta penyerapan air material dilakukan untuk mengetahui berat jenis kering permukaan henih SSD (*Standard Surface Dray*) serta memperoleh angka berat jenis curah dan berat jenis semu. Hasil pemeriksaan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Agr. Halus	Nilai Standar (%)	Keterangan
BJ Semu	gr	2,64	2,5 – 2,7	Ok
BJ Permukaan Jenuh	gr	2,61	2,5 – 2,7	Ok
BJ Curah	gr	2,59	2,5 – 2,7	Ok
Penyerapan	gr	0,53	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%, maka di Analisa Mix

Design dilakukan koreksi terhadap campuran beton. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran B-12. Hasil pemeriksaan berat jenis pada agregat kasar 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	2,66	2,5 – 2,7	Ok
BJ Permukaan Jenuh	Gr	2,62	2,5 – 2,7	Ok
BJ Curah	Gr	2,60	2,5 – 2,7	Ok
Penyerapan	Gr	0,88	2 – 7	Tidak Ok

Dari Tabel 5.5 dapat diketahui hasil pemeriksaan berat jenis untuk agregat halus untuk berat jenis semu, berat jenis permukaan, berat jenis curah mencapai standar dan Penyerapan hasil penelitiannya tidak mencapai standar, maka di Analisa Mix Design dilakukan koreksi terhadap campuran beton. Untuk lebih lanjut dapat dilihat pada Lampiran B-14.

5.1.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur pada penelitian ini menggunakan metode penjumlahan bahan agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) yang bermaksud dijadikan acuan atau pedoman untuk pelaksanaan pengujian dan untuk melakukan jumlah setelah dilakukan pencucian benda uji. Analisa perhitungan kadar lumpur dapat dilihat pada lampiran B-17 dan lampiran B-18. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

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

Dari Tabel 5.6 dapat dilihat bahwa semua material memiliki kadar lumpur < 5 maka semua material memenuhi standar untuk digunakan pada campuran beton.

5.1.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Berat isi adalah perbandingan antara berat agregat kering dan volumenya. Analisa dapat dilihat pada Lampiran B-7, Lampiran B-8, Lampiran B-9 dan Lampiran B-10. Hasil dari penelitian berat isi agregat dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Material	Berat Isi (gr/cm ³)		Nilai Standar	Keterangan
	Kondisi Gemur	Kondisi Padat		
Agregat Halus	1.65	1.74	1.4 – 1.9	Ok Ok
Agregat Kasar	1.34	1.47	1.4 – 1.9	Tidak Ok Ok

Dari Tabel 5.7 diatas menunjukkan bahwa hasil pemeriksaan berat isi pada agregat halus memenuhi standar dan agregat kasar kondisi gemur yang tidak memenuhi standar, maka di Analisa Mix Design dilakukan koreksi terhadap campuran beton. sedangkan kondisi padat memenuhi standar untuk pembuatan campuran beton.

5.2 Hasil Pemeriksaan Beton

Hasil dari pemeriksaan beton berupa hasil pemeriksaan *mix design*, hasil pemeriksaan *slump* pada beton segar, hasil pemeriksaan kuat tekan beton normal dan beton yang menggunakan mikroorganisme dari limbah sayuran.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, dan ekstrak limbah sayur sebagai pengganti sebagian berat semen. Analisa dapat dilihat pada Lampiran A-2. Hasil campuran beton untuk 3 sample dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Proporsi Campuran Beton untuk 3 sample beton berbentuk kubus

Varian	Semen(kg)	Air(l)	Ag.Halus(kg)	Ag.Kasar(kg)	ekstrak limbah sayur (gr)
0%	4,448	2,516	9,13	12,604	0
3%	4,315	2,383	9,13	12,604	133,44
5%	4,226	2,294	9,13	12,604	222,4
7%	4,137	2,205	9,13	12,604	311,36
9%	4,048	2,116	9,13	12,604	400,32

Pada tabel 5.8 dapat diketahui bahwa proporsi campuran beton normal untuk tiap 3 sample kubus beton menggunakan semen, air, agregat halus, agregat kasar adalah 4,448 kg; 2,516 l; 9,13 kg; 12,604 kg. Untuk variasi 3% ekstrak limbah sayur tiap 3 sample kubus beton menggunakan semen, air, agregat halus, agregat kasar adalah 4,315 kg; 2,516 l; 9,13 kg; 12,604 kg. Untuk variasi 5% bakteri tiap 3 sample kubus beton menggunakan semen, air, agregat halus, agregat kasar adalah 4,226 kg; 2,516 l; 9,13 kg; 12,604 kg. Untuk variasi 7% bakteri tiap 3 sample kubus beton menggunakan semen, air, agregat halus, agregat kasar adalah 4,137 kg; 2,516 l; 9,13 kg; 12,604 kg. Untuk variasi 9% bakteri tiap 3 sample kubus beton menggunakan semen, air, agregat halus, agregat kasar adalah 4,048 kg; 2,516 l; 9,13 kg; 12,604 kg.

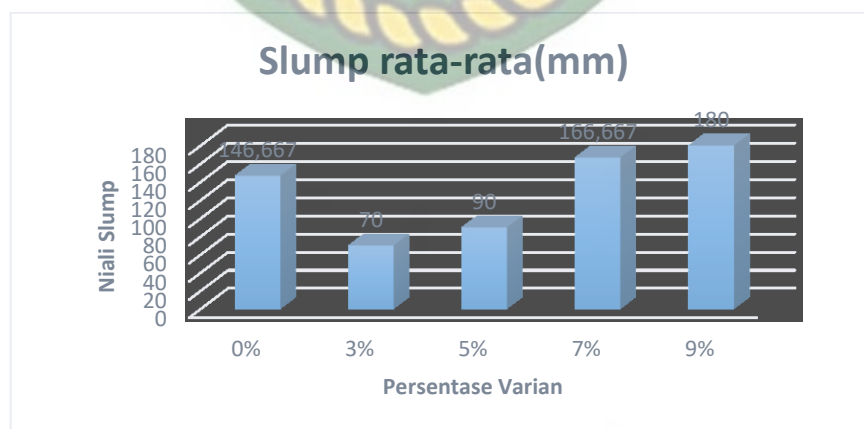
5.2.2 Hasil dan Analisa Nilai *Slump*

Tujuan pengujian *slump* adalah untuk mengecek adanya kadar air yang ada dalam adukan beton, sedangkan pemeriksaan nilai *slump* bermaksud untuk mengetahui konsistensi beton dan sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton sesuai dengan syarat-syarat yang ditetapkan. Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin mudah pengerjaan beton. Sebaliknya semakin kecil nilai *slump* maka pengerjaan beton akan semakin sulit. Hasil nilai *slump* beton dengan adanya tambahan ekstrak limbah sayur yang menggantikan sebagian berat semen dapat dilihat pada tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Nilai *Slump* Kubus Beton

Persentase varian	Slump (mm)	Slump Rata-Rata (mm)	Penurunan (%)	Kenaikan (%)
0%	130	146,667	-	-
	140			
	170			
3%	60	70,000	52,272	-
	70			
	80			
5%	80	90,000	-	28,571
	90			
	100			
7%	140	166,667	-	85,186
	170			
	190			
9%	160	180,000	-	7,910
	180			
	200			

Dapat dilihat pada tabel 5.9 nilai *slump* tersebut, beton varian 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% untuk kubus beton memenuhi standar *slump* rendah yaitu 60 mm – 180 mm. Data *slump* ini dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

Gambar 5.3 Grafik Hasil Nilai *Slump* rata-rata setiap varian ekstrak limbah sayur

Berdasarkan gambar 5.3, jika dibandingkan nilai *slump* beton yang tanpa bakteri dengan nilai 146,667mm, maka untuk beton varian 3% dan 5% dengan nilai 70mm dan 90mm mengalami penurunan nilai *slump*, sedangkan beton varian 7% dan 9% dengan nilai 166,667mm dan 180mm mengalami kenaikan nilai *slump*.

5.2.3 Hasil Analisa Kuat Tekan Beton

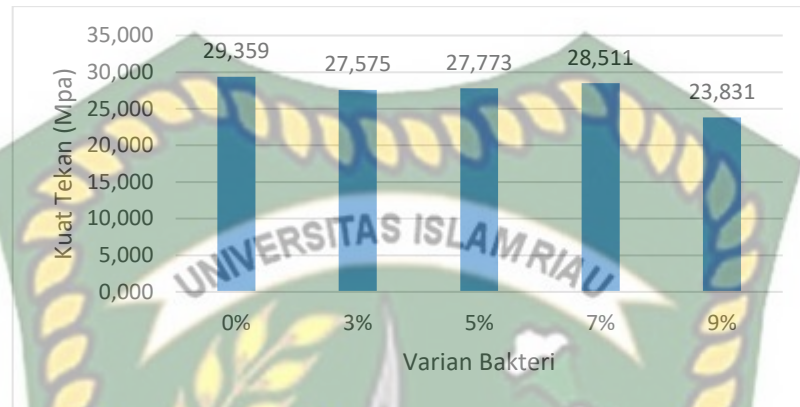
Pengujian kuat tekan terbagi menjadi dua bagian, yaitu benda uji pengadukan pertama dan benda uji pengadukan kedua. Untuk benda uji adukan pertama, uji kuat tekan dilaksanakan setelah perawatan benda uji dengan perendaman 28 hari. Untuk adukan kedua, setelah benda uji dilakukan perawatan perendaman selama 28 hari, benda uji dilakukan peretakan dan diharapkan retak kembali pulih secara mandiri dalam waktu 28 hari kedepan, kemudian setelah benda uji dinyatakan pulih selama 28 hari, maka benda uji pada adukan kedua dilakukan pengujian kuat tekan. Hasil uji kuat tekan pengadukan pertama dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pengadukan Pertama

Varian (%)	Umur (Hari)	Dimensi (mm)	Kuat tekan (Kg/cm ³)	fc' Rerata (Mpa)	Kenaikan (%)
0	28	150 x 150 x 150	855,000	23,359	-
3	28	150 x 150 x 150	831,667	27,575	-1,784
5	28	150 x 150 x 150	793,333	27,773	-1,586
7	28	150 x 150 x 150	840,000	28,511	-0,848
9	28	150 x 150 x 150	445,000	23,831	-5,528

Dari Tabel 5.10 dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan umur 28 hari kubus di dapat untuk beton normal memiliki rata-rata 29,359 MPa. Pada beton dengan varian 3% ekstrak limbah sayur nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 27,575 MPa mengalami penurunan 1,784% dari beton normal. Untuk beton dengan varian 5% ekstrak limbah sayur kuat tekan yang didapat rata-rata 27,773 MPa mengalami penurunan 1,586% dari beton normal. Untuk beton varian 7% ekstrak limbah sayur nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 28,511 MPa mengalami penurunan 0,848%

dari beton normal. Untuk beton varian 9% ekstrak limbah sayur nilai kuat tekan yang di dapat rata-rata 23,831 MPa mengalami penurunan 5,528% dari beton normal. Dari tabel 5.10 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Pengadukan Pertama

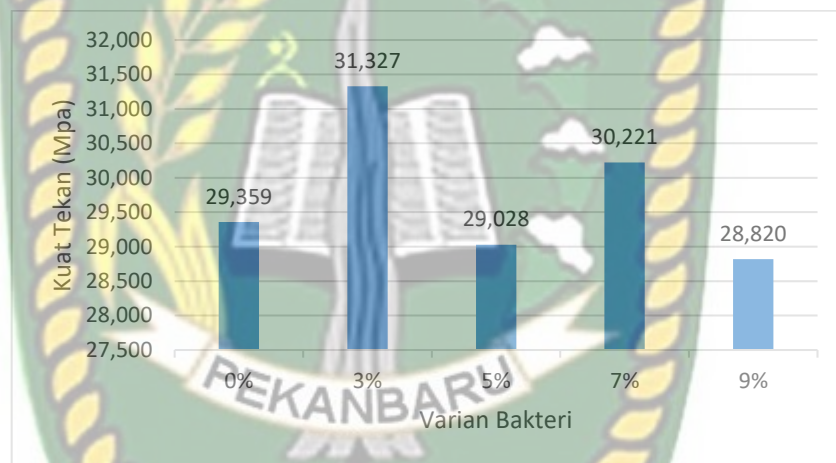
Berdasarkan Gambar 5.4 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton ekstrak limbah sayur maksimum berada pada pada varian 7% dengan nilai kuat tekan 28,511 Mpa. Nilai kuat tekan beton ekstrak limbah sayur minimum berada pada varian 9% dengan nilai kuat tekan 23,831 Mpa.

Hasil pengujian kuat tekan beton yang telah diretakkan dilakukan setelah dilakukannya perawatan beton selama 28 hari dengan melakukan penyiraman dengan air pada retakan beton, setelah retakan pada beton pulih maka beton yang sudah diretakkan kemudian di uji dengan varian benda uji dengan varian, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Untuk hasil kuat tekan beton setelah diretakkan dapat dilihat dalam tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pengadukan Kedua

Varian (%)	Umur (Hari)	Dimensi (mm)	Kuat tekan (Kg/cm ³)	fc'Rerata (Mpa)	Kenaikan (%)
0	28	150 x 150 x 150	855,000	29,359	-
3	28	150 x 150 x 150	930,000	31,327	-1,968
5	28	150 x 150 x 150	878,333	29,028	0,331
7	28	150 x 150 x 150	855,000	30,021	-0,662
9	28	150 x 150 x 150	833,333	28,820	0,539

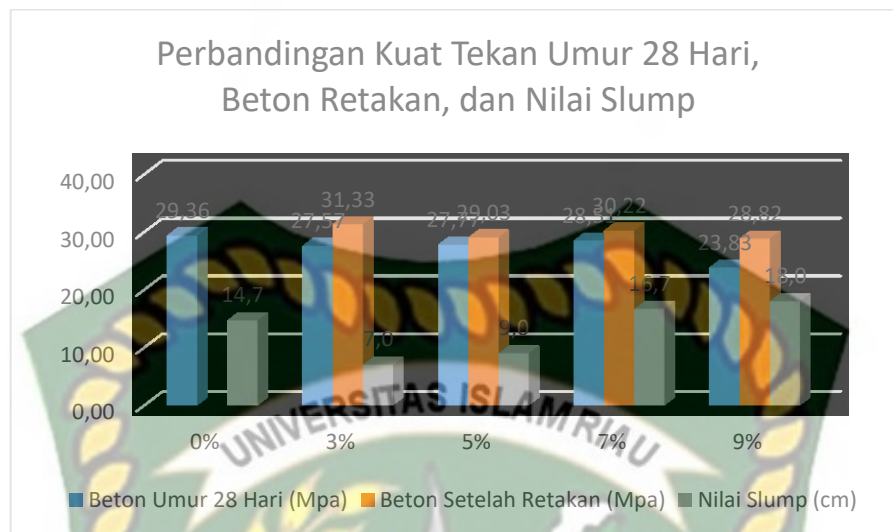
Dari Tabel 5.11 dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan umur 28 hari kubus di dapat untuk beton normal memiliki rata-rata 29,359 MPa. Pada beton dengan varian 3% bakteri nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 31,327 MPa mengalami kenaikan 1,968% dari beton normal. Untuk beton dengan varian 5% bakteri kuat tekan yang didapat rata-rata 29,028 MPa mengalami penurunan 0,331% dari beton normal. Untuk beton varian 7% bakteri nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 30,021 MPa mengalami kenaikan 0,662% dari beton normal. Untuk beton varian 9% bakteri nilai kuat tekan yang di dapat rata-rata 28,820 MPa mengalami penurunan 0,539% dari beton normal. Dari data pada tabel 5.11 dapat di buat dalam bentuk grafik seperti gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Pengadukan Kedua

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton bakteri maksimum berada pada varian 3% dengan nilai kuat tekan 31,327 Mpa. Nilai kuat tekan beton bakteri minimum berada pada varian 9% dengan nilai kuat tekan 28,820 Mpa.

Hasil perbandingan antara beton umur 28 hari, kuat tekan beton retakan, dan nilai *slump* dapat dilihat pada grafik seperti gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari, Beton Setelah Retakan, dan Nilai *Slump*.

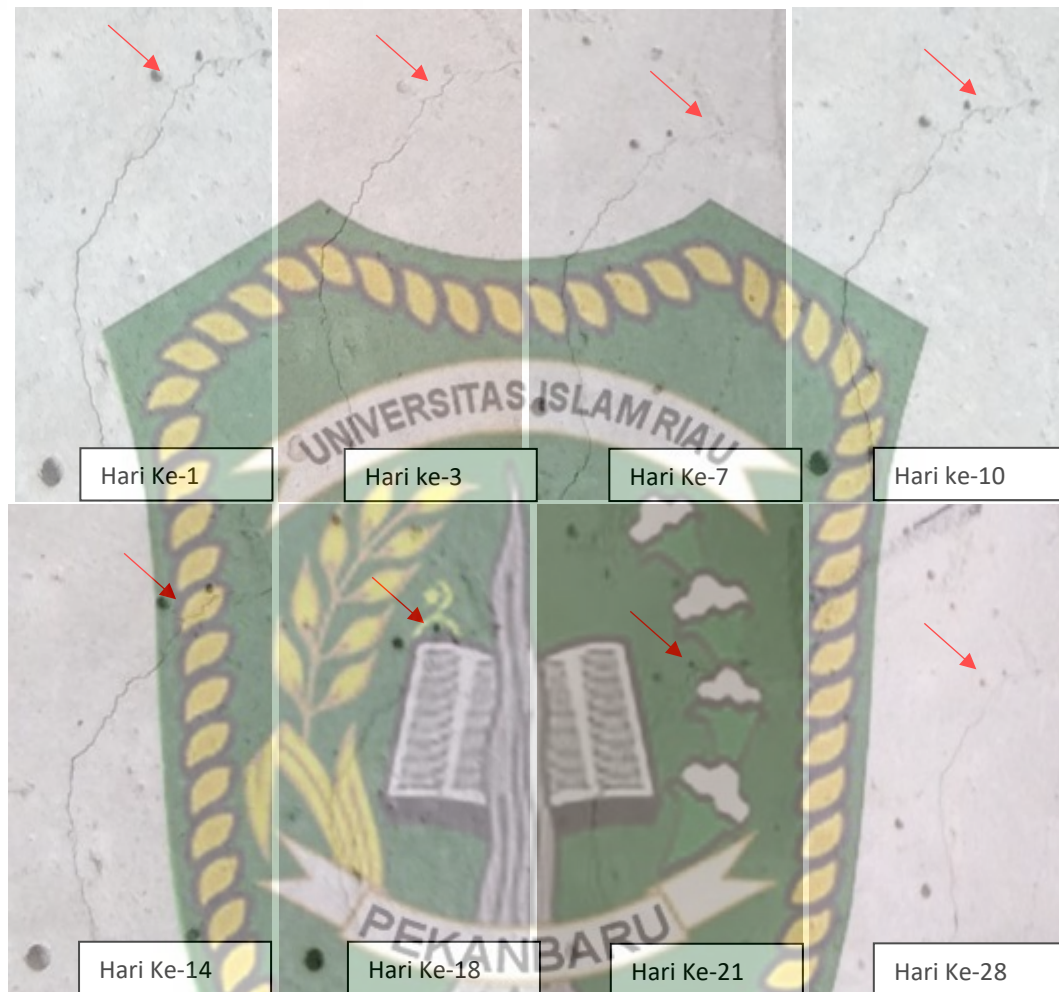
Berdasarkan Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *slump*, maka semakin rendah kuat tekan beton sebelum retakan maupun beton setelah retakan.

5.3 Hasil Pemeriksaan Self Healing Concrete

Hasil dari pemeriksaan *self healing concrete* berupa hasil dari penutupan retakan pada beton yang telah diretakkan.

Pengujian penglihatan penutupan retakan pada beton secara visual bertujuan untuk melihat kemampuan bakteri yang berasal dari ekstrak limbah sayuran apakah dapat menutupi retakan yang terjadi pada beton. Dari hasil retakan beton yang dilihat selama kurun waktu 28 hari beton menghasilkan zat kapur di permukaan beton yang akan memulihkan retakan pada beton.

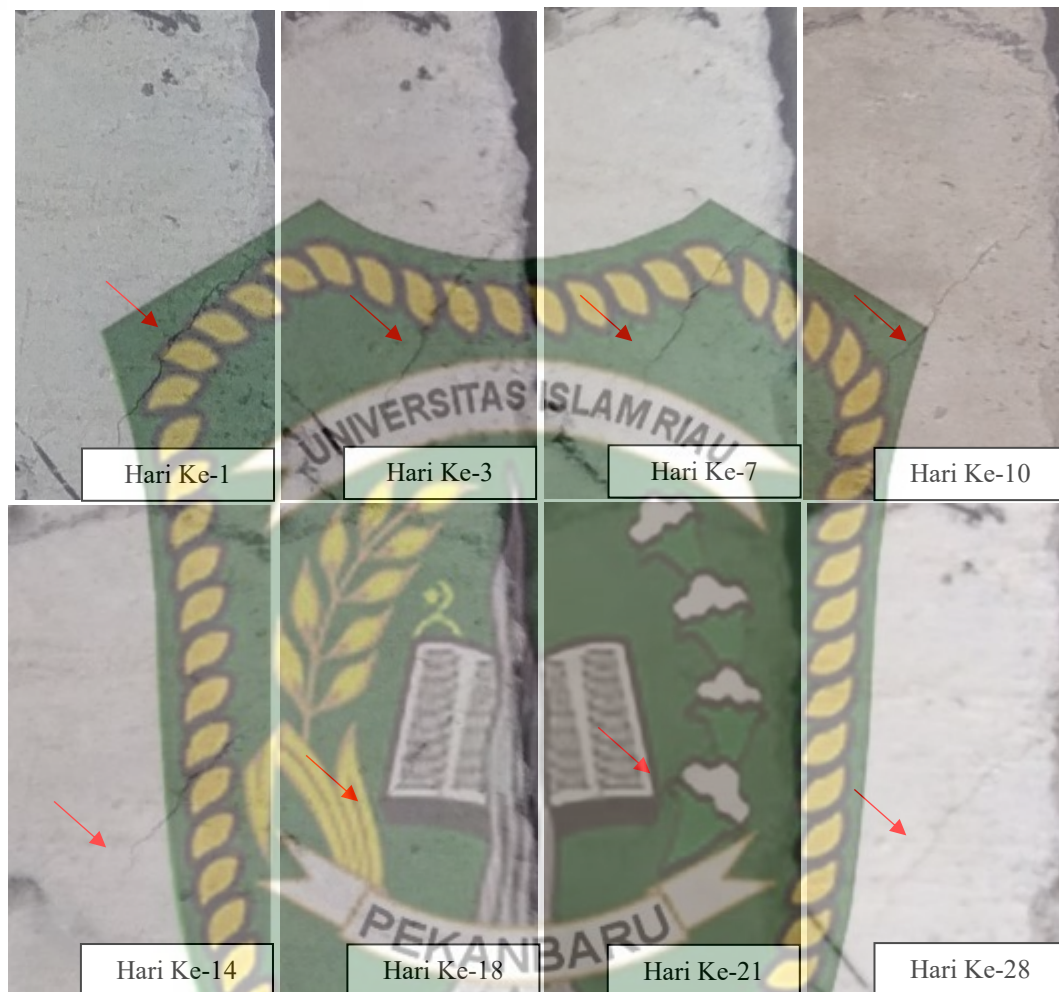
Hasil dari pemeriksaan penutupan retakan pada beton setelah beton diretakkan dengan menggunakan varian bakteri, Pemulihan retakan beton dengan menggunakan varian 3% dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Pemulihan Retakan Varian 3%

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 5.7 penutupan retakan pada beton dengan varian 3% dapat memulihkan retakan beton di hari ke 18, Hal ini terjadi akibat adanya zat kapur yang dihasilkan bakteri. Akan tetapi tidak dapat memulihkan retakan sepenuhnya pada beton .

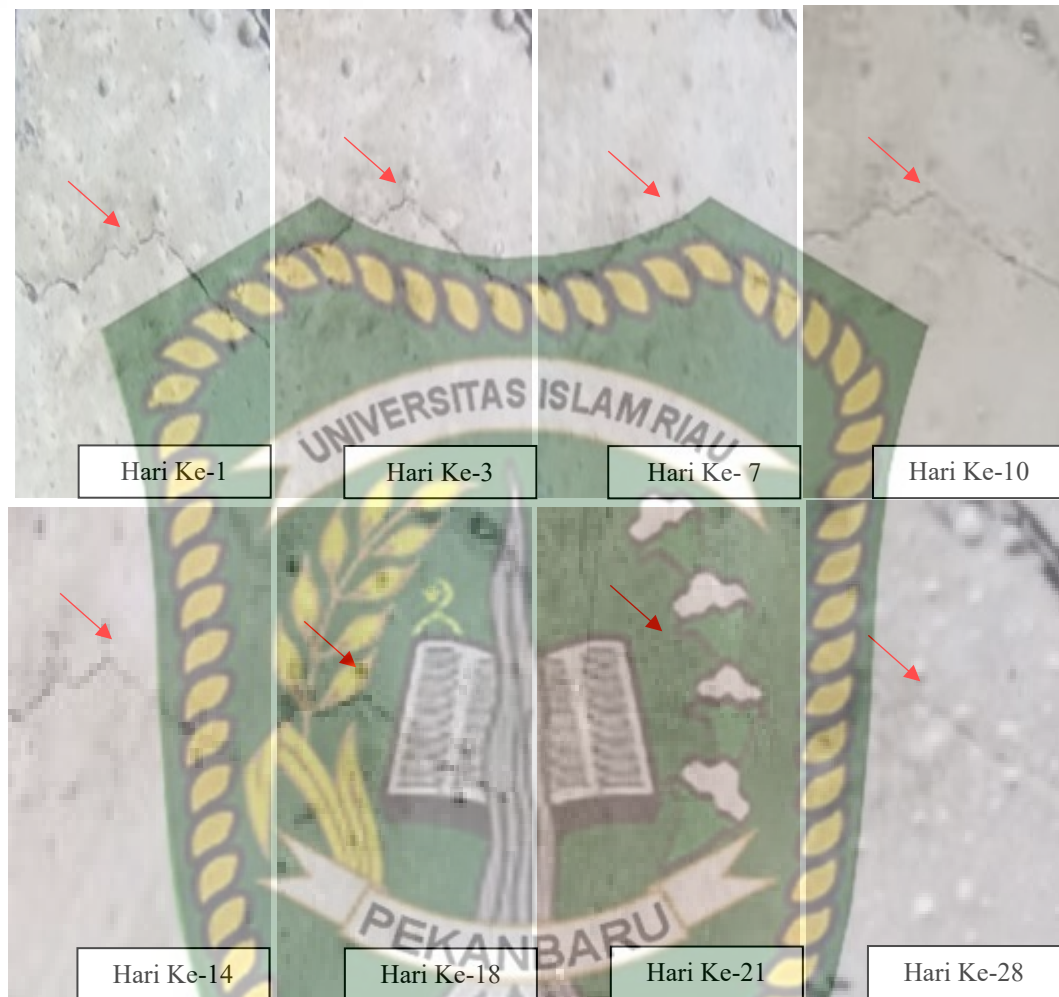
Pemulihan retakan beton dengan menggunakan varian sebanyak 5% dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Pemulihan Retakan Varian 5%

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 5.8 penutupan retakan pada beton dengan varian 5% dapat memulihkan retakan beton di hari ke 18, pemuliharaan retakan pada beton hampir pulih sepenuhnya dalam jangka waktu 28 hari.

Pemulihan retakan beton dengan menggunakan varian 7% dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Pemulihan Retakan Varian 7%

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 5.9 penutupan retakan pada beton dengan varian 7% dapat memulihkan retakan beton di hari ke 21, pemuliharaan retakan pada beton pulih sepenuhnya dalam jangka waktu 28 hari.

Pemulihan retakan beton dengan menggunakan varian 9% dapat dilihat pada gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Pemulihan Retakan Variasi 9%

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 5.10 penutupan retakan pada beton dengan variasi 9% dapat memulihkan retakan beton di hari ke 7, pemulihan retakan pada beton pulih sepenuhnya dalam jangka waktu 28 hari.

Hasil pengamatan secara visual pada gambar-gambar di atas terlihat perubahan yang terjadi pada retakan beton. Retakan pada beton perlahan menutup seiring waktu perawatan beton. Air yang masuk pada celah retakan membuat bakteri menjadi aktif dan menumbuhkan spora-spora berupa zat kapur yang melapisi permukaan beton, zat kapur yang dihasilkan hanya dapat menutup retakan-retakan halus pada beton.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dari pengujian-pengujian yang dilakukan dan sesuai dengan tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Nilai *slump* beton normal memiliki nilai *slump* 146,667 mm, Sedangkan beton dengan campuran ekstrak limbah sayuran, nilai *slump* varian 3% dan 5% mengalami penurunan dengan nilai *slump* 70 mm dan 90 mm, hal ini menunjukkan bahwa beton menyerap air lebih besar. Untuk nilai *slump* varian 7%, dan 9% mengalami kenaikan dengan nilai *slump* 166,667 mm dan 180 mm, walaupun *slump* varian 3%, 5%, 7%, 9% mengalami kenaikan tetapi nilai *slump* masih memenuhi standar nilai *slump* yang direncanakan yaitu 60 mm sampai 180 mm.
2. Kuat tekan maksimum beton umur 28 hari dan setelah retakan terletak pada variasi 3%, yaitu sebesar 31,327 MPa dan 30,221 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 1,968% dan 0,662% dibandingkan beton tanpa bakteri. Nilai kuat tekan beton bakteri minimum berada pada varian 9% dengan nilai kuat tekan 28,820 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *slump*, maka semakin rendah kuat tekan beton sebelum retakan maupun beton setelah retakan.
3. Setelah melihat perubahan secara visual melalui foto pada beton dengan campuran ekstrak limbah sayuran selama 28 hari, hasil dari proses *self healing concrete* tiap variasi 3%, 5%, 7%, 9% mengalami perubahan pada retakannya. Perubahan seutuhnya dapat dilihat pada varian 5% dan 7%.

6.2. Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Perlu meneliti jenis bakteri yang terkandung dalam ekstrak limbah sayuran.
2. Metode retakan benda uji dilakukan menggunakan mesin uji tekan.
3. Memperkecil persentase bakteri yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amudhavalli N K, KeerthanaK,Ranjani A. 2015. Experimental Study on Bacterial Concrete. *International journal of scientific engineering and applied science*.
- Arfa A Widika. (2018). Sifat Fisik Beton Pulih Mandiri Dengan Memanfaatkan Bakteri *Bacillus Subtilis*. Pekanbaru. Universitas Riau.
- Gobel, Fadli M.Van. (2017). Nilai Kuat Tekan Beton pada *Slump* Beton tertentu. Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna. Gorontalo
- Hafizh, Muhammad. (2011). Pengaruh Nilai *Slump* Terhadap Kuat Tekan. Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Iswara, Gilang. (2016). Laporan Tugas Besar Teknologi Bahan. Yogyakarta, Universitas Teknologi Yogyakarta
- Khaliq, W. & Ehsan, M. B., 2016, "Crack Healing in Concrete Using Various Bio Influence Self-healing Techniques", *Construction and Building Materials*, Vol. 102, hlm. 349-357.
- Lala, R., Hussain, A., & Akhtar, S. (2014). *Self Healing Concrete*.
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Edisi Kedua, Andi, Yogyakarta.
- Pangeran. (2016). Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan mencampurkan Bakteri *Basilus Subtilis* yang dikapsulisaikan dengan Asam Laktat. Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara.
- Setiawan, A. (2018). Perencanaan Struktur Beton Bertulang (L. Simarmata, Ed.). Jakarta: Erlangga.
- SNI T-15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 03-2834-2000 *Tentang Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: Badan Standar Nasional
- SNI 2847:2013. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*.
- Tjokrodimulyo., Kardiyono, 1992, *Teknologi Beton*. Biro Penerbit, Yogyakarta.