

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH EKSTRAK LIMBAH
SAYURAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BETON
DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE* (SHC)**

TUGAS AKHIR

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



OLEH :

CINTYA RAMADHANI PUTRI

173110009

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2022**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu), di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya 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 dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, Januari 2022

Yang Bersangkutan Pernyataan

CINTYA RAMADHANI PUTRI

173110009

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirobbil'alamin segala puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH EKSTRAK LIMBAH SAYURAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BETON DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE (SHC)*. Adapun penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan meraih gelar sarjana pada program studi teknik sipil (Strata1) Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dalam penelitian ini penulis memanfaatkan limbah sayur pasar yang tidak layak dijual di pasar-pasar seperti kubis dan sawi. Dalam penelitian ini peneliti memfermentasikan limbah sayur pasar selama seminggu untuk dijadikan bakteri.

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, 20 Januari 2022

Penulis

CINTYA RAMADHANI PUTRI

173110009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dengan judul “**Studi Eksperimental Pengaruh Ekstrak Limbah Sayuran Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Dalam Proses *Self Healing Concrete (SHC)***” dapat diselesaikan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Serjana 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, SH., MCL sebagai Rektor Universitas Islam Riau-Pekanbaru
2. Bapak Dr.Eng. Muslim, ST, MT, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
3. Ibu Dr.Mursyidah, Ssi.,MSc, sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
4. Bapak Dr.Anas Puri, ST., MT, sebagai Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
5. Bapak Ir.Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom , sebagai Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru.
6. Ibu Harmiyati,ST., M.Si. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau-Pekanbaru
7. Ibu Sapitri ST., MT, sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
8. Bapak Firman Syarif ST.,M.Eng , Sebagai Dosen Pembimbing
9. Ibu Dr. Elizar ST.,MT , sebagai Dosen Penguji 1
10. Ibu Sy Sarah Alwiyah ST.,MT , sebagai Dosen Penguji 2
11. Bapak Mahadi Kurniawan ST.,MT Sebagai kepala Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton, Ibu Miswarti ST.,MT sebagai asisten kepala laboratorium serta semua karyawan/i Laboratorium Universitas Islam Riau-Pekanbaru

12. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau-Pekanbaru
13. Seluruh Staf dan Karyawan/i Tata Usaha (TU) Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
14. Seluruh staf dan karyawan/i Perpustakaan Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru
15. Ayahanda dan Ibunda Tercinta Alm. Ajianto dan Suryati sebagai Kedua Orang Tua Peneliti yang selalu mendo'akan yang terbaik dan selalu memberikan dukungan, menyemangati setiap waktu.
16. Kepada PT. Riau Mas Bersaudara yang telah mengizinkan dan memberikan bahan untuk melakukan penelitian.
17. Kepada tim *Self Healing Concrete* yang telah membantu peneliti dalam penelitian di laboratorium kepada Bang Ibnu Fahmi, Bang Fauzaan, Bang Ilham, Bang Nanda, Bang Iswanto, Bang zul, Bang Arga, Kak Syaras, dan Kak Yovie.
18. Buat teman-teman seperjuangan angkatan 2017 terimakasih selalu berjuang bersama disetiap semester dan terimakasih untuk kebersamaannya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam skripsi ini masih banyak dijumpai kekurangan dan kelemahan. Untuk itu Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan untuk pembaca pada umumnya.

Pekanbaru, 20 Januari 2022

CINTYA RAMADHANI PUTRI
NPM : 173110009

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu.....	6
2.3 Keaslian Penelitian.....	11
BAB III.....	12
LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Beton	12
3.2 Material Pembentuk Beton.....	13
3.2.1 Semen <i>Portland</i>	13
3.2.2 Agregat.....	15
3.2.3 Air	17
3.2.4 Bahan Tambahan (<i>additive</i>)	19
3.3 <i>Self Healing Concrete</i>	21

3.3.1	Reaksi Biokimia.....	22
3.4	Pengujian Material.....	24
3.4.1	Analisa Gradasi Agregat	24
3.4.2	Berat Isi (Satuan) Agregat.....	25
3.4.3	Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Dan ... Kasar	26
3.4.4	Pemeriksaan Kadar Air Agregat Dilapangan	27
3.4.5	Pemeriksaan Kadar Lumpur	27
3.5	Perencanaan Campuran Beton	28
3.6	<i>Slump Test</i>	36
3.7	Pemadatan Beton.....	38
3.8	Perawatan Beton.....	39
3.9	Kuat Tekan Beton (f_c')	39
3.10	Kuantifikasi Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)	43
BAB IV	45
METODE PENELITIAN	45
4.1	Umum	45
4.2	Jenis Penelitian	45
4.3	Bahan Penelitian.....	45
4.4	Peralatan Penelitian	48
4.4.1	Peralatan Penelitian	48
4.5	Teknik Penelitian.....	63
4.6	Proses Pengolahan Limbah Sayur Busuk Menjadi Bakteri.....	63
4.7	Tahap Pelaksanaan Penelitian	67
4.8	Tahapan Analisis Data	72
BAB V	73
HASIL DAN PEMBAHASAN	73
5.1	Hasil Pemeriksaan Benda Uji.....	73
5.1.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	73
5.1.2	Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar	74
5.1.3	Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat	76
5.1.4	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air	77

5.1.5	Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat	78
5.1.6	Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat	78
5.2	Hasil Pemeriksaan Beton	79
5.2.1	Hasil pemeriksaan campuran beton.....	79
5.2.2	Hasil Dan Analisa Nilai <i>Slump</i>	80
5.2.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	81
5.3	Hasil Analisa <i>Self Healing</i> Pada Beton.....	87
5.3.1	Hasil Pengujian Kuantifikasi Kalsium Karbonat.....	87
5.3.2	Hasil Penglihatan Secara Visual Penutupan Pada Retakan Beton.	89
BAB VI.....		94
KESIMPULAN DAN SARAN		94
6.1	Kesimpulan	94
6.2	Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....		96

DAFTAR NOTASI

- A = Jumlah air yang dibutuhkan (ltr/m³)
- A_h = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat alami (liter/m³)
- A_k = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat batu pecah (liter/m³)
- B = Jumlah air (Kg/m³)
- BA = Berat benda uji kering permukaanjenuh (gram)
- BK = Berat benda uji kering oven (gram)
- BS = British Standard
- BT = Berat pikno + benda uji SSD + air (25°C) (gram)
- C = Jumlah agregat halus (Kg/cm³)
- Ca = Penyerapan air pada agregat halus (%)
- Ck = Kandungan air dalam agregat halus (%)
- D = Jumlah agregat kasar (Kg/cm³)
- Da = Penyerapan air pada agregat kasar (%)
- Dk = Kandungan air dalam agregat kasar (%)
- $F.A.S$ = Faktor air semen
- f_c' = Kuat tekan beton (MPa)
- $f_c'r$ = Kuat tekan beton rata – rata beton dari jumlah benda uji (MPa)
- $f_c'k$ = Kuat tekan beton karakteristik(MPa)
- K = Ketetapan Konstanta
- M = Nilai tambah margin (1 N/mm² = 1 Mpa)
- MPa = Mega Pascal (1 Mpa = 10 Kg/cm³)
- N/mm^2 = Newton/mm² (1 N/mm² = 1 Mpa)
- S = Standar deviasi (MPa)
- SSD = Koreksi kadar air (*Saturated surface dry*)
- SNI = Standar Nasional Indonesia
- $\sigma'b$ = Kuat Tekan Benda Uji Beton (kN/cm²)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi Umum Semen (Antoni & Nugraha, 2007)	15
Tabel 3.2 Kelompok Kekasaran Agregat Kasar Berdasarkan Gradasinya	16
Tabel 3.3 Tabel Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000).....	16
Tabel 3.4 Kekurangan dan Kelebihan Beton Pulih Mandiri (Self Healing Concrete) (Prasad & Lakshmi, 2017).....	24
Tabel 3.5 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar (SNI 03-2834-2000)	29
Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar untuk Indikasi Tingkat Pengendalian Mutu Beton (Mulyono, 2004).....	30
Tabel 3.7 Perkiraan Kekuatan Tekan (N/mm^2) Beton dengan Faktor Air Semen (FAS) 0,55 Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai diIndonesia (SNI 03- 2834-2000).....	32
Tabel 3.8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan (SNI 03-2834-2000).....	33
Tabel 3.9 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton (SNI 03-2834-2000)	33
Tabel 3. 10 Penetapan Nilai Slump (SNI 03-2834-2000)	37
Tabel 3.11 Beberapa Jenis Kuat Tekan Beton (Tjokrodimuljo, 1996).....	41
Tabel 3.12 Perkembangan Kuat Tekan untuk Portland Tipe I (Mulyono, 2004)	41
Tabel 4.1 Perencanaan Jumlah Beton.....	68
Tabel 5.1 Hasil Persentase Lolos Agregat Halus (Hasil Penelitian, 2021)	73
Tabel 5.2 Hasil Analisa Saringan persentase Lolos Agregat Kasar $\frac{1}{2}$ (Hasil Penelitian, 2021).....	75
Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat (Hasil Penelitian, 2021).....	76
Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus (Hasil Penelitian, 2021)	77
Tabel 5. 5 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Hasil Penelitian, 2021)	77
Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat (Hasil Penelitian, 2021)	78
Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur (Hasil Penelitian, 2021)	79
Tabel 5.8 Hasil Proporsi Campuran Beton Untuk Tiap 3 Benda Uji Kubus (Penelitian, 2021).....	79

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Nilai Slump (Hasil Penelitian, 2021)	80
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Nilai Slump (Lanjutan) (Hasil Penelitian, 2021)	81
Tabel 5.11 Hasil kuat Tekan Beton setelah perendaman 28 hari (Hasil Penelitian, 2021).....	82
Tabel 5.12 Hasil kuat Tekan Beton setelah pemulihan retakan 28 hari (Hasil Penelitian, 2021).....	84
Tabel 5.13 Perbandingan Kuat Tekan Beton Perendaman 28 Hari dan Beton 28 Hari Setelah Retakan (Hasil Penelitian, 2021).....	85
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuantifikasi Kalsium Karbonat Sebelum Retakan (Hasil Penelitian, 2021).....	87
Tabel 5.15 Hasil Uji Kuantifikasi Kalsium Karbonat setelah retakkan (Hasil Penelitian,2021).....	88



DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Asam Klorida (HCl) (Dokumentasi, 2021)	47
Gambar 4.2 Ekstrak Limbah Sayur (Dokumentasi,2021)	48
Gambar 4. 3 Saringan Gradasi (Dokumentasi,2021).....	49
Gambar 4.4 Cawan (Dokumentasi Penelitian,2021)	49
Gambar 4.5 Timbangan Neraca Ohaus Kapasitas 20kg (Dokumentasi,2021) ..	50
Gambar 4. 6 Timbangan Digital dengan kapasitas 2kg (Dokumentasi,2021).....	50
Gambar 4. 7 Timbangan Duduk Manual Kapasitas 60kg (Dokumentasi,2021) .	51
Gambar 4.8 Oven (Dokumentasi,2021).....	51
Gambar 4.9 Piknometer (Dokumentasi Penelitian, 2021).....	52
Gambar 4.10 Gelas Ukur Plastik (Dokumentasi, 2021).....	52
Gambar 4.11 Mesin Pengaduk Beton (Molen) (Dokumentasi Penelitian,2021) .	53
Gambar 4.12 Kerucut terpancung (Cone) (Dokumentasi Penelitian,2021).....	53
Gambar 4.13 Wadah Bejana Baja (Dokumentasi,2021).....	54
Gambar 4.14 Alat Uji Slump (Dokumentasi,2021).....	54
Gambar 4.15 Tongkat Penusuk Baja (Dokumentasi,2021)	55
Gambar 4.16 Talam (Dokumentasi,2021)	55
Gambar 4.17 Penggaris (Mistar) (Dokumentasi,2021)	56
Gambar 4.18 Cetakan Beton (Mold) (Dokumentasi,2021)	56
Gambar 4.19 Mesin Penggetar Beton (Vibrator) (Dokumentasi,2021).....	57
Gambar 4.20 Mesin Kuat Tekan Beton (Compressive Strength Machine) Dokumentasi,2021)	57
Gambar 4.21 Bak Perendaman Beton (Dokumentasi,2021).....	58
Gambar 4.22 Palu Godam (Dokumentasi, 2021)	58
Gambar 4.23 Kertas Koran (Dokumentasi,2021).....	59
Gambar 4.24 Gerobak Dorong (Dokumentasi,2021)	59
Gambar 4.25 Kuas dan Cawan berisi oli (Dokumentasi,2021)	60
Gambar 4.26 Sendok Semen (Dokumentasi,2021)	60
Gambar 4.27 Pengumpulan Limbah Sayuran (Dokumentasi,2021).....	63

Gambar 4.28 Membersihkan Limbah Sayuran Dari Kotoran (Dokumentasi,2021)	64
Gambar 4.29 fermentasi Limbah Sayuran (Dokumentasi,2021)	64
Gambar 4.30 Limbah Sayur Di Potong Kecil-Kecil (Dokumentasi,2021)	65
Gambar 4.31 Penghancuran Limbah Sayur Dengan Blender (Dokumentasi,2021)	65
Gambar 4.32 Penyaringan Ekstrak Limbah Sayur (Dokumentasi,2021)	66
Gambar 4.33 Ekstrak Limbah Sayur Dimasukkan Ke Dalam (Dokumentasi,2021)	66
Gambar 4.34 Bagan Alir Penelitian	71
Gambar 5.1 Grafik gradasi agregat halus (Hasil Penelitian, 2021)	74
Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar (Hasil Penelitian, 2021)	76
Gambar 5.3 Grafik Nilai slump rata-rata (Hasil Penelitian, 2021)	81
Gambar 5.4 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton umur 28 Hari (Hasil Penelitian,2021)	83
Gambar 5.5 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton 28 Hari Setelah Retakan (Hasil Penelitian, 2021)	85
Gambar 5.6 Grafik perbandingan kuat tekan beton perendaman umur 28 hari dan beton retakan (Hasil Penelitian, 2021)	86
Gambar 5.7 Kuantifikasi Kalsium Karbonat sebelum Beton Diredakkan (Hasil penelitian, 2021)	88
Gambar 5.8 Grafik Kuantifikasi Kalsium Karbonat Setelah Beton (Hasil Penelitian, 2021)	89
Gambar 5.9 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri dari Limbah Sayuran 2% (Hasil Penelitian,2021)	90
Gambar 5.10 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 4% (Hasil Penelitian, 2021)	91
Gambar 5.11 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 6% (hasil Penelitian, 2021)	92
Gambar 5.12 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 8% (Hasil Penelitian, 2021)	93

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

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

LAMPIRAN B

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

LAMPIRAN C

- C-1 Dokumentasi

LAMPIRAN D

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH EKSTRAK LIMBAH SAYURAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BETON DALAM PROSES *SELF HEALING CONCRETE* (SHC)

CINTYA RAMADHANI PUTRI

173110009

ABSTRAK

Beton merupakan bahan paling banyak digunakan untuk pembangunan infrastruktur. Tetapi munculnya celah di dalamnya tidak dapat dihindari. Jika retakan terjadi di tempat-tempat yang sulit dijangkau, maka perbaikannya akan menjadi lebih rumit. Perawatan, pemantauan, dan perbaikan yang sering juga mahal. Pembentukan retakan terjadi karena kesalahan manusia, tenaga kerja yang tidak terampil, dan kondisi cuaca. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan pada fisik beton dan menganalisa pengaruh faktor air semen 0.55 terhadap nilai kuat tekan beton pada mutu beton *self healing* dengan metode yang digunakan untuk menghitung campuran beton (*Mix Design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000.

Metode Penelitian ini menggunakan metode *Self healing Concrete* atau beton pulih mandiri. Penelitian ini menggunakan sampel kubus berjumlah 27 sampel. Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan bakteri dari ekstrak limbah sayuran yang telah difermentasikan. Persentase variasi yang digunakan yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Hasil dibuat dalam bentuk nilai kuat tekan setiap variasinya dan melampirkan dokumentasi pengamatan retakan.

Hasil kuat tekan beton pada perendaman umur 28 hari pada penelitian *self healing concrete* ini variasi 0% dengan nilai kuat tekan 33,45 MPa. Untuk variasi 2% bakteri dengan nilai kuat tekan 27,62 Mpa. Untuk variasi 4% bakteri dengan nilai kuat tekan 25,44 MPa. Untuk variasi 6% bakteri dengan nilai kuat tekan 20,06 MPa. Untuk variasi 8% bakteri dengan nilai kuat tekan 18,99 MPa. Kuat tekan beton setelah pemulihan retakan 28 hari dengan variasi 2% bakteri nilai kuat tekan 28,14 MPa. Untuk variasi 4% bakteri nilai kuat tekan 28,38 MPa. Untuk variasi 6% Bakteri nilai kuat tekan 27,29 MPa. Untuk variasi 8% bakteri nilai kuat tekan 19,59 MPa. Nilai kuat tekan beton pada perendaman 28 hari mengalami penurunan di bandingkan dengan beton variasi 0% bakteri dan pada beton setelah pemulihan retakan 28 hari mengalami penurunan kuat tekan pada persentase variasi 2%, 4%, 6%, 8%. Namun tetapi pada perbandingan nilai kuat tekan beton setelah pemulihan retakan 28 hari mengalami kenaikan dibandingkan dengan beton perendaman umur 28 hari dengan variasi 2% nilai kenaikannya 1,883%, untuk variasi 4% nilai kenaikannya 11,557%, untuk variasi 6% nilai kenaikannya 36,042%, untuk variasi 8% nilai kenaikannya 3,160%.

Kata Kunci : Beton, *Self Healing Concrete*, Bakteri, Ekstrak Limbah Sayuran, Kuat Tekan, Faktor Air Semen.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VEGETABLE WASTE EXTRACT ON THE COMPRESSIVE VALUE OF CONCRETE IN SELF HEALING CONCRETE (SHC) PROCESS

CINTYA RAMADHANI PUTRI

173110009

ABSTRACT

Concrete is the most widely used material for infrastructure development. But the appearance of a gap in it is unavoidable. If cracks occur in hard-to-reach places, then their repair will become more complicated. Frequent maintenance, monitoring, and repairs are also expensive. Crack formation occurs due to human error, unskilled labor, and weather conditions. The purpose of this study was to determine the physical changes in concrete and to analyze the effect of water cement factor 0.55 on the concrete strength value on self-healing concrete quality with the method used to calculate the concrete mix (Mix Design) based on SNI 03-2834-2000.

Methods This research uses the method of self-healing concrete or self-healing concrete. This study used a cube sample of 27 samples. This method is done by adding bacteria from vegetable waste extract. The percentages of variation used are 0%, 2%, 4%, 6%, and 8%. The results are made in the form of compressive strength values for each variation and attach documentation of crack observations.

The results of the compressive strength of concrete at the age of 28 days of immersion in this self-healing concrete study varied 0% with a compressive strength value of 33.45 MPa. For a variation of 2% bacteria with a compressive strength value of 27.62 Mpa. For a variation of 4% bacteria with a compressive strength value of 25.44 MPa. For a variation of 6% bacteria with a compressive strength value of 20.06 MPa. For a variation of 8% bacteria with a compressive strength value of 18.99 MPa. The compressive strength of concrete after crack recovery is 28 days with a variation of 2% bacteria, the compressive strength value is 28.14 MPa. For the variation of 4% bacteria the compressive strength value is 28.38 MPa. For the variation of 6% Bacteria the compressive strength value is 27.29 MPa. For the variation of 8% bacteria the compressive strength value is 19.59 MPa. The value of the compressive strength of concrete at 28 days of immersion decreased compared to the 0% bacterial variation of concrete and the concrete after 28 days of crack recovery experienced a decrease in compressive strength at the percentage variations of 2%, 4%, 6%,8%. However, in the comparison of the compressive strength of concrete after 28 days of crack recovery, there was an increase compared to 28 days of immersion concrete with a 2% variation the increase value was 1.883%, for a 4% variation the increase value was 11.557%, for a 6% variation the increase was 36.042%, for variation of 8% the value of the increase is 3.160%.

Keywords : Concrete, Self Healing Concrete, Bacteria, Vegetable Waste Extract, Compressive Strength, Water Cement Factor.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan paling banyak digunakan untuk pembangunan pada konstruksi. tetapi munculnya celah-celah retakan di dalamnya tidak dapat dihindari. Umur awal beton merupakan periode yang sangat penting, pembentukan retakan primer terjadi selama pengawetan karena panas dibebaskan yang merupakan hasil dari panas hidrasi. Untuk menjaga suhu seragam di seluruh area, air disemprotkan ke beton untuk mempertahankan kelembapan. Batang baja tulangan digunakan dalam struktur untuk memberikan kekuatan tetapi adanya retakan menyebabkan korosi. Air merembes melalui retakan ini pada musim panas, sehingga memperlebar retakan yang ada. dan jika celah retakan terjadi di tempat-tempat yang sulit dijangkau maka perbaikannya akan menjadi lebih rumit. Perawatan, pemantauan, dan perbaikan yang juga sering mahal. Singkatnya, dari sejumlah tindakan yang diambil, pembentukan retakan terjadi karena kesalahan manusia, tenaga kerja yang tidak terampil, kondisi cuaca, dan lain-lain. Retakan mikro tidak dapat menghambat integritas keseluruhan struktur seperti itu tetapi pelebaran dan paparan bahan kimia dapat berdampak buruk. Mempengaruhi pada kekuatan dan daya tahan beton. Keretakan sering terjadi pada beton karena kekuatan tarik material yang rendah. Pemulihan retak sangat diperlukan karena zat kimia lebih mudah masuk ke beton melalui retakan dari pada melalui matriks beton. Akan lebih baik jika retakan beton dapat dipulihkan secara mandiri dengan melepaskan bahan pemulihan di dalam matriks ketika retakan muncul (Wang et al., 2010). Memperbaiki retakan mikro tidak hanya memakan waktu dan juga biaya yang mahal, akan tetapi jika dibiarkan tanpa pengawasan, dapat mengakibatkan runtuhnya seluruh struktur (Ghodke & Mote, 2018).

Metode penelitian ini menggunakan *Microbiologically Induced Calcite* atau *Calcium Carbonate (CaCO₃) Precipitation (MICCP)* berdasarkan konsep biomineralisasi, dengan menambahkan bakteri pada beton, menghasilkan kristal kalsium karbonat yang menghalangi retakan dan pada pori mikro beton. Oleh karena itu pengendapan kalsium karbonat yang diinduksi oleh bakteri telah diusulkan sebagai alternatif dan teknik perbaikan retak yang ramah lingkungan oleh banyak peneliti (Pandit et al., 2018) Peneliti menggunakan Ekstrak limbah sayur yang didominasi oleh sawi dan kubis untuk menghasilkan ekstrak bakteri. dikarenakan dalam limbah sayur mengandung mikroorganisme yang mengendapkan kalsit atau kalsium karbonat (CaCO₃) di sekitar setiap partikel dengan melalui beberapa reaksi kimia. dengan demikian metode ini ekonomis dan pada saat yang sama berdampak rendah terhadap lingkungan. Bakteri dan jamur paling banyak ditemukan pada sampah karena sampah mulai membusuk. Pembentukan kalsit pada butir ini akan meningkatkan kekakuan dan kohesivitas antar partikel. Ketika retakan muncul di beton, air masuk melalui spora bakteri memulai aktivitas mikroba. Dalam proses pengendapan kalsit, nutrisi terlarut diubah menjadi CaCO₃ yang tidak larut, yang mengeras di permukaan retakan dan menutup retakan. Penggunaan serat yang berbeda dalam *self healing concrete* juga meningkatkan kekuatan tekan, tarik dan geser.

Degradasi bakteri urea secara lokal meningkatkan pH dan mendorong pengendapan mikroba kalsium karbonat di lingkungan yang kaya kalsium. Melalui proses ini, sel bakteri dilapisi dengan lapisan kalsium karbonat (Dick et al., 2006) Pengendapan kalsium karbonat mikroba dalam mortar semen / beton merupakan mekanisme yang kompleks. Berdasarkan penelitian berkelanjutan, sejumlah inovasi telah dilakukan dari waktu ke waktu untuk meningkatkan kinerja kekuatan dan daya tahan (Mehta, 1999) mortar / beton semen. Signifikansi yang melimpah dari presipitasi kalsium karbonat yang diinduksi secara mikroba (*MICCP*) yang disebut karbonatogenesis telah menempatkan banyak kesadaran dari sudut pandang dasar dan terapan di bidang teknik sipil (Rodriguez-Navarro et al., 2007). Presipitasi CaCO₃ merupakan fungsi dari kekuatan ionik dan pH dalam medium.

Peningkatan kuat tekan mortar disebabkan oleh interaksi yang kompleks antara bakteri dan matriks semen (Stooks-Fischer et al., 1999).

Pada umumnya jika berhubungan dengan syarat, tuntutan mutu dan keawetan beton yang tinggi, selain kualitas agregat kasar dan halus sebagai material penyusun beton, ada beberapa faktor lain yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan adalah kandungan air dalam campuran beton. Untuk menentukan jumlah air dalam suatu campuran beton dikenal suatu nilai yang disebut nilai Faktor Air Semen (FAS). Faktor air semen atau *water to cementious ratio* adalah rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen pada campuran beton.

Semakin tinggi nilai Faktor air semen, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai Faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti kekuatan beton semakin tinggi. Jika Faktor air semen semakin rendah, maka beton akan semakin sulit untuk dipadatkan. dengan demikian, ada suatu nilai Faktor air semen yang optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan beton yang maksimal. Menurut (Tjokrodijuljo, 2007) umumnya nilai Faktor air semen yang diberikan dalam praktek pembuatan beton min.0,4 dan max.0,65. Peneliti menggunakan variasi nilai faktor air semen 0.55 untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan, pemadatan dan seberapa besar kuat tekan yang dihasilkan ketika menggunakan variasi persentase 0%, 2%, 4%, 6%, 8% ekstrak limbah sayur.

Berdasarkan latar belakang diatas maka perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan ekstrak limbah sayur yang telah diperam selama seminggu sebagai bahan pengganti sebagian semen. Hal ini dikarenakan ekstrak limbah sayur yang telah dicampur urea dan kalsium klorida (CaCl_2) telah menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3) pada proses pencampuran pengaruh faktor air semen terhadap *self healing concrete*. Bakteri dari ekstrak limbah sayuran ini di harapkan akan mampu untuk memulihkan dan menutup retakan pada beton.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dengan nilai faktor air semen 0.55 dari setiap persentase bakteri 0%,2%,4%,6%,8% yang direncanakan pada mutu beton normal?
2. Bagaimana hasil beton yang telah di tambahkan ekstrak limbah sayuran saat mengalami kerusakan/Keretakan setelah didiamkan selama 28 hari?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian berikut adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan ekstrak limbah sayuran dengan nilai faktor air semen 0.55 dari setiap persentase bakteri 0%,2%,4%,6%,8% yang direncanakan pada mutu beton normal?
2. Mengetahui hasil beton yang telah di tambahkan ekstrak limbah sayuran saat mengalami kerusakan/Keretakan setelah didiamkan selama 28 hari?

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk kemajuan bidang konstruksi, adapun manfaat penelitian ini antara lain adalah:

1. Dapat mengetahui dan menambah wawasan pengaruh ekstrak limbah sayuran terhadap nilai faktor air semen 0.55 dalam proses *self healing concrete*
2. Sebagai pemicu perkembangan inovasi terbaru terutama pada *engineer* bidang teknik sipil untuk penerapan dilapangan.
3. Di harapkan dapat menghasilkan beton berkualitas dengan daya dukung tinggi serta berumur panjang dan lebih ekonomis dalam proses perawatan beton, dan mengurangi dampaknya terhadap lingkungan.
4. Dapat digunakan sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya

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. *Self healing concrete* dibuat dengan menambahkan bakteri pada campuran beton atau disebut dengan beton pulih mandiri
2. Peneliti hanya menggunakan campuran ekstrak limbah sayuran
3. Mutu beton F_c ' 32 Mpa setara dengan K-385
4. Nilai faktor air semen yang digunakan dalam penelitian ini 0,55
5. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari agregat lokal PT. Riau Mas Bersaudara Rimbo Panjang Kampar
6. Semen yang digunakan adalah *PCC (Portland Composite Cement)* Tipe I
7. Benda uji dibuat bentuk kubus dengan ukuran (150x150x150 mm)
8. Peneliti tidak menganalisa komposisi dan reaksi kimia dari masing-masing bahan *additive* tersebut.
9. Jenis limbah sayur yang digunakan dalam penelitian ini didominasi dengan kubis dan sawi.
10. Kadar 0% untuk beton tanpa campuran. Untuk persentase ekstrak limbah sayur digunakan 2%,4%,6% dan 8% sebagai pengganti sebagian semen.
11. Jumlah benda uji beton kubus berjumlah 27 sampel. Pada variasi 0% tanpa campuran sebanyak 3 sampel, dan pada masing-masing variasi 2%, 4%, 6%, 8% sebanyak 6 sampel.
12. Pengujian kuat tekan beton dilakukan perendaman umur 28 hari pada beton normal dan beton variasi ekstrak limbah sayuran.
13. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah pemulihan retakan selama 28 hari
14. Sampel benda uji *self healing concrete* dilakukan 2 kali pengadukan pada masing-masing persentase bakteri. Pada variasi 2%, 4%,6%,8% adukan pertama untuk di uji kuat tekan. Pada adukan kedua untuk uji pemulihan retakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan ringkasan dari penelitian sebelumnya tentang Suatu topik, yang bersumber dari artikel ilmiah, buku, dan sumber-sumber lain yang terkait dengan penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka memiliki Tujuan sebagai informasi tentang hasil-hasil dari penelitian sebelumnya. Berdasarkan tujuan tersebut, maka tinjauan pustaka dapat dijadikan sebagai bahan referensi maupun tolak ukur yang berfungsi untuk meninjau keaslian penelitian yang dilakukan. Penelitian ini menggunakan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah diterbitkan baik dari buku-buku, tugas akhir maupun artikel hasil penelitian terdahulu seperti yang telah dilakukan oleh (Amrulloh et al., 2021), (Pertiwi & Ananda, 2020), (Doloksaribu & Nababan, 2018), (Elisa et al., 2018), (Herlambang & Saraswati, 2017), (Pangeran & Karolina, 2016), (Arizki et al., 2015)

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

(Amrulloh et al., 2021) melakukan penelitian tentang “ Pengaruh Limbah Abu Alumunium Sebagai Subtitusi Agregat Halus Dengan Faktor Air Semen Yang Berbeda Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan Dan Absorbsi”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah abu alumunium untuk subtitusi agregat halus dengan variasi faktor air semen 0,40, 0,50 dan 0,60 ditinjau dari kuat tekan beton, daya absorpsi dan biaya produksi pembuatan beton ringan dengan subtitusi agregat halus menggunakan limbah abu alumunium dibanding dengan beton ringan tanpa campuran. Metode yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan abu alumunium bahan pengganti agregat halus pada beton. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil mengenai

penggunaan presentase campuran dengan kuat tekan rata-rata sebesar 3,83 MPa diumur beton 28 hari pada faktor air semen 0,4. Sedangkan untuk faktor air semen 0,5 dengan kuat tekan rata-rata sebesar 3,68 MPa dan untuk factor air semen 0,6 dengan kuat tekan rata-rata sebesar 1,51 MPa. Dari data tersebut kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan faktor air semen yang lebih besar. Nilai kuat tekan beton tidak ada yang mencapai target kuat tekan 17,24 MPa. Pengujian absorpsi beton didapat rata-rata sebesar 6,5% pada faktor air semen 0,4. Sedangkan untuk faktor air semen 0,5 dengan absorpsi rata-rata sebesar 14,5% dan untuk faktor air semen 0,6 dengan absorpsi rata-rata sebesar 19,0%. Dari data tersebut nilai absorpsi beton semakin bertambah seiring dengan faktor air semen yang lebih besar. Nilai absorpsi beton terkecil dengan nilai 6,5 %. Biaya yang diperlukan untuk 1m³ beton dengan penggunaan 10% abu limbah alumunium yang disubstitusikan dengan pasir/bahan pengganti terhadap pasir pada faktor air semen 0,4 sebesar Rp. 479.973,26 Harga beton ringan tanpa campuran abu limbah alumunium untuk 1m³ sebesar Rp. 502.903,30-. Perhitungan diatas berdasarkan Harga Satuan Pekerjaan tahun 2019. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu limbah alumunium sebagai substitusi pasir mengurangi biaya (lebih murah) Rp.22.930,05-. Sehingga dapat diaplikasikan untuk konstruksi non struktural.

(Pertiwi & Ananda, 2020) telah melakukan penelitian tentang “Pengaruh Faktor Air Semen Pada Beton yang Menggunakan Fly Ash dan *Copper Slag*”. Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh pengaruh nilai faktor air semen dari berbagai variasi campuran terhadap kuat tekan beton pada umur 56 hari. Metode ini menggunakan limbah *copper slag* sebagai pengganti sebagian pasir dengan fly ash pengganti sebagian semen dengan mutu beton rencana 42 Mpa, mendapatkan hasil kuat tekan beton berbagai umur dan dapat digunakan sebagai perbandingan dan mendapatkan hasil perbandingan dari kuat tekan beton normal dengan beton variasi limbah *copper slag* dengan limbah fly ash. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari dengan menggunakan limbah *copper slag* sebagai pengganti sebagian pasir dengan limbah fly ash didapatkan hasil kuat tekan betondiatas kuat tekan beton rencana 42 MPa. Variasi beton normal 42 MPa, variasi

40% *copper* + 0% fly ash 46.8 MPa, variasi 40% *copper* + 5% fly ash 48.31 MPa, variasi 40% *copper* + 7.5% fly ash 51.71 MPa, variasi 40% *copper* + 10% fly ash 58.13 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada variasi campuran ini faktor air semen kurang berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, yang berpengaruh adalah penggunaan fly ash, karena fly ash dapat berfungsi sebagai filler pada beton. Terjadi peningkatan beton berbagai umur. Pada variasi beton normal, 40% *copper slag*+0% fly ash, dan 40% *copper slag*+5% fly ash peningkatan umur 14 ke 28 hari terjadi kenaikan yang signifikan, namun pada umur 56 hari kenaikan kuat tekan tidak begitu besar. Namun pada variasi 40% *copper slag*+7.5% fly ash, dan 40% *copper slag*+10% fly ash mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Dari hasil penelitian didapatkan hasil perbandingan antara kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton yang menggunakan variasi limbah *copper slag* dengan limbah fly ash. Kuat tekan mengalami peningkatan berturut-turut pada variasi 40% *copper* + 0% fly ash, variasi 40% *copper* + 5% fly ash, variasi 40% *copper* + 7.5% fly ash, variasi 40% *copper* + 10% fly ash sebesar 9.499%, 13.032%, 20.987.5%, 36.008 % terhadap beton normal.

(Doloksaribu & Nababan, 2018) telah melakukan penelitian tentang “Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Material Pasir lokal Merauke Dan Kerikil Yang DiDatangkan”. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh faktor air terhadap nilai kuat tekan beton dengan menggunakan pasir lokal Merauke dan kerikil yang didatangkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ACI (*American Concrete Institute*). Nilai kuat tekan beton yang ditargetkan adalah sebesar 20 MPa. Hasil Penelitian ini menunjukkan Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa penurunan nilai kuat tekan beton menggunakan pasir lokal Merauke terjadi seiring dengan meningkatnya nilai faktor air semen. Penurunan yang cukup besar terjadi pada nilai faktor air semen 0,5 sampai dengan 0,8 dan dari faktor air semen 0,8 penurunannya mulai menurun namun nilai kuat tekan betonnya sangat kecil sehingga tidak dapat digunakan. Gradasi pasir lokal Merauke tergolong dalam pasir halus (zona III) dan gradasi pasir yang didatangkan tergolong dalam pasir agak kasar (zona II).

(Elisa et al., 2018) telah melakukan penelitian tentang Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri *Bacillus Subtilis* Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanik beton yaitu kuat tekan dan kuat lentur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pencampuran bakteri yang digunakan dalam campuran beton, menggunakan isolat *bacillus subtilis* yang telah dilakukan pengenceran dengan konsentrasi 105 cells/ml dan pengujian terdiri dari dua perlakuan yaitu diberikan beban hancur dan beban retak awal. Hasil Penelitian ini Menunjukkan bahwa Beton normal dibandingkan dengan beton yang ditambahkan bakteri sebanyak 25 ml dengan konsentrasi 105 cells/ml. Beton diuji dengan pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Pengujian beton terdiri dari dua perlakuan, yaitu pengujian hingga beban retak awal dan beban retak hancur. Pengujian retak hancur berupa pengujian kuat tekan dan kuat lentur yang diberi beban sampai beton mengalami hancur atau patah. Pengujian ini dilakukan pada umur perawatan 28 dan 56 hari. Sedangkan pengujian dengan beban retak awal berupa pengujian yang diberi beban sampai beton menerima beban pada umur 28 hari. Beton bakteri memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi 15,64% pada umur perawatan 28 hari dan 14,71% pada umur perawatan 56 hari. Sedangkan kuat lentur beton bakteri meningkat 1,10% pada umur perawatan 28 hari dan 6,96% pada umur perawatan 56 hari. Beton hingga retak awal yang diuji pada umur 28 hari diberi beban retak awal beton. Setelah dilakukan perawatan kembali dan diuji hingga retak hancur, mutu beton mengalami peningkatan pada umur 56 hari. Peningkatan beton bakteri lebih tinggi 17,15% kuat tekan dan 3,18% kuat lentur terhadap beton normal. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri yang ada didalam beton mulai bekerja sehingga menutup keretakan. Keretakan akan mengisi bagian yang retak sehingga beton lebih mampu menerima beban yang lebih besar dibandingkan beton normal.

(Pangeran & Karolina, 2016) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Mencampurkan Bakteri *Basilus Subtilis* Yang Dikapsulisasi Dengan Kalsium Laktat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekuatan kuat tekan pada beton yang sudah dicampurkan bakteri *Bacilus Subtilis* dan reaksi bakteri tersebut terhadap keretakan yang terjadi dan untuk

mengetahui takaran komposisi campuran bakteri dan beton yang sesuai untuk dapat mempertahankan mutu dan kualitasnya. Metode yang digunakan penelitian ini dengan mencampurkan bakteri *Bacillus subtilis*, natrium dan kalsium laktat sebagai zat *additive* nya, dengan menggunakan proses kapsulisasi sebagai wadah media bakteri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan kuat tekan pada Beton+Na (10gr)+Ca(40gr) yang melebihi mutu rencana awal dan hasil pengujian benda uji beton normal (*plain concrete*) sebesar 10,21%. Hasil penanaman bakteri menggunakan Natrium agar sebagai media pertumbuhan bakteri, menunjukkan perkembangan dengan pembesaran *Scanning Electron Microscope* 40000x. Sehingga diperkirakan 1m^3 Beton diperlukan 15 kg bakteri untuk dapat dengan sempurna menutupi keretakan berupa *micro cracks*. Pada penelitian ini penambahan Kalsium Laktat diatas 50gr/silinder dapat menurunkan mutu beton sebesar 30,12%. Perbandingan *cracking* pada beton normal dan beton bakteri dapat diketahui dengan hasil *Scanning Electron Microscope* pada pembesaran 40000x, *Cracking* pada beton berbakteri menutupi keretakan, sedangkan untuk beton normal tidak.

(Herlambang & Saraswati, 2017) telah melakukan penelitian tentang *Bio Concrete: Self-Healing Concrete*, Aplikasi Mikroorganisme Sebagai Solusi Pemeliharaan Infrastruktur Rendah Biaya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui penggunaan *self-healing* juga dapat mengurangi kebutuhan semen pada proses konstruksi beton dan untuk mengetahui aplikasi mikroorganisme pada teknologi *bio concrete* dan mekanismenya pada proses *self-healing* sehingga diperoleh pemahaman tentang solusi pemeliharaan infrastruktur rendah biaya. Metode yang digunakan adalah menjadi dua metode berdasar mekanisme perbaikannya, dengan *Autogenous healing* dan *engineered healing*. *Engineered self-healing* menggunakan aplikasi bakteri umumnya menggunakan teknik enkapsulasi. *Autogenous healing* merupakan proses yang terjadi didalam beton akibat reaksi kimiawi dari dalam matriks beton. Hasil penelitian ini *self-healing* juga dapat mengurangi kebutuhan semen pada proses konstruksi beton. Pada proses pembuatan beton biasa, biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 2.802.725/ m^3 , sementara pada beton *self-healing* hanya menghabiskan biaya Rp 2.359.295/ m^3 . Hal ini menunjukkan, penggunaan

self-healing concrete dapat menurunkan biaya sebesar Rp.442.725/m³, dikarenakan tidak perlu melakukan perbaikan pada beton jika terjadi keretakan serta menurunkan penggunaan semen pada konstruksi matriks beton (Rochani et al., 2016).

(Arizki et al., 2015) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan proporsi campuran yang memberikan kekuatan tekan optimum serta mempelajari bagaimana pengaruh variasi faktor air semen (FAS) dan jumlah semen terhadap kuat tekan beton. Benda uji yang dibuat adalah kubus yang berukuran 150 x 150 x 150 mm dengan variasi faktor air semen (FAS) 0,4 0,5 dan 0,6 sedang proporsi jumlah semen bervariasi dari 350kg, 400kg, 450kg, dan 500kg. Benda uji kubus diuji dengan beban tekan pada saat berumur 28 hari. Metode penelitian yang digunakan adalah metode klasik yang biasa digunakan, yaitu dengan membuat perbandingan komposisi campuran 1:2:3. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa faktor air semen (FAS) optimum berada pada FAS 0,4 dan dengan jumlah semen 350kg, yaitu sebesar 37,05MPa. Kuat tekan tersebut memenuhi persyaratan beton mutu normal dengan nilai kuat tekan kurang dari 42MPa pada umur 28 hari.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini menggunakan ekstrak limbah sayur sebagai pengganti sebagian semen. Dengan variasi ekstrak 0%,2%,4%,6%,8% menggantikan sebagian berat semen pada campuran beton. Ekstrak limbah sayur yang digunakan merupakan limbah sayur pasar yang tidak layak dijual, dan agregat yang digunakan dari PT. Riau Mas Bersaudara di Rimbo Panjang Kampar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Teknik Sipil Universitas Islam Riau-Pekanbaru.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang masih banyak digunakan pada bangunan di Indonesia. Jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, material beton memiliki keunggulan teknis yaitu memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan pengerjaannya (*workability*). Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan salah satu yang cukup signifikan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga mudah retak sebelum mencapai kekuatan batasnya, kekurangan lainnya seperti bentuk yang telah dibuat sulit diubah serta keretakan pada beton.

Retak pada beton bersifat progresif, sehingga potensi keretakannya harus dicegah secara dini. Kecenderungan beton untuk retak ini dapat mengurangi kinerja pada beton. Jika keretakan pada beton terjadi secara terus-menerus, hal ini tentunya akan mempengaruhi kekuatan beton yaitu akan mereduksi kekuatan dari beton tersebut serta biaya pemeliharaan dari struktur bangunan yang menggunakan beton sebagai bahan konstruksinya. Salah satu cara untuk mencegah keretakan beton secara dini berdasarkan kajian literatur adalah dengan memberikan bakteri pada campuran beton. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikaji sifat fisik beton yang dapat memperbaiki keretakan pada dirinya sendiri yang disebut dengan Beton Pulih Mandiri (*Self-Healing Concrete*) dengan cara memanfaatkan ekstrak limbah sayuran pada komposisi adukan beton.

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dispohusodo, 1993).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi sifat beton adalah sebagai berikut (Mulyono, 2003) :

1. Kualitas semen (apabila digunakan untuk konstruksi beton bertulang pada umumnya dipakai jenis semen yang memenuhi syarat)
2. Proporsi semen terhadap campuran
3. Kekuatan dan kebersihan agregat
4. Interaksi antara pasta semen dengan agregat
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
6. Penempatan yang benar, penyelesaian, dan pepadatan beton
7. Perawatan beton

Adapun kelemahan beton adalah sebagai berikut (Mulyono, 2003) :

1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
3. Mempunyai bobot yang berat
4. Daya pantul suara yang besar

Sedangkan kelebihan beton ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
2. Mampu memikul beban yang berat
3. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
4. Biaya pemeliharaan yang kecil

3.2 Material Pembentuk Beton

3.2.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang mana terdiri dari kalsium silikat hidrolis, umumnya mengandung satu atau lebih kalsium sulfat sebagai bahan tambahan dan digiling dengan bahan utamanya (International, 1950).

Semen *Portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi umumnya adalah kalsium dan aluminium silikat. Bahan utama pembuatan semen Portland adalah kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya,

terkadang ditambahkan oksidasi besi, sedangkan gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen (Mulyono, 2004).

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar 11 (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi (Tjokrodimuljo, 1995) Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen portland menjadi lima jenis (SKSNI T-15-1991-03) yaitu :

1. Tipe I, semen *portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.
2. Tipe II, semen *portland* modifikasi yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal tinggi dalam fase permulaan setelah peningkatan terjadi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
4. Tipe IV, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah, yang dipakai untuk kondisi 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. Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, dan oksida besi. Adapun bahan penyusun semen dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Umum Semen (Antoni & Nugraha, 2007)

Oksida Porsen	Nama Umum	%Berat
CaO	Kapur	63
SiO ₂	Silika	22
Al ₂ O ₃	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	Ferrit Oksida	2,5
MgO	Magnesia	2,6
K ₂ O	Alkalis	0,6
Na ₂ O	Disodium Oksida	0,3
SO ₂	Sulfur Dioksida	2,0

3.2.2 Agregat

Berdasarkan (SKSNI T-15-1991-03) agregat adalah material granular seperti pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi dipakai bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolis. Agregat beton dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4,75 mm, sedangkan agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm (SNI 2943:2011).

a. Agregat Kasar

Menurut (Nasional, 2002), agregat adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No.4 (Spesifikasi dari AASHTO, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, yang juga digunakan oleh Bina Marga). Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang diadopsi di Indonesia melalui (Indonesia & Nasional, 2000) (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal), memberikan syarat gradasi untuk kerikil, yang ditabelkan sebagai berikut,

Tabel 3.2 Kelompok Kekasaran Agregat Kasar Berdasarkan Gradasinya
(SNI 03-2834-2000)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95 – 100	100	-
19	35 – 70	95 – 100	100
9,6	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

b. Agregat Halus

Menurut , agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Menurut peraturan di Inggris (*British Standard*) yang diadopsi di Indonesia melalui (Indonesia & Nasional, 2000) (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal), memberikan syarat gradasi untuk pasir, dimana kekasaran pasir di bagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yang ditabelkan sebagai berikut,

Tabel 3.3 Tabel Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000)

Persentase Lolos				
Lubang	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan :

Daerah agregat halus I	: Pasir kasar
Daerah agregat halus II	: Pasir agak kasar
Daerah agregat halus III	: Pasir agak halus
Daerah agregat halus IV	: Pasir halus

Menurut (Tjokrodinuljo, 1992) pasir alam dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu :

1. Pasir galian

Pasir golongan ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam walaupun biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci terlebih dahulu.

2. Pasir sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus dan bulat–bulat akibat proses gesekan. Daya lekatan antar butiran agak kurang karena bentuk butiran yang bulat. Pada sungai tertentu yang dekat dengan hutan kadang–kadang banyaknya mengandung humus.

3. Pasir Pantai

Pasir pantai adalah pasir yang diambil dari tepian pantai, bentuk butirannya halus dan bulat akibat gesekan dengan sesamanya. Pasir ini merupakan pasir yang jelek karena mengandung banyak garam. Garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila dipakai pada bangunan. akan tetapi pasir pantai dapat digunakan pada campuran beton dengan perlakuan khusus, yaitu dengan cara di cuci sehingga kandungan garamnya berkurang atau hilang.

3.2.3 Air

Air di perlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai

campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan (Nawy, 1990)

Penambahan air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Air yang tidak memenuhi syarat mutu, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling. Menurut *SNI 03-6861.1-2002* persyaratan air untuk campuran beton adalah:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual,
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter,
3. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik, dan lain-lain),
4. Kandungan klorida (Cl) < 0.50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃,
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%, dan
6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas air mengandung klorida lebih dari 0.05 gram/liter.

Untuk air yang digunakan sebagai perawatan beton, dapat digunakan air yang digunakan pada saat pengadukan. Namun air tersebut adalah air yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan agar permukaan beton tetap sedap dipandang.

3.2.4 Bahan Tambahan (*additive*)

Bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Pemberian bahan tambah pada adukan beton bertujuan untuk memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan (Tjokrodinuljo, 2007)

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi, (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah (*admixture*) ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan (Mulyono, 2004)

Bahan tambah kimia biasanya lebih banyak berfungsi untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan pekerjaan karena dapat memperbaiki kinerja pelaksanaan. Sedangkan bahan tambah *additive* merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan, sehingga bahan *additive* lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatan (Umum, 1991)

a. Bahan tambah mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton, sehingga bahan tambah mineral cenderung bersifat penyemenan. Bahan tambah mineral terdiri dari beberapa macam (Mulyono, 2004) diantaranya:

1. Abu terbang batu bara (*fly ash*) adalah butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara.
2. *Slag* adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian di dinginkan, misalkan dengan mencelupkan kedalam air.
3. *Silica fume* adalah material *pozzoland* yang halus, dimana komposisi *silica* lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi *silicon*

atau alloy besi *silicon* (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*).

4. Penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*) digunakan untuk memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat. Contoh bahan ini adalah kapur hidrolis, semen *slag*, *fly ash*, dan *pozzoland* yang sudah menjadi kapur atau mentah.
- b. Bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*)
- Bahan tambah kimia yaitu bahan tambahan pada campuran beton untuk mengubah beberapa sifat beton. Bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe (Mulyono, 2004) :
1. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)
adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan.
 2. Tipe B (*Retarding Admixtures*)
adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
 3. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)
adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton.
 4. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)
adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
 5. Tipe E (*Water Reducing and Acceleratig Admixtures*)
adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan dan juga untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton.
 6. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah diterapkan.

7. Tipe G (*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*)

adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.

3.3 *Self Healing Concrete*

Self healing concrete (Beton Pulih Mandiri) salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi kelemahan dari suatu beton dengan mencegah keretakan beton. Inovasi ini memanfaatkan bakteri pada komposisi campuran beton. Beton akan mendapat kemampuan regenerasi atau dapat pulih kembali dari keretakan yang terjadi. Dan cara ini juga akan meningkatkan kuat tekan yang dihasilkan sehingga dapat mencegah keretakan yang mungkin terjadi karena mikroba tersebut akan menutup pori-pori yang ada di dalam beton dengan zat kapur sehingga batuan menjadi lebih kuat dan padat. Beton juga dipastikan akan bertahan lebih lama karena spora bakteri dapat hidup lebih dari 200 tahun pada beton. bakteri akan terus berkecambah dan tumbuh ketika terjadi kontak dengan air.

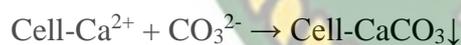
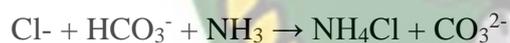
Bakteri yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari limbah sayur pasar yang sudah tidak layak dijual kemudian dihancurkan untuk diambil ekstraknya untuk mendapatkan bakteri sehingga dapat digunakan dalam proses *self healing* bila ditambahkan kedalam campuran beton. Cara kerja *self healing concrete* yaitu bakteri mampu mengubah nutrisi organik sehingga terjadi pengendapan kalsium karbonat. Pengendapan kalsium karbonat adalah salah satu item penyembuhan. Ini merupakan prosedur yang menarik di mana retakan dan retakan diperbaiki menggunakan pengendapan kalsit atau kalsium karbonat (CaCO_3) yang dipicu secara mikrobiologis Pada saat terjadi retak dan dapat menutupi kembali celah-celah keretakan pada beton. Bakteri akan mengubah kalsium laktat menjadi

batu kapur, yaitu zat utama pembentuk semen sehingga keretakan dapat pulih. Bakteri tersebut akan aktif jika terkena air pada retakan.

3.3.1 Reaksi Biokimia

Bio-mineralisasi dicirikan sebagai pengendapan yang diinduksi secara biologis di mana suatu bentuk kehidupan membuat kondisi skala yang lebih kecil di dekatnya dengan kondisi yang memungkinkan pengendapan zat ekstraseluler yang ideal dari tahap mineral (Prasad & Lakshmi, 2017)

Kimia CaCO_3 . presipitasi ($\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$) digabungkan dengan prosedur organik, keduanya yang sering terjadi secara bersamaan atau berurutan. Pengendapan kalsium karbonat (*MICCP*) yang didorong secara mikrobiologis ini melibatkan perkembangan respons biokimia yang kompleks. Sebagai fitur metabolisme, *B. pasteurii* menghasilkan *urease*, yang mengkatalisis urea untuk membuat CO_2 dan amonia, yang menyebabkan perluasan pH di sekitarnya di mana partikel Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dipercepat sebagai CaCO_3 . “*REAKSI BIOKIMIA*” yang mungkin terjadi dalam media urea- CaCl_2 untuk mendorong CaCO_3 pada permukaan sel dapat diringkas sebagai berikut :



Self-healing concrete dapat dibedakan menjadi dua, berdasarkan mekanisme perbaikannya, yaitu *autogenous self-healing* dan *engineered self-healing*. *Engineered self-healing* menggunakan aplikasi bakteri umumnya menggunakan teknik enkapsulasi. Hal ini berfungsi untuk melindungi bakteri dari kerusakan saat proses pencampuran dengan beton serta untuk menghindari tingkat basa yang tinggi pada matriks beton. Pada saat terjadi keretakan beton, kapsul yang melindungi bakteri akan pecah dan akan mengaktifasi bakteri sehingga terjadi pengendapan CaCO_3 .

Self-healing menjadi salah satu teknologi yang saat ini dibutuhkan untuk mengatasi atau mengurangi masalah perbaikan retakan beton. Beberapa metode *self-healing* diperkenalkan sebagai salah satu tindakan preventif sekaligus

kuratif pada pemeliharaan struktur beton. Teknik lainnya yaitu *autogenous healing*. *Autogenous healing* efektif pada retakan dengan celah kecil hingga 0,2 mm (Rao et al., 2013) Proses ini membutuhkan ketersediaan air sebagai salah satu faktor esensial. Dalam hal ini, diketahui bahwa beberapa peneliti mencari kemungkinan untuk mencampurkan super *absorbent polymers* (SAP) atau hidrogel dalam material semen sebagai pendukung ketersediaan air.

Bakteri yang umum digunakan dalam produksi *bio concrete* ialah kelompok bakteri *Bacillus sp.* dan bakteri *Sporosarcina sp.* Bakteri ini diketahui memiliki aktivitas membentuk enzim *urease*. Enzim ini berfungsi untuk mengubah urea menjadi karbondioksida dan ammonium karbonat. Ammonium karbonat inilah yang nantinya akan berikatan dengan ion Ca^{2+} yang ada didalam matriks beton dan akan terbentuk endapan $CaCO_3$ yang akan menutup retak pada beton (Rochani et al., 2016)

Berbagai Jenis Bakteri Yang Digunakan Dalam Beton. Dari tinjauan literatur:

Bacillus pasteurii, *Bacillus sphaericus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cohnii*, *Bacillus halodurans*, *Bacillus pseudofirmus* (Prasad & Lakshmi, 2017).

Self Healing Concrete ini dapat diaplikasikan pada :

- Digunakan dalam mortar semen.
- Dalam produksi batu bata.
- Konstruksi jalan yang tahan lama.
- Pencegahan erosi pada pasir lepas.
- Rumah berkekuatan tinggi dan berbiaya rendah.
- Peningkatan daya tahan bahan semen untuk perbaikan sifat pasir
- Perbaikan monumen batu kapur
- Penyegelan retakan beton
- Digunakan untuk konstruksi perumahan tahan lama berbiaya rendah
- Digunakan untuk konstruksi jalan tahan lama berbiaya rendah
- Bermanfaat untuk atap hijau.

Tabel 3.4 Kekurangan dan Kelebihan Beton Pulih Mandiri (*Self Healing Concrete*) (Prasad & Lakshmi, 2017)

No	Kelebihan	Kekurangan
1.	Penggunaan penyembuhan diri beton secara signifikan meningkatkan kekuatan beton.	Tidak ada desain beton bakterial yang disebutkan dalam kode IS atau kode lainnya.
2.	permeabilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan beton konvensional.	Biaya beton ini relatif lebih tinggi daripada beton konvensional; Ini sekitar 10-30% lebih banyak dari beton konvensional.
3.	Ia juga memiliki daya serap air yang lebih rendah jika dibandingkan dengan beton konvensional.	Perkecambahan bakteri tidak cocok di setiap lingkungan.
4.	Kemungkinan korosi tulangan dikurangi hingga dapat diabaikan.	Investigasi yang terlibat untuk mengamati presipitasi kalsit mahal.
5.	Biaya perawatan keseluruhan beton ini rendah.	Bakteri yang digunakan dalam beton tidak baik untuk kesehatan manusia; oleh karena itu penggunaannya harus dibatasi pada struktur.

3.4 Pengujian Material

Pengujian material meliputi jumlah serta jenis agregat yang baik dari air, agregat halus, dan agregat kasar. Bentuk dan cara pengujiannya disesuaikan dengan ketentuan yang telah ditentukan, sehingga hasil pengujian material bisa digunakan untuk kepentingan perencanaan, antara lain (Teknik Sipil, 2017):

3.4.1 Analisa Gradasi Agregat

Analisa gradasi (pemeriksaan gradasi) untuk agregat halus dan kasar ini merupakan uraian langkah-langkah untuk melakukan analisa distribusi ukuran butir (gradasi) agregat melalui alat ayakan. Metode ini dimaksudkan sebagai

pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan yang telah ditentukan.

$$\text{Modulus halus butir agregat kasar} = \frac{\% \text{ kumulatif berat kerikil tertahan}}{\% \text{ berat kerikil tertahan}} \quad (3.1)$$

$$\text{Modulus halus butir agregat halus} = \frac{\% \text{ kumulatif berat pasir tertahan}}{\% \text{ berat pasir tertahan}} \quad (3.2)$$

3.4.2 Berat Isi (Satuan) Agregat

Perbandingan antara berat dan volume (termasuk rongga-rongga antara butir-butir pasir ataupun kerikil) disebut berat satuan atau berat isi. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui cara mencari berat satuan (isi) atau campuran dari kedua agregat tersebut. Ditimbang dan dicatat berat wadah/ tempat yang berisi benda uji (W_2). Di hitung berat isi (satuan) pada masing masing benda uji (agregat halus dan kasar) melalui proses perhitungan berikut ini :

berat bersih 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) :

$$W_5 = W_3 + W_4 \quad (3.5)$$

Dimana :

W_5 = Berat isi lepas (gr)

3.4.3 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus Dan Kasar

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:

- Penyelidikan *quarry* agregat.
- Perencanaan campuran pengendalian mutu beton.
- Perencanaan campuran dan pengendalian mutu perkerasan.

Hitungan berat jenis dan penyerapan agregat dengan rumus :

$$\text{Berat Jenis (Bulk)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.6)$$

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

$$\text{Berat jenis Semu (apparent)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.8)$$

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

$$\text{Resapan Efektif (RE)} : \frac{B_j - B_k}{B_j} \times 100\% \quad (3.10)$$

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

Dimana :

B_j = Berat benda uji kering oven (gr)

B_k = Berat benda uji kering permukaan (gr)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

3.4.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Dilapangan

Kadar air merupakan cara untuk mengetahui banyaknya serapan air yang terkandung didalam agregat. Kadar air dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu

8. Kadar air kering tungku yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair.
9. Kadar air kering udara yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.
10. Kadar air jenuh kering permukaan (*SSD*) yaitu keadaan dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air, pada kondisi ini dalam agregat tidak akan menambah ataupun mengurangi air pada campuran beton.
11. Kadar air kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air, sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

Hitungan persentase kadar air agregat dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} : \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (3.12)$$

Dimana :

W_1 = Berat benda uji sebelum di oven (gr)

W_2 = Berat benda uji sesudah di oven (gr)

3.4.5 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 metoda 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 :

$$\text{Persentase Kadar Lumpur} : \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \quad (3.13)$$

Dimana :

B_1 = Berat benda uji kering sebelum dicuci (gr)

B_2 = Berat benda uji kering sesudah dicuci (gr)

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Tujuan utama mempelajari sifat-sifat beton adalah untuk perencanaan campuran (*mix design*), yaitu pemilihan bahan-bahan beton yang memadai, serta menentukan proporsi masing-masing bahan untuk menghasilkan beton ekonomis dengan kualitas yang baik (Antoni & Nugraha, 2007). Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis serta ekonomis

Dalam menentukan proporsi campuran dapat digunakan beberapa metode yang dikenal (Mulyono, 2004:157), antara lain :

1. Metode *American Concrete Institute (ACI)*
2. Metode *Portland Cement Association (PCA)*
3. Metode *Road note. No.4,*
4. Metode *British Standard (Departement of Environment)*
5. Metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000), dan
6. Metode Cara Coba-Coba (*Trial Mix*)
7. Metode perhitungan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton adalah metode (SNI 03-2834-2000)

Adapun tahapan yang dilakukan dalam perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut ini.

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

Rumusan menghitung deviasi standar adalah sebagai berikut:

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

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

Tabel 3.5 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar (SNI 03-2834-2000)

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

Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar untuk Indikasi Tingkat Pengendalian Mutu Beton (Mulyono, 2004)

Deviasi Standar (<i>S</i>)	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:

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

$$M = 1,64 \times sr \quad (3.15)$$

Dimana :

M = Nilai tambah *margin* (N/mm²)

K = 1,64 Tetapan *statistic* yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5 %

Sr = Deviasi standar rencana

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) kuat tekan rata-rata dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.16)$$

Dimana:

f'_{cr} = 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. Faktor air semen (*fas*) atau *water cement ratio*(*wcr*) adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen merupakan perbandingan berat air dengan berat semen, yang dituliskan sebagai berikut:

$$Fas = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}} \quad (3.17)$$

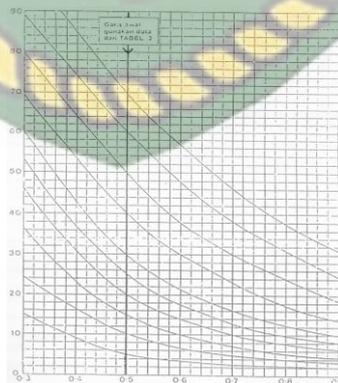
Semakin tinggi nilai *fas*, semakin rendah mutu beton yang dihasilkan. Namun nilai *fas* yang semakin rendah tidak berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai *fas* yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya yaitu dalam pemadatan. Umumnya nilai *fas* minimum diberikan sebesar 0,4 sampai 0,65. Faktor air semen didapat dari grafik hubungan antara kuat tekan dengan faktor air semen dengan benda uji kubus. Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Dari Tabel 3.7 tentukan perkiraan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari
- b. Pada *fas* 0,55, berdasarkan jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji.
- c. Pada Gambar 3.1, perkiraan nilai kuat tekan beton diplot dan kemudian tarik garis mendatar hingga memotong garis *fas* = 0,55

- d. Melalui titik potong tersebut, tarik kurva yang proporsional terhadap kurva-kurva lengkung yang mengapitnya.
- e. Plot nilai kekuatan tekan rata-rata dari langkah 4, kemudian tarik garis mendatar hingga memotong kurva baru yang dibuat.
- f. Dari titik potong tersebut tarik garis lurus vertikal untuk mendapatkan nilai fas yang diperlukan.

Tabel 3.7 Perkiraan Kekuatan Tekan (N/mm^2) Beton dengan Faktor Air Semen (FAS) 0,55 Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia (SNI 03-2834-2000)

Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk kubus 150 x 150 x 150 mm)

8. Tetapkan fas maksimum dari Tabel 3.8 Pilih nilai fas terkecil dari langkah 7) dan langkah 8).

Tabel 3.8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus (SNI 03-2834-2000)

Lokasi ---	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar b. air laut		Lihat Tabel 6

Tabel 3.9 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton (SNI 03-2834-2000)

<i>Slump</i> (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara: Untuk suhu di atas 25°C, setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m² adukan beton.

9. Menentukan nilai *slump*

Slump adalah satu ukuran kekentalan adukan beton dinyatakan dalam mm ditentukan dengan alat kerucut *abram* (Indonesia, 1990) tentang Metode Pengujian *Slump* Beton Semen *Portland*). *Slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, didapatkan dan diratakan.

10. Menentukan ukuran butir nominal agregat maksimum : Ukuran besar butir agregat maksimum yang digunakan yaitu sebesar 20 mm. Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan;
- sepertiga dari tebal pelat;
- tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

11. Kadar Air Bebas

jumlah air yang dicampur ke dalam beton untuk mencapai konsistensi tertentu, tidak termasuk air yang diserap oleh agregat, dengan menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, dan *slump* rencana menggunakan rumus :

Dengan :

$$\frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \quad (3.18)$$

Dimana :

Wh = Perkiraan air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan air untuk agregat kasar

12. Jumlah semen maksimum diabaikan jika tidak ditetapkan.

13. Menghitung berat jenis *relative* agregat :

$$B_j \text{ Campuran} = \left(\frac{h}{100} \times B_j \text{ Agregat Halus} \right) + \left(\frac{K}{100} \times B_j \text{ Agregat kasar} \right) \quad (3.19)$$

Dimana :

h = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran (%)

K = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

B_j = Berat jenis

14. Menghitung kadar agregat campuran

Menghitung Kadar agregat campuran dapat dihitung dengan rumus :

$$W_{agr.camp} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (3.20)$$

Dimana :

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

W_{beton} = berat beton

W_{air} = berat air

W_{semen} = berat semen

15. Menghitung kadar agregat kasar

Dalam menentukan berat agregat kasar dapat dihitung dengan rumus:

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

Dimana :

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

k = Persentase kadar agregat kasar

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

16. Mengitung kadar agregat halus

$$W_{agr.halus} = h \times W_{agr.camp} \quad (3.22)$$

Dimana :

<i>W_{agr.halus}</i>	= Berat agregat halus
<i>h</i>	= Persentase kadar agregat halus
<i>W_{agr.camp}</i>	= Berat Agregat campuran

3.6 *Slump Test*

Pengujian slump (*slump test*), dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Percobaan ini dilakukan dengan alat berbentuk kerucut berpuncung 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 dilapangan (Purwanto, 2018)

Pengaruh dari nilai *slump* dapat terlihat apabila nilai tersebut cukup tinggi akibat pemakaian bahan tambahan pada pembuatan beton serta air yang digunakan cukup banyak, akan menyebabkan (Teknik Sipil, 2017) :

1. Pemisahan Agregat Kasar

Kecenderungan butir agregat memisahkan diri dari campuran beton, dikenal dengan “*segregation*” pemisahan ini tidak dikehendaki. Hal ini dikarenakan beton akan menjadi tidak homogen. Kecenderungan pemisahan agregat ini dapat dihindari dengan :

- a. Memperbanyak menggunakan semen
- b. Mengurangi jumlah air

- c. Memperkecil butir maksimal agregat kasar
2. Pemisahan Air

Setelah beton segar dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan, maka beton segar dibiarkan mengeras, setelah beberapa saat (menit) akan terdapat kecenderungan campuran air yang awalnya dicampurkan dalam beton segar naik ke atas permukaan (mengambang). Peristiwa ini disebut “*bleeding*”. Hal ini dapat dihindari dengan :

- a. Memberi semen *portland* yang lebih banyak
- b. Menggunakan air se-optimum mungkin
- c. Menggunakan banyak agregat halus

Untuk itu dianjurkan penggunaan nilai *slump* yang terletak dalam batasan yang telah ditentukan dalam Tabel 3.10

Tabel 3. 10 Penetapan Nilai Slump (SNI 03-2834-2000)

No	Pemakaian Beton	<i>Slump</i> (mm)	
		Maksimum	Minimum
1.	Dinding, Pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang	75	25
2.	Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi dibawah tanah	75	25
3.	Balok, dinding bertulang	100	25
4.	Kolom Gedung	100	25
5.	Perkerasan dan pelat	75	25
5.	Pembetonan massal	75	25

Ada 3 bentuk *Slump*, yaitu :

1. *Slump* sebenarnya (*true slump*)

Bentuk *slump* seperti ini diperoleh dari adukan beton yang homogen dan kohesif, sehingga nilai *slump* yang diukur adalah nilai *slump* yang sebenarnya.

2. *Slump* geser (*shear*)

Bila terjadi keruntuhan geser beton pada satu sisi atau sebagian massa beton, pengujian harus diulangi dengan mengambil porsi lain dari adukan

yang sama. Kemudian bila dua pengujian berturutan pada satu contoh beton menunjukkan keruntuhan geser, kemungkinan adukan beton kurang plastis atau kurang kohesif sehingga harus dinyatakan sebagai adukan yang tidak memenuhi syarat *workabilitas*.

3. *Slump* runtuh (*collapse*)

Untuk beton normal tanpa penambahan *superplasticiser*, nilai *slump* yang diperoleh dari adukan seperti ini akan melampaui batas nilai *slump* maksimum sehingga harus dinyatakan sebagai adukan beton yang tidak memenuhi *workabilitas* yang dimungkinkan oleh penggunaan air yang terlalu banyak.

3.7 Pematatan Beton

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

Kebutuhan alat pematat disesuaikan dengan kapasitas pengecoran dan tingkat kesulitan pengerjaan (*unworkability*). Pada pengerjaan beton dengan kapasitas kecil, alat pematat dapat berupa kayu atau besi tulangan. Untuk pengecoran dengan kapasitas besar, alat pematat mesin harus digunakan. Alat pematat mesin lebih dikenal dengan nama alat getar (*Vibrator*).

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
2. Dilaksanakan dalam waktu yang pendek.
3. Pemadatan dilaksanakan secara vertikal dan jatuh dengan beratnya sendiri.
4. Tidak menyebabkan terjadinya *bleeding*.
5. Pemadatan merata.
6. Tidak terjadi kontak antara alat getar dengan *bekisting*.
7. Alat getar tidak berfungsi untuk mengalirkan, mengangkut atau
8. Memindahkan beton.

3.8 Perawatan Beton

Perawatan beton/*curing* adalah suatu usaha untuk mencegah kehilangan air pada beton segar dan membuat kondisi suhu didalam beton berada pada suhu tertentu segera setelah beton dicor sehingga sifat-sifat beton yang diinginkan dapat berkembang dengan baik. Perawatan beton sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton keras seperti keawetan, kekuatan, sifat rapat air, ketahanan abrasi, stabilitas volume dan ketahanan terhadap pembekuan.

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 (f_c')

Berdasarkan (Indonesia & Nasional, 1974) yang dimaksudkan dengan kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan.

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah

struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang di rancang, semakin tinggi pula mutu yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Rancangan campuran beton untuk penelitian ini menggunakan benda uji kubus dengan ukuran 150 x150 x 150 mm.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS) dan kepadatan Beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan *workabilitas* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik.
2. Umur beton
Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur dibahas dalam (Pekerjaan Umum, 1971). Kecepatan bertambahnya kuat tekan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain: faktor air semen, dan suhu perawatan semakin tinggi nilai faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatannya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatannya (Tjokrodinuljo, 1996)
3. Jenis Semen
Jenis semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sesuai dengan tujuan penggunaannya.
4. Jumlah Semen
Menurut (Tjokrodinuljo, 1996) jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika nilai faktor air semen sama (nilai *slump* berubah), beton dengan jumlah kandungan semen yang lebih sedikit akan mempunyai kuat tekan tertinggi.
5. Sifat agregat
Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah :
 - a. Kekasaran permukaan : Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut
 - b. Kekerasan agregat kasar
 - c. Gradasi agregat

Tabel 3.11 Beberapa Jenis Kuat Tekan Beton (Tjokrodimuljo, 1996)

Jenis Beton	Kuat Tekan pada umur 28 (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15-30 MPa
Beton prategang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Tabel 3.12 Perkembangan Kuat Tekan untuk *Portland* Tipe I (Mulyono, 2004)

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28
Semen <i>Portland</i> Tipe I	0,46	0,7	0,88	0,96	1

Tabel 3.11 dapat dilihat kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum $f'c$ dengan satuan kg/cm^2 atau MPa (*Mega Pascal*) yang bisa didapatkan pada persamaan 3.9 (SNI 03-1974-1990) Nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, oleh karena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 2007) Kuat tekan beton mengalami kenaikan seiring bertambahnya hari sampai umur 28, Menurut (Mulyono, 2004) kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil.

Kuat tekan beton yaitu suatu perbandingan beban terhadap luas penampang beton. Besarnya kuat tekan pada beton dapat dihitung menggunakan rumus (Teknik Sipil, 2017) :

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

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.23)$$

Dimana :

$$f'c = \text{Kuat tekan beton (MPa)}$$

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (mm)

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

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

$$f_c'r = \frac{\sum f'c}{n} \quad (3.24)$$

Dimana:

$\sum f'c$ = Kuat tekan benda uji beton (Kg/cm²)

$f_c'r$ = Kuat tekan rata-rata dari jumlah benda uji (Kg/cm²)

n = Jumlah benda uji.

3. Standar deviasi (s)

Definisi standar deviasi (Rachmat Purwono, 2010) 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 3.20 (Teknik Sipil, 2017):

$$s = \frac{\sqrt{\sum (f_c'r - f'c)^2}}{n-1} \quad (3.25)$$

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 ($f_c'k$)

Kuat tekan karakteristik atau kuat tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar pemilihan campuran beton. (Teknik Sipil, 2017):

$$f_c'k = f_c'r - (1,64 \cdot s) \tag{3.26}$$

Dimana:

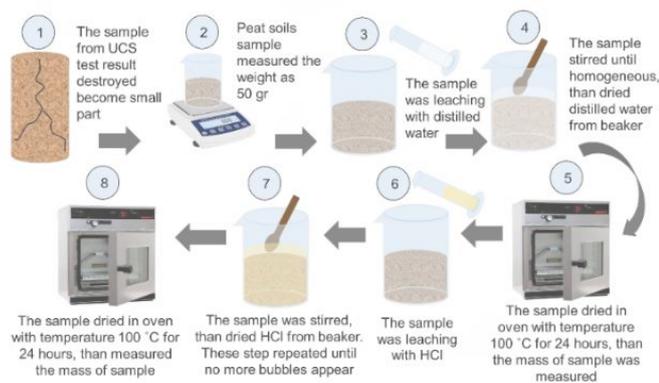
$f_c'k$ = Kuat tekan karakteristik beton

$f_c'r$ = Kuat tekan beton rata-rata estimasi 28 hari

s = Standar deviasi

3.10 Kuantifikasi Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Uji kuantifikasi karbonat dilakukan untuk mengevaluasi massa endapan Karbonat yang terbentuk dalam sampel *Self Healing Concrete*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *acid leaching* yang dikembangkan oleh Putra et al. 2016. Sampel beton yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 50 gram, lalu masukkan kedalam wadah keramik lalu dicuci dengan air dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Sampel yang telah dicuci sebanyak 50 gram tadi dicuci dengan HCl beberapa kali sampai gelembung udara tidak lagi muncul, setelah itu sampel dikeringkan dalam oven dan diukur massa keringnya. Selama pencucian asam HCl, kehilangan berat kering dievaluasi dan diasumsikan sebagai massa massa mineral Kalsium Karbonat (CaCO₃). (Ramadhan & H, 2021)



Gambar 3.1 Proses Uji Kuantifikasi Asam Karbonat

Gambar 3.1 dapat diuraikan bahwa proses uji kuantifikasi asam karbonat dimulai dari menghancurkan sampel benda uji *self-healing concrete* dengan variasi persentase 2%, 4%, 6%, 8% lalu ditimbang sebanyak 50 gram. Lalu sample di cuci untuk melarutkan mineral yang ada pada beton, dan dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam. Setelah itu, sampel dicuci menggunakan HCl beberapa kali sampai gelembung udara tidak lagi muncul



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini menggunakan metode *self-healing concrete* atau beton pulih mandiri. Dengan cara *Microbiologically Induced Calcite* atau *Calcium Carbonate (CaCO₃) Precipitation (MICCP)* berdasarkan konsep bio-mineralisasi. Dengan menambahkan bakteri pada beton, menghasilkan kristal kalsium karbonat yang menghalangi retakan pada pori mikro beton.

Jenis penelitian ini menggunakan ekstrak limbah sayuran yang didominasi oleh kubis dan sawi. Pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh ekstrak limbah sayuran yang telah dicampurkan kalsium klorida (CaCl₂) dan urea (NH₂)₂CO terhadap beton dengan faktor air semen 0.55. penelitian ini juga mengamati secara visual terhadap perubahan retakan beton.

4.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan melakukan penelitian di laboratorium yang mengacu pada (SNI 03-2834-2000) dengan benda uji beton berbentuk kubus 150 x 150 x 150 mm berjumlah 3 benda uji beton normal variasi 0% dan 6 benda uji tiap penambahan bakteri ekstrak limbah Sayuran variasi 2%, 4%, 6%, 8%, sebagai bahan pengganti sebagian semen. Pengujian dilakukan pada perawatan 28 hari menggunakan mesin kuat tekan beton.

4.3 Bahan Penelitian

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

1. Semen

Semen yang digunakan dalam sampel penelitian ini adalah semen *portland (PCC Tipe 1)* dari PT. Semen Padang kemasan 50 kg/zak. Dalam penelitian ini semen sebagai bahan campuran utama untuk pembuatan beton.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam sampel penelitian ini merupakan Pasir dari PT. Riau Mas Bersaudara Rimbo Panjang (Kampar).

3. Agregat Kasar

Agregat Kasar yang digunakan dalam sample penelitian ini merupakan batu pecah 1/2 (ukuran maksimum 10-20 mm) dari PT. Riau Mas Bersaudara Rimbo Panjang (Kampar). Dimana sampel tersebut diangkut ke laboratorium untuk di uji gradasi, berat isi, berat jenis, kadar air dan kandungan lumpur.

4. Air

Air yang di pakai dalam proses *mix design self healing concrete* yaitu air sumur bor Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

5. Urea (NH_2)₂CO

Urea merupakan Senyawa kimia mengandung nitrogen (N) berkadar tinggi dan juga senyawa organik yang tersusun dari unsur karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Unsur nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan pada tanaman. Urea merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis), karena itu sebaiknya disimpan di tempat yang kering dan tertutup rapat. Pupuk urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan pengertian setiap 100 kg mengandung 46 Kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 1-3,35MM 90% Min serta berbentuk Prill.

6. Kalsium Klorida (CaCl_2)

Kalsium klorida merupakan garam berwarna putih yang mempunyai sifat higroskopis terhadap air dan memiliki kandungan panas yang besar hingga dapat mengikat air dan larut di dalamnya. Karena sifat inilah kadang kadang kalsium klorida digunakan sebagai zat pengering dilaboatorium. Senyawa ini terutama digunakan untuk penghilang es dan pengendali debu.

7. Asam Klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida. Ia merupakan asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani dengan mewanti keselamatan yang tepat karena merupakan cairan yang sangat korosif. Kegunaan kecil lainnya meliputi penggunaan dalam pembersih rumah, produksi gelatin, aditif makanan, dan pengolahan kulit.



Gambar 4.1 Asam Klorida (HCl) (Dokumentasi, 2021)

Gambar 4.1 Merupakan cairan HCl yang digunakan saat pengujian kuantifikasi kalsium karbonat pada saat proses *self healing concrete*.

8. Bahan Tambahan

Bahan tambah yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah Larutan Ekstrak yang dibuat dari Limbah Sayur yang diperam selama seminggu. lalu dihancurkan menggunakan blender dan disaring untuk mendapatkan ekstrak dari limbah sayur tersebut dan di tambahkan urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ sebanyak 2 kilogram dan Kalsium Klorida (CaCl_2) 2 kilogram. Dalam penelitian ini peneliti memanfaatkan limbah sayur yang ada dipasar-pasar tradisional yang tidak layak jual di pekanbaru.



Gambar 4.2 Ekstrak Limbah Sayur (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.2 merupakan olahan limbah sayuran yang telah dijadikan ekstrak dan dicampurkan urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) dan kalsium klorida (CaCl_2) lalu dimasukkan kedalam jerigen untuk di endapkan selama seminggu. Ekstrak ini digunakan sebagai pengganti sebagian semen saat pengadukan campuran beton *self-healing*.

4.4 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian merupakan peralatan yang digunakan untuk pengujian yang disesuaikan dengan ketersediaan peralatan yang ada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

4.4.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Satu Set Perlengkapan Saringan

Saringan digunakan untuk mengayak agregat kasar dan halus, bertujuan untuk dapat menentukan pembagian butir (gradasi). Ukuran saringan terdiri dari :

- a. 38,1 mm (1 ½ “)
- b. 19,1 mm (¾ “)
- c. 9,5 mm (3/8 “)
- d. No.4 (4,75”)
- e. No.8 (2.36 mm)
- f. No.200 (0,075 mm)



Gambar 4.3 Saringan Gradasi (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.3 alat ini digunakan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan Pembagian butir (gradasi) agregat kasar dan halus dengan menggunakan ukuran saringan yang telah ditentukan.

2. Cawan

Cawan merupakan wadah kecil berbahan *stainless steel* yang digunakan sebagai tempat meletakkan sampel dalam tahap pengujian dan tahan terhadap panas.



Gambar 4.4 Cawan (Dokumentasi Penelitian,2021)

Gambar 4.4 alat ini digunakan sebagai wadah penampungan agregat kasar dan agregat halus pada saat proses pemeriksaan gradasi agregat, berat isi agregat, berat jenis agregat, dan pemeriksaan kadar lumpur

3. Timbangan

Timbangan digunakan sebagai pengukuran untuk mengukur suatu berat atau massa pada suatu benda/zat. Dalam penelitian ini ada 2 jenis timbangan yang digunakan yaitu :

- a. Timbangan Neraca Ohaus dengan kapasitas 20 kg.

Timbangan yang digunakan untuk menimbang semen, agregat kasar dan agregat halus untuk bahan campuran beton yang akan di cor.



Gambar 4.5 Timbangan Neraca Ohaus Kapasitas 20kg (Dokumentasi,2021)

- b. Timbangan digital dengan kapasitas 2kg

Pada penelitian ini untuk menimbang cawan, pengujian analisa saringan, berat jenis, kadar lumpur, dan kadar air.



Gambar 4. 6 Timbangan Digital dengan kapasitas 2kg (Dokumentasi,2021)

- c. Timbangan Duduk Manual Kapasitas 60kg

Dimana benda yang di timbang dalam keadaan duduk. Dalam penelitian ini timbangan duduk digunakan untuk menimbang cetakan beton yang akan diisi beton segar dan cetakan beton segar yang akan digetarkan.



Gambar 4.7 Timbangan Duduk Manual Kapasitas 60kg (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7 alat ini digunakan sebagai menimbang agregat halus, agregat kasar, dan ekstrak limbah sayuran. Selain itu digunakan untuk mengetahui berat dari beton sebelum beton tersebut diuji tekan.

4. Oven

digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan sampel, melakukan proses sterilisasi. Prinsip kerja oven adalah melakukan pemanasan secara tertutup sehingga suhu dan waktunya bisa diatur.



Gambar 4.8 Oven (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.8 alat ini digunakan sebagai pengeringan agregat kasar dan agregat halus pada saat proses pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan kadar air, pemeriksaan kandungan lumpur dalam agregat.

5. Piknometer

Alat yang terbuat dari kaca berbentuk labu digunakan untuk pemeriksaan berat jenis agregat halus. Piknometer yang digunakan berkapasitas 500 ml.



Gambar 4.9 Piknometer (Dokumentasi Penelitian, 2021)

Gambar 4.9 alat ini digunakan untuk *specific gravity* dan penyerapan air agregat halus, dan sebagai wadah untuk menampung agregat halus yang telah diisi dengan air. Lalu ditimbang berat piknometer yang telah terisi agregat halus (pasir) dengan air.

6. Gelas Ukur Plastik

Gelas Ukur dengan Kapasitas 1000 ml digunakan untuk mengukur volume air dan larutan bakteri pada saat proses pengadukan campuran beton.



Gambar 4.10 Gelas Ukur Plastik (Dokumentasi, 2021)

Gambar 4.10 alat ini digunakan untuk menampung dan menakar air pada saat proses pencampuran beton.

7. Mesin Pengaduk Beton (Molen)

Berfungsi sebagai pengadukan bahan-bahan, seperti semen, agregat kasar, agregat halus, dan air yang telah ditimbang untuk menjadi beton segar.



Gambar 4.11 Mesin Pengaduk Beton (Molen) (Dokumentasi Penelitian,2021)

Gambar 4.11 alat ini digunakan untuk pencampuran agregat halus, agregat kasar, air, semen dan ekstrak limbah sayur pada saat proses pencampuran beton.

8. Kerucut Terpancung (*Cone*)

pengujian berat jenis agregat halus untuk mengetahui keadaan kering jenuh permukaan pada pasir. kerucut ini Alat ini terbuat dari baja dengan diameter bawah 80 mm dan atas 35 mm, tinggi 70 mm dengan tebal 1 mm.



Gambar 4.12 Kerucut terpancung (*Cone*) (Dokumentasi Penelitian,2021)

Gambar 4.12 alat ini digunakan pada saat proses pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus, dengan cara mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, hingga keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.

9. Wadah Bejana Baja

Wadah ini berbentuk silinder bertujuan untuk pemeriksaan berat isi (satuan) padat agregat halus dan kasar.



Gambar 4.13 Wadah Bejana Baja (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.13 alat ini digunakan pada saat proses pemeriksaan berat isi agregat, dengan cara memasukkan 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.

10. Alat Uji *Slump*

Tujuan uji *slump* untuk tolak ukur kekentalan beton segar agar beton yang diproduksi dapat mencapai kekuatan mutu beton dan mendapatkan nilai *slump* beton yang baik.



Gambar 4.14 Alat Uji Slump (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.14 alat ini digunakan untuk mengetahui seberapa kental adukan beton yang akan diproduksi .alat ini bertujuan untuk memantau homogenitas dan *workability* (kemudahan pengerjaan beton segar).alat yang digunakan ini bernama kerucut *abrams* yang terbuat dari logam.

11. Tongkat Penusuk Baja

Sebagai tongkat pemadat pada saat pengujian berat isi dan pengujian *slump* dan juga pada cetakan beton. Tongkat penusuk ini berbentuk silinder dari baja dengan diameter 16 mm dan Panjang 600m.



Gambar 4.15 Tongkat Penusuk Baja (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.15 alat ini digunakan sebagai penusuk pada saat proses pemeriksaan berat, pemeriksaan berat jenis, pada saat uji *slump*, dan pada cetakan yang telah terisi beton segar sebelum digetarkan.

12. Talam

Talam Baja berguna sebagai alas untuk pengujian *slump* dan wadah beton segar sebelum dituangkan kedalam cetakan.

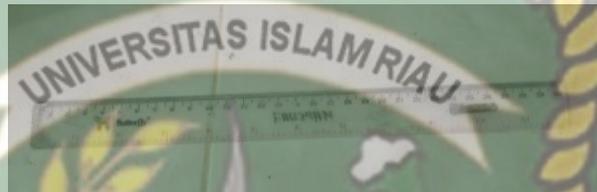


Gambar 4.16 Talam (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.16 alat ini sebagai alas untuk meletakkan beton segar dari dalam molen saat pengadukan beton, dan sebagai alas beton segar untuk dilakukan pengujian *slump*.

13. Penggaris (Mistar)

Penggaris digunakan untuk mengukur penurunan nilai *slump*.

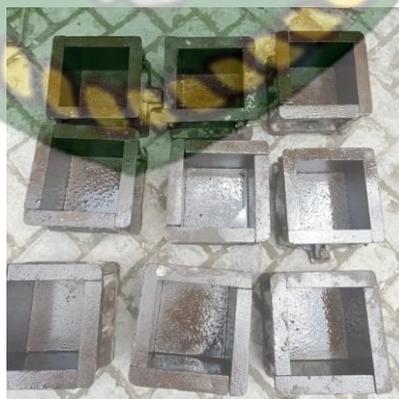


Gambar 4.17 Penggaris (Mistar) (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.17 Alat ini digunakan pada saat pengujian *slump*. Untuk mengukur nilai *slump*. Dengan cara menaruh penggaris dan batang baja diatas cetakan corong (kerucut terpancung) hingga diatas beton segarnya.

14. Cetakan Beton (*Mold*)

Untuk Mencetak Beton segar yang telah di uji *Slump* berbentuk kubus dengan diameter 150 mm x 150 mm x 150 mm.



Gambar 4.18 Cetakan Beton (*Mold*) (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.18 alat ini digunakan sebagai wadah untuk meletakkan beton segar yang telah di uji *slump*. Dengan cara memasukan beton segar kedalam cetakan.

15. Mesin Penggetar Beton (*Vibrator*)

Bertujuan untuk memadatkan beton segar yang sudah dimasukkan kedalam cetakan dan agar angin atau udara yang masih ada pada adonan beton dapat keluar sehingga tidak menimbulkan rongga atau lubang.



Gambar 4.19 Mesin Penggetar Beton (*Vibrator*) (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.19 alat ini digunakan untuk meratakan beton segar didalam cetakan.

16. Mesin Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength Machine*)

Mesin ini digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dengan prosedur yang benar dengan menerapkan benda uji atau sampel beton berbentuk silinder atau kubus.



Gambar 4.20 Mesin Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength Machine*)
Dokumentasi,2021)

Gambar 4.20 alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan sampel beton kubus ataupun silinder. dengan cara meletakkan benda uji didalam mesin kuat tekan pada bagian tengah mesin uji secara sentris. Pembebanan dilakukan secara perlahan sampai beton mengalami kehancuran.

17. Bak perendaman Beton

Bertujuan menjaga agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban atau suhu beton sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan.



Gambar 4.21 Bak Perendaman Beton (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.21 bak perendaman beton ini digunakan untuk merendam sampel beton kubus yang telah mengering dan dibuka dari dalam cetakan. Perendaman ini dilakukan selama umur 28 hari.

18. Palu Godam

Dalam penelitian ini Palu Godam berguna untuk meretakkan sampel uji beton kubus *self healing* secara manual yang bertujuan untuk melihat pengaruh Ekstrak limbah sayuran secara visual terhadap retakkan beton tersebut.



Gambar 4.22 Palu Godam (Dokumentasi, 2021)

Gambar 4.22 Palu godam ini digunakan untuk meretakan sampel beton kubus secara manual. Dengan cara meretakan sampel beton sebesar sehelai rambut.

19. Kertas Koran

Kertas Koran digunakan sebagai tempat media pengeringan agregat halus yang telah direndam untuk pemeriksaan berat jenis. Pada penelitian ini kertas koran di gunakan pada pemeriksaan berat jenis agregat.



Gambar 4.23 Kertas Koran (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.23 alat ini digunakan sebagai wadah benda uji agregat kasar dan halus pada saat gradasi agregat untuk menaruh sampel yang telah diayak, pada saat pengujian berat jenis berguna untuk menghamparkan agregat halus.

20. Alat Pendukung

Alat-alat pendukung antara lain sekop baja, cangkul, gerobak, sendok semen, Kuas, Oli, Tip-ex untuk menulis kode, dan lain sebagainya.



Gambar 4.24 Gerobak Dorong (Dokumentasi,2021)



Gambar 4.25 Kuas dan Cawan berisi oli (Dokumentasi,2021)



Gambar 4.26 Sendok Semen (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.24, Gambar 4.25, Gambar 4.26 alat ini digunakan sebagai alat bantu pada saat proses pencampuran beton, seperti pada gerobak berguna untuk memudahkan mengangkat material dari satu tempat ke tempat lainnya. dan pada cawan, kuas dan oli berguna untuk mengoles cetakan sebelum di isi beton segar agar tidak lengket dan mudah untuk membuka cetakan saat beton telah mengering. Pada sendok semen ini berguna untuk memudahkan pengadukan.

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

1. Analisa Gradasi Agregat

Peralatan yang digunakan pada Analisa Gradasi Agregat adalah :

- a. Timbangan dan Neraca Ketelitian 0,2 kg
- b. Sikat Kuningan
- c. Cawan
- d. Satu Set Saringan
- e. Oven dengan pengatur suhu (+ 110 atau -5)°C

2. Berat Isi (Satuan) Agregat

Peralatan yang digunakan untuk Berat Isi (Satuan) Agregat adalah :

- a. Wadah baja kaku yang berbentuk silinder untuk agregat halus
 - b. Tongkat Pemasak silinder terbuat dari baja dengan Panjang 60 cm dan diameter 15 mm
 - c. Talam atau nampan
 - d. Mistar Perata
 - e. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari berat benda uji
3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dan kasar

Peralatan yang digunakan untuk berat jenis dan penyerapan air adalah :

- a. Keranjang kawat ukuran 3,55 mm (no.6) atau 2,36 mm dengan kapasitas kira-kira 5 kg.
 - b. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai dengan pemeriksaan.
 - c. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,1 %
 - d. Piknometer berkapasitas 500 ml.
 - e. Kerucut terpancung (*cone*) yang berdiameter atas 37-43 mm dan diameter bawah 87-93 mm dan tinggi 67-73 cm yang terbuat dari logam dengan ketebalan 0,8 mm.
 - f. Batang penumbuk dengan bidang penumbuk yang rata dengan berat 325-355 gram serta permukaan penumbuk berdiameter 22-28 mm.
 - g. Saringan no. 4 (4,75 mm).
 - h. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
 - i. Cawan
 - j. Desikator
4. Pemeriksaan Kadar Air Lapangan

Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan kadar air lapangan :

- a. Timbangan dan Neraca dengan ketelitian 0,2 dari berat benda uji
- b. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- c. Talam atau nampan sebagai wadah agregat

5. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan kadar lumpur adalah :

- a. Saringan No.200 (0,075mm) untuk bagian bawah dan di atasnya saringan No.16 (1,18 mm)
- b. Timbangan dengan ketelitian maksimum 0,1 %
- c. Cawan
- d. Oven

6. Pengujian *Slump Test* (Beton Segar)

Peralatan yang digunakan untuk pengujian *Slump Test* (Beton Segar) adalah :

- a. Penggaris atau mistar ukur
- b. Alat Penusuk berupa tongkat batang baja berdiameter 16mm
- c. Alat Perata (sendok semen dan sekop kecil)
- d. Sekop atau cangkul.
- e. Talam

7. Pekerjaan Pembuatan Benda Uji

Peralatan yang digunakan untuk pekerjaan pembuatan benda uji adalah :

- a. Mesin Pengaduk Beton (Molen)
- b. Sekop, sendok semen dan ember
- c. Gelas Ukur
- d. Timbangan dengan ketelitian 0.01 kg
- e. Cetakan Kubus diameter 150 ×150 ×150 mm
- f. Tongkat Pemasak berdiameter 16mm dan Panjang 600mm
- g. Pekerjaan Pembukaan Cetakan Kubus Beton
- h. Kuas
- i. Oli
- j. Spidol atau Tip-ex untuk menulis kode
- k. Cetakan kubus beton
- l. Bak Perendam Beton

Digunakan untuk merendam beton yang telah dibuka dari cetakan setelah 24 jam

8. Pemeriksaan Kuat Tekan Beton Kubus
 - a. Timbangan
 - b. Mesin Uji Tekan (*Compressive Strength Machine*)
9. Uji Pemulihan Retakan

Digunakan Palu Godam untuk memukul beton bakteri yang telah di rendam selama 28 hari

4.5 Teknik Penelitian

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

4.6 Proses Pengolahan Limbah Sayur Busuk Menjadi Bakteri

Proses Pengolahan limbah sayuran hingga menjadi ekstrak untuk sebagai bahan pengganti sebagian semen adalah sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan Limbah Sayuran

Mencari limbah-limbah sayur di pasar-pasar tradisional pekanbaru seperti sayur sawi, kubis.



Gambar 4.27 Pengumpulan Limbah Sayuran (Dokumentasi, 2021)

Gambar 4.26 dapat dilihat pada gambar, pengumpulan limbah sayur yang didominasi oleh kubis dan sawi ini didapat dari pasar-pasar tradisional yang sudah tidak layak untuk dijual akan diolah menjadi ekstrak.

b. Membersihkan Sayuran

Setelah itu sayur dicuci menggunakan air bersih, dan dimasukkan ke dalam kantong plastik hitam jumbo.



Gambar 4.28 Membersihkan Limbah Sayuran Dari Kotoran (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.28 dapat dilihat proses pencucian limbah sayur sawi dan kubis bertujuan untuk menghilangkan pasir yang menempel pada sayuran dan mempercepat proses pembusukan.

c. Fermentasi Limbah Sayuran

Limbah sayur yang telah dicuci bersih tadi dimasukkan ke kantong plastik hitam besar dan diikat dengan rapat untuk difermentasikan selama seminggu.



Gambar 4.29 fermentasi Limbah Sayuran (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.29 dapat dilihat proses fermentasi limbah sayuran sawi dan kubis yang telah dicuci tadi dimasukkan kedalam plastik untuk diperam selama seminggu, ruangan yang kedap udara didalam plastik dapat menghasilkan bakteri dan jamur.

d. Ekstraksi Limbah Sayuran

Setelah itu, sayur yang sudah di fermentasi tadi dipotong-potong kecil lalu dihancurkan menggunakan blender dan tambahkan air agar lebih mudah dalam proses penghancurannya, lalu di saring menggunakan kain penyaring untuk diambil ekstrak dari sayur tersebut.



Gambar 4.30 Limbah Sayur Di Potong Kecil-Kecil (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.30 dapat dilihat proses ekstrak limbah sayur sebelum dilakukan penghancuran dengan blender maka limbah sayur di potong-potong kecil terlebih dahulu agar mempermudah proses penghancurannya.



Gambar 4.31 Penghancuran Limbah Sayur Dengan Blender (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.31 dapat dilihat proses penghancuran limbah sayur yang telah di fermentasi tadi ke dalam blender. Ini bertujuan untuk menghaluskan limbah sayur yang telah dipotong kecil-kecil.



Gambar 4.32 Penyaringan Ekstrak Limbah Sayur (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.32 dapat dilihat proses penyaringan limbah sayur yang telah dihancurkan dengan blender disaring menggunakan kain penyaring bertujuan untuk meremas limbah sayur untuk mengambil ekstrak limbah sayur tersebut.

- e. Lalu ekstrak limbah sayur di tambahkan kalsium klorida (CaCl_2) sebanyak 2kilogram dan Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) sebanyak 2kilogram, aduk hingga larut.
- f. Dan ekstrak limbah sayur yang telah selesai dicampur (CaCl_2) dan urea dimasukkan ke dalam jerigen. Lalu tutup jerigen dengan rapat dan diendapkan selama 30 hari.



Gambar 4.33 Ekstrak Limbah Sayur Dimasukkan Ke Dalam Jerigen (Dokumentasi,2021)

Gambar 4.33 dapat dilihat proses ekstrak limbah sayur dimasukkan ke dalam jerigen dan di tambahkan kalsium klorida (CaCl_2) dan urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) setelah

itu di aduk sampai larut, setelah jerigen ditutup rapat-rapat dan biarkan selama 30 hari. terlihat akan pengendapan ekstrak, kalsium klorida (CaCl_2), urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) di bawah jerigen.

4.7 Tahap Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan

Saat melaksanakan penelitian perlu dilakukan persiapan diantaranya administrasi perizinan pemakaian laboratorium, pengumpulan bahan/mengambil sampel material. Persiapan alat penelitian yang akan dipakai dan persiapan formulir pengisian data.

2. Pemeriksaan material

Pemeriksaan material meliputi pemeriksaan gradasi agregat, pemeriksaan berat isi (satuan) agregat, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan kadar air agregat di lapangan, pemeriksaan kadar lumpur agregat.

3. Perencanaan Pencampuran Beton

Metode yang digunakan proses perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*) menggunakan (SNI 03-2834-2000) dengan percobaan awal (*Trial Mixes*) dengan memperhitungkan jumlah agregat kasar, agregat halus, ekstrak limbah sayur, semen, dan air dalam merencanakan campuran beton yang kita inginkan. kemudian nilai faktor air semen yang dipakai sebagai asumsi pada penelitian ini adalah 0.55

4. Pembuatan beton segar

Dalam Pembuatan beton segar ini mencampurkan semua bahan kedalam mesin pengaduk beton (Molen)

5. Pengujian nilai *slump test*

Cara pengujian ini adalah :

- a. memasukkan beton segar menggunakan sekop kecil ke dalam kerucut *Abrams* logam yang telah di alas menggunakan talam
- b. Isi cetakan dengan beton segar sampai penuh tiga lapis, kira kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapisan dipadatkan dengan besi pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.

- c. Setelah pemadatan, ratakan permukaan benda uji cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas
 - d. Balikkan cetakan kemudian letak disamping benda uji
 - e. Ukur *slump* yang terjadi dengan mengukur rata-rata penurunan benda uji.
6. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan kubus 150 x 150 x 150 mm. Jumlah beton yang dibuat 27 sampel. Beton normal variasi 0% 3 sampel. Beton variasi persentase ekstrak limbah sayur variasi persentase 2%, 4%, 6%, 8%, berjumlah 24 sampel. 12 sampel untuk di uji tekan saja, dan 12 sampel untuk uji pemulihan retakan. Berikut perencanaan penelitian pada penelitian ini terdapat dalam tabel dibawah ini yaitu :

Tabel 4.1 Perencanaan Jumlah Beton

Pengujian	Umur	Persentase Variasi Campuran Beton					Jumlah
		0%	2%	4%	6%	8%	
Kuat Tekan	28 Hari	3	3	3	3	3	15
Pemulihan Retakan	28 Hari		3	3	3	3	12
Total							27

7. Perawatan (*curing*)

Pada penelitian ini perawatan yang digunakan adalah perendaman dalam air, yang dilakukan di bak perendaman Laboratorium Universitas Islam Riau dengan umur 28 hari.

8. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mencari perbandingan kuat tekan rencana dengan kuat tekan yang dihasilkan dari umur rencana 28 hari.

9. Hasil dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan didapat setelah pengujian kuat benda uji beton. Hasil dan pembahasan bertujuan untuk merangkum segala hasil pengujian yang dilakukan terhadap benda uji beton.

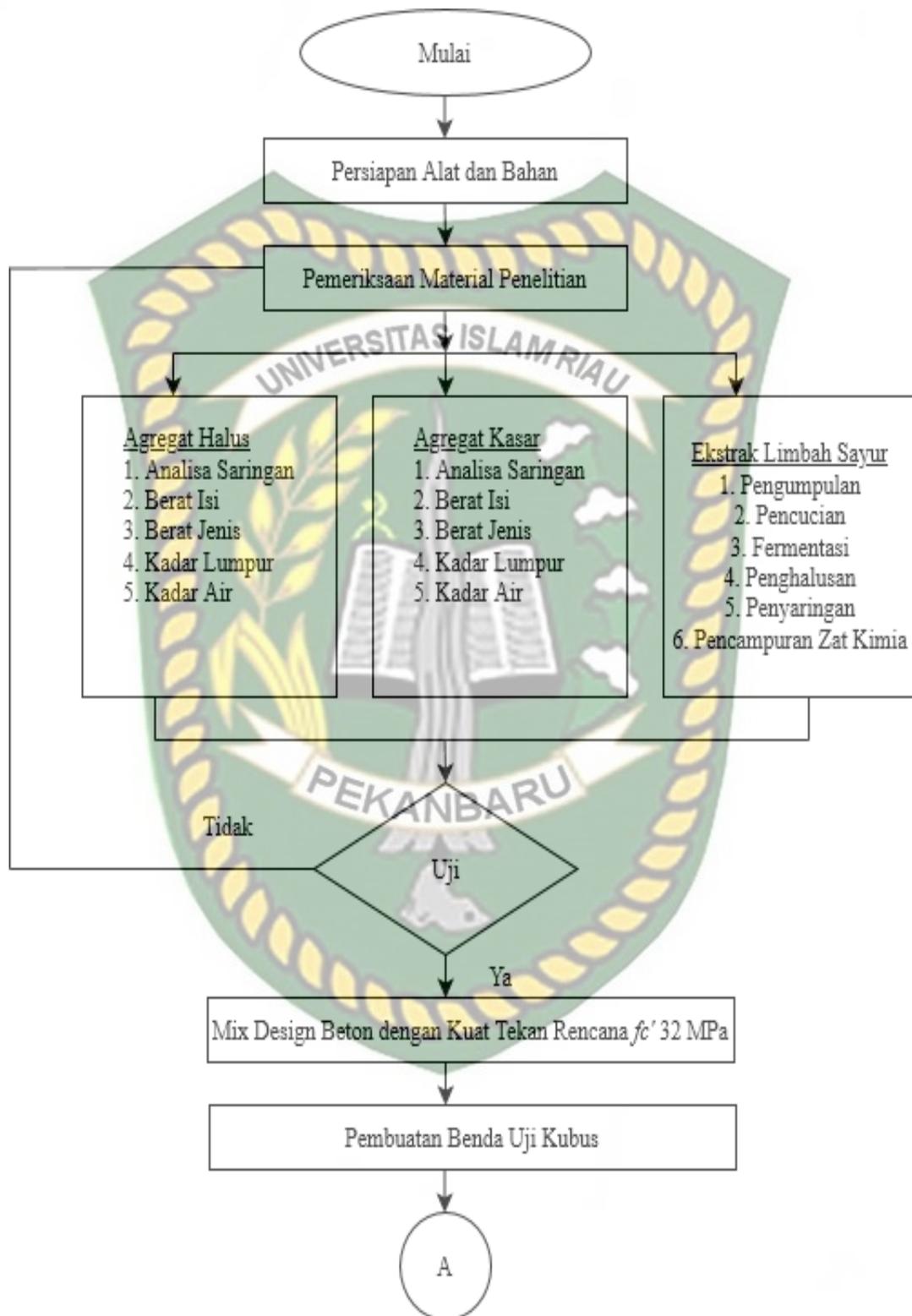
10. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran bertujuan menyimpulkan apa yang di dapat dari penelitian dan saran kepada peneliti selanjutnya.

11. Selesai

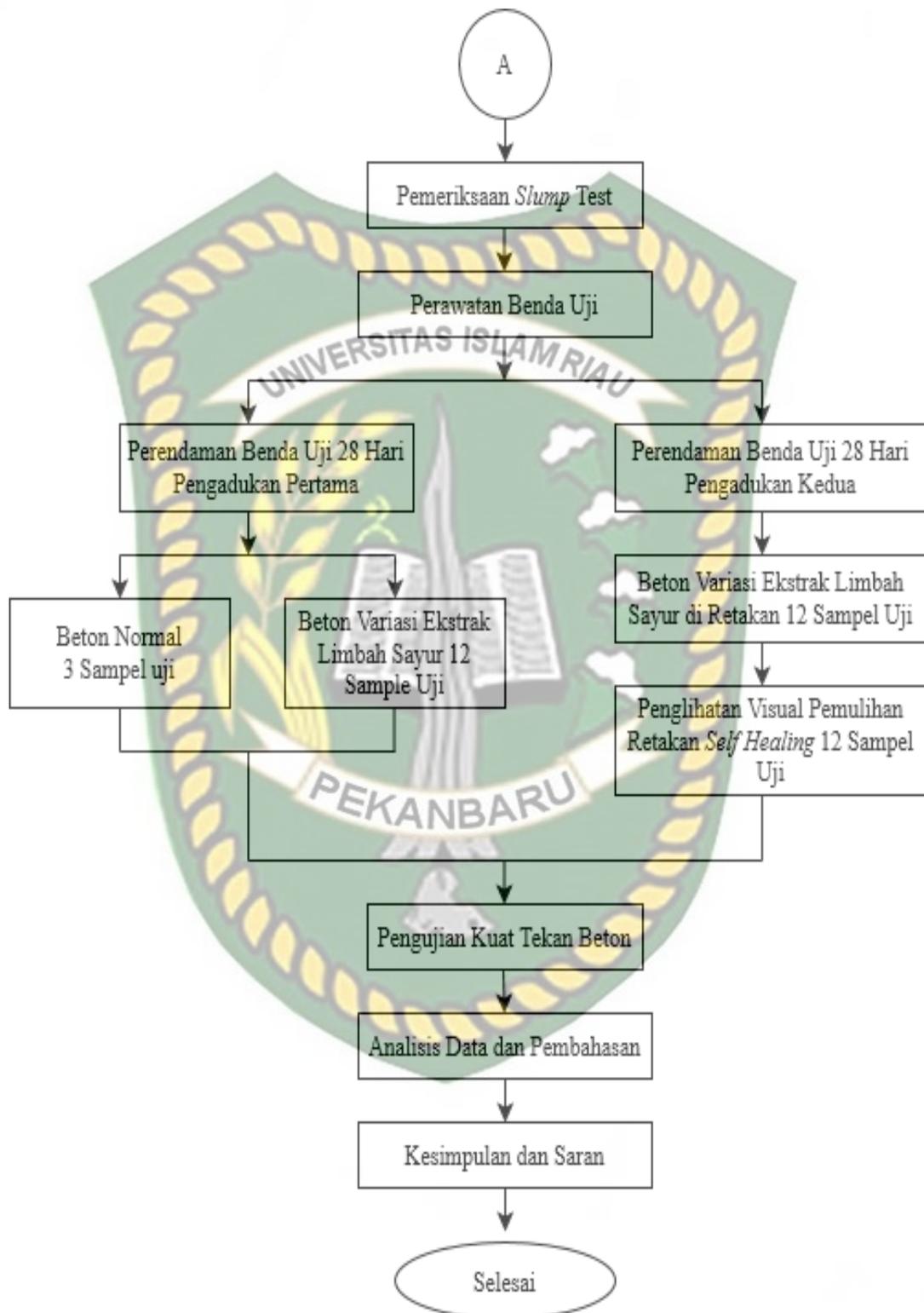
Adapun uraian tahap pelaksanaan penelitian disajikan untuk mengetahui langkah-langkah pelaksanaan penelitian dalam penulisan tugas akhir. Secara garis besar tahap pelaksanaan penelitian pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.33 :





Dokumen ini adalah Arsip Miilik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau



Gambar 4. 34 Bagan Alir Penelitian

4.8 Tahapan Analisis Data

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

1. Pembuatan Bakteri dari Ekstrak Limbah Sayur
 - a. Pengumpulan limbah sayur dari pasar tradisional
 - b. Pencucian limbah sayur dari pasir
 - c. Penghancuran limbah sayur dengan blender
 - d. Penyaringan ekstrak limbah sayur
 - e. Penglarutan kalsium klorida (CaCl_2) dan urea ke dalam Ekstrak limbah sayur
 - f. Ekstrak limbah sayur dimasukkan kedalam jerigen.
2. Pemeriksaan Material
Data yang dianalisis pada pemeriksaan material yaitu :
 - a. Pengujian analisa gradasi agregat kasar dan agregat halus
 - b. Pengujian berat isi agregat halus dan agregat kasar
 - c. Pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar
 - d. Pengujian kadar air agregat halus dan agregat kasar
 - e. Pengujian kadar lumpur agregat halus dan agregat kasar
3. Menghitung Perencanaan Pembuatan beton
 - a. Menentukan kebutuhan agregat kasar
 - b. Menentukan kebutuhan agregat halus
 - c. Menentukan kebutuhan semen
 - d. Menentukan kebutuhan ekstrak bakteri limbah sayur
 - e. Menentukan kebutuhan air
4. Analisa Pengujian beton sesuai (SNI 03-2834-2000)
 - a. Menentukan rata-rata kuat tekan beton
 - b. Menentukan rata-rata kuat tekan beton retakan
5. Analisa *Self Healing* Pada Beton
 - a. Menguji Kuantifikasi Kalsium Karbonat pada Beton
 - b. Menglihat Secara Visual Pemulihan Retakan Pada Beton

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Benda Uji

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

5.1.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Gradasi agregat halus dinyatakan dengan nilai persentase banyaknya agregat halus tertahan atau melewati suatu saringan 4,8 mm atau saringan No. 4. Hasil penelitian analisa saringan dapat di lihat pada Tabel 5.1.

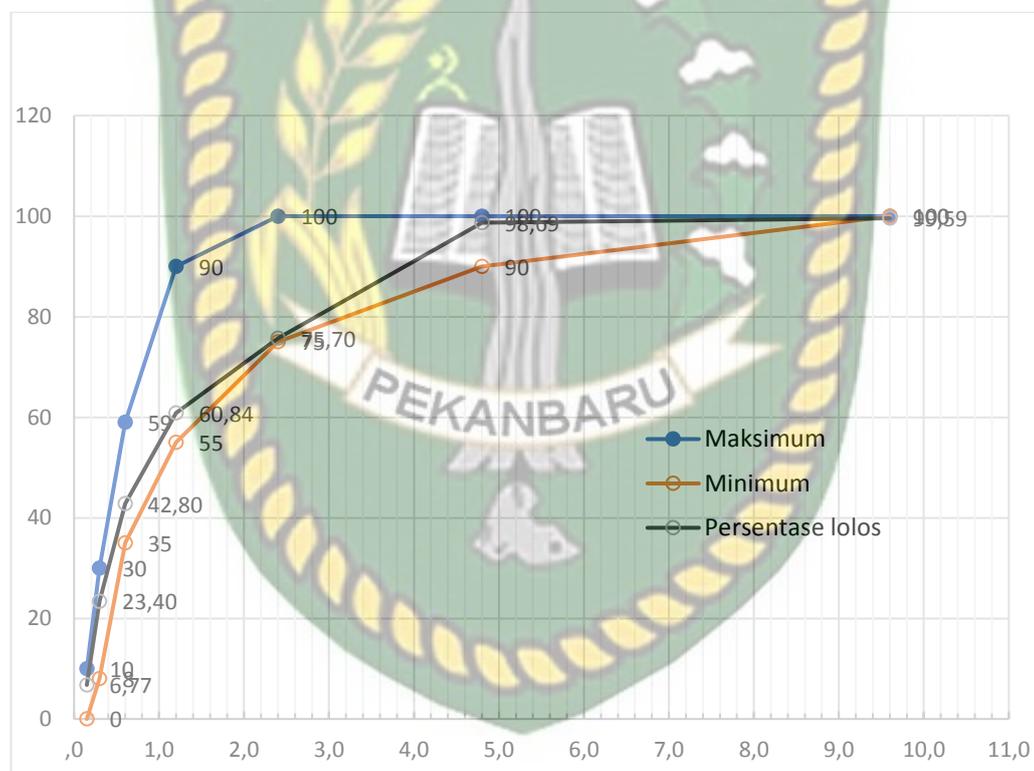
Tabel 5.1 Hasil Persentase Lolos Agregat Halus (Hasil Penelitian, 2021)

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 Saringan	100	100	100	100	99,7	98	77	63,3	45	25,3	10,5	6,41

Hasil Tabel 5.1 pemeriksaan analisa saringan tersebut digunakan untuk memperoleh jumlah persentasi butiran pada agregat halus dan menentukan batas gradasi. Dapat diketahui bahwa agregat halus memenuhi syarat batas gradasi, yaitu pada daerah zona II. Dapat dilihat saringan 1,5" sampai 1/2" masing-masing persentase lolos sebesar 100%. Pada saringan 3/8" persentase yang lolos 99,65%, pada saringan ukuran No.4 persentasi 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%. Hasil data pemeriksaan analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada lampiran B.3

Dari Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos saringan agregat halus berada diantara batas maksimum dan minimum pada setiap ukuran saringan. Dapat dilihat dalam grafik dibawah ini dan lampiran B.1.



Gambar 5.1 Grafik gradasi agregat halus (Hasil Penelitian, 2021)

5.1.2 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar

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

Tabel 5.2 Hasil Analisa Saringan persentase Lolos Agregat Kasar 1/2 (Hasil Penelitian, 2021)

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 Saringan	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 diketahui bahwa besar butir agregat maksimum adalah 20 mm. Persentase lolos agregat kasar ukuran 1/2 saringan 1 1/2" dan 1 " persentase lolos 100%, Saringan 3/4" persentase lolos 49,10 %. Saringan 1/2" persentasi lolos sebesar 3,52%. Saringan ukuran 3/8" sampai dengan saringan No.100 memiliki nilai persentase lolos 0,60%, dan saringan No.200 memiliki nilai persentase lolos 0,48%. Hasil data pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Lampiran B-6.

Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa persentase lolos saringan agregat kasar berada diantara batas maksimum dan minimum batas zona III pada setiap ukuran saringan, seperti pada grafik gradasi agregat kasar dibawah ini.



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar (Hasil Penelitian, 2021)

5.1.3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Berat isi berujuan untuk mengetahui perbandingan berat dan volume agregat. Pada Lampiran B-7, dan Lampiran B-8 dapat dilihat hasil dari penelitian berat isi agregat dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat (Hasil Penelitian, 2021)

Material	Berat Isi (gr/cm ³)		Nilai Standar	Keterangan
	Kondisi Gembur	Kondisi Padat		
Agregat Halus	1.65	1.74	1.4 – 1.9	Ok Ok
Agregat Kasar	1.34	1.,475	1.4 – 1.9	Tidak Ok Ok

Dari Tabel 5.3 diatas menyatakan bahwa hasil pemeriksaan berat isi pada agregat halus dan agregat kasar memenuhi standar untuk digunakan dalam pengadukan beton.

5.1.4 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat halus dan agregat kasar, serta penyerapannya. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat yaitu sebagai berikut.

- a. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus (Hasil Penelitian, 2021)

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

Dari Tabel 5.4 diketahui hasil pemeriksaan berat jenis untuk agregat halus seperti berat jenis semu, berat jenis permukaan, dan berat jenis curah hasil penelitian ini mencapai standar. Sedangkan pada penyerapan yaitu 0,53 % tidak mencapai standar, yang mana standarnya adalah 2% - 7%. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran B-9.

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

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Hasil Penelitian, 2021)

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

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

5.1.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Kadar air pada agregat diketahui untuk mengetahui kandungan air dalam agregat dan menghitung jumlah air pada pengadukan beton sesuai perbandingan air atau FAS. Hasil pemeriksaan kadar air agregat dapat dilihat pada tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat (Hasil Penelitian, 2021)

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

Dari Tabel 5.6 diketahui bahwa hasil pengujian agregat halus memiliki kadar air 2,57%, 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%.

Hasil pengujian kadar air agregat kasar memiliki kadar air yang rendah yaitu 0,76% , dapat di lihat pada Lampiran B-16. Kadar air pada agregat kasar tidak sesuai standar SNI 03-4142-1996 spesifikasi kadar air yaitu 3% sampai 5%. Pada agregat kasar nilai kadar air yang terkandung tidak mencapai standar karena agregat kasar yang digunakan adalah batu Pecah lokal dari PT. Riau Mas Bersaudara Rimbo Panjang yang mana air terkandung di dalamnya sangatlah kecil.

5.1.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat

Pemeriksaan kadar lumpur pada penelitian ini menggunakan metode penjumlahan bahan agregat yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Analisa perhitungan kadar lumpur dapat dilihat pada Lampiran B-18 dan Lampiran B-19. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur (Hasil Penelitian, 2021)

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

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

5.2 Hasil Pemeriksaan Beton

Hasil pemeriksaan beton terdiri dari hasil pemeriksaan pengadukan beton (*mix design*), hasil pengujian nilai *slump*, hasil pengujian kuat tekan dan hasil pengujian pulih retakan serta pengujian kuat tekan beton pulih retakan.

5.2.1 Hasil pemeriksaan campuran beton

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

Tabel 5.8 Hasil Proporsi Campuran Beton Untuk Tiap 3 Benda Uji Kubus (hasil Penelitian, 2021)

Persentase Bakteri	Semen (kg)	Air (liter)	Ag. Ha (kg)	Ag.Ka (kg)	Ekstrak Limbah Sayur (gram)
0%	4,528	2,5189	8,98	12,665	-
2%	4,4374	2,5189	8,98	12,665	0,9056
4%	4,3468	2,5189	8,98	12,665	1,8112
6%	4,2563	2,5189	8,98	12,665	2,7168
8%	4,1657	2,5189	8,98	12,665	3,6224

Pada Tabel 5.8 diketahui bahwa proporsi campuran beton normal untuk tiap 3 benda uji kubus menggunakan air, agregat halus, agregat kasar, adalah 2,5189 liter; 8,98 kg; 12,665 kg. Untuk variasi 0% bakteri semen yang dibutuhkan sebanyak 4,528 kg. Untuk variasi 2% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,4374 kg dan 0,09056 kg. Untuk variasi 4% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,3468 kg dan 0,18112 kg. Untuk variasi 6% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,2563 kg dan 0,27168 kg. Untuk variasi 8% bakteri semen dan bakteri yang dibutuhkan sebanyak 4,1657kg dan 0,36224 kg.

5.2.2 Hasil Dan Analisa Nilai *Slump*

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada table 5.9 berikut.

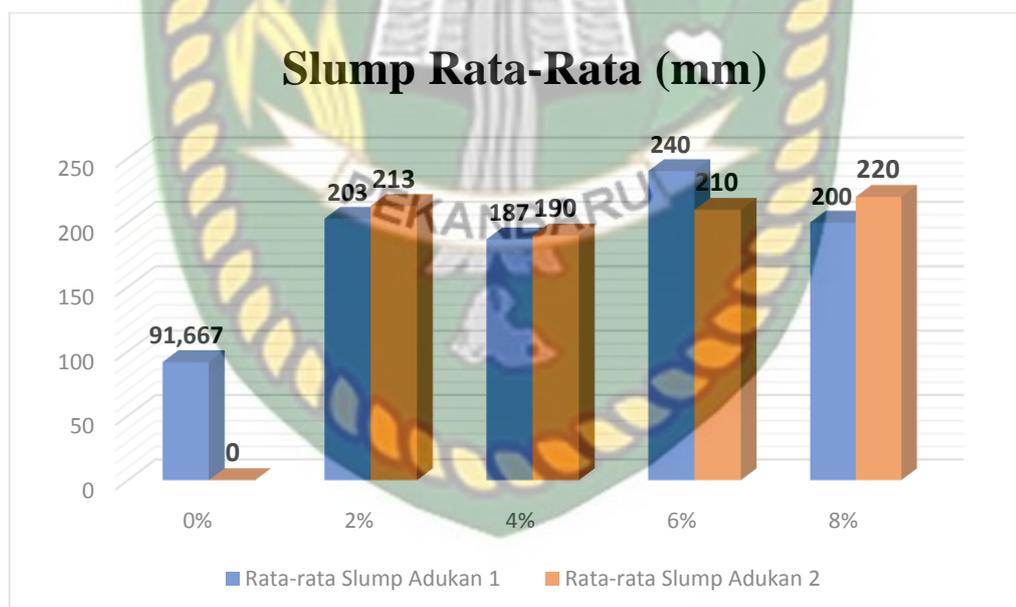
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Nilai *Slump* (Hasil Penelitian, 2021)

No.	Persentase variasi	<i>Slump</i> Pengadukan 1 (mm)	Rata-rata <i>Slump</i> Adukan 1 (mm)	<i>Slump</i> Adukan 2 (mm)	Rata-rata <i>Slump</i> Adukan 2 (mm)
1	0%	80	91,667	-	-
		90			
		105			
2	2%	190	203	190	213
		200		220	
		220		230	
3	4%	170	187	170	190
		190		190	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Nilai Slump (Lanjutan) (Hasil Penelitian, 2021)

		200		210	
4	6%	230	240	200	210
		240		210	
		250		220	
5	8%	180	200	210	220
		200		220	
		220		230	

Dapat dilihat tabel 5.9 diketahui nilai *slump* tersebut, beton variasi 2%, 4%, 6%, 8% tidak memenuhi nilai standar *slump* yang disarankan. Nilai maksimum *slump* yang disarankan untuk pemakaian pelat, balok, kolom, dan dinding 15cm dan minimumnya 7,5 cm. Nilai *slump* dapat dilihat lebih jelas pada grafik berikut.

**Gambar 5.3** Grafik Nilai slump rata-rata (Hasil Penelitian, 2021)

5.2.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton *self healing* dilaksanakan setelah masa perawatan benda uji berumur 28 hari, dari hasil pengujian beton benda uji kubus dengan menggunakan alat uji kuat tekan maka di dapat hasil utuk tiap benda uji dengan penambahan bakteri ekstrak limbah sayuran dengan variasi 0%, 2, 4%,

6%, dan 8% sebagai pengganti sebagian semen yang digunakan. Benda uji dilakukan kuat tekan sebanyak dua kali pada tiap variasi.

5.2.4 Hasil kuat tekan beton setelah perendaman selama 28 hari

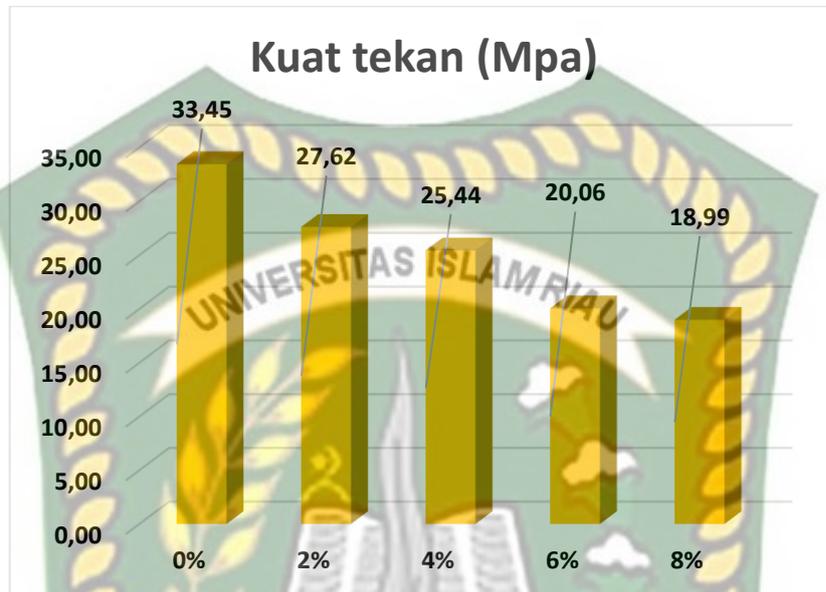
Analisa pengujian kuat tekan beton setelah perendaman 28 hari dapat dilihat pada lampiran A-12. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.10

Tabel 5.11 Hasil kuat Tekan Beton setelah perendaman 28 hari (Hasil Penelitian, 2021)

Variasi (%)	Umur (Hari)	Dimensi (mm)	Kuat Tekan beton (Kg/cm ³)	f'c Rerata (MPa)	Kenaikan (%)
0%	28	150 × 150 x 150	402,983	33,45	-
2%	28	150 × 150 × 150	332,765	27,62	-21,108
4%	28	150 × 150 × 150	306,462	25,44	-31,486
6%	28	150 × 150 × 150	241,657	20,06	-66,750
8%	28	150 × 150 × 150	228,838	18,99	-76,145

Dari Tabel 5.10 dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan umur 28 hari beton kubus di dapat untuk beton normal tanpa bakteri memiliki rata-rata 33,45 MPa. Pada beton dengan varian 2% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 27,62 MPa mengalami penurunan 21,108% dari beton normal. Untuk beton dengan varian 4% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 25,44 MPa mengalami penurunan 31,486 % dari beton varian sebelumnya. Untuk beton dengan varian 6% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 20,06 MPa mengalami penurunan 66,750 % dari beton varian sebelumnya. Untuk beton dengan varian 8% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 18,99 MPa mengalami penurunan 76,145 % dari beton varian sebelumnya.

Dari data pada Tabel 5.10 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton umur 28 Hari (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan gambar grafik 5.4 dapat dilihat bahwa hasil uji kuat tekan beton umur 28 hari kuat tekan maksimum berada di beton normal tanpa bakteri 0% dengan nilai 33,45 MPa. Nilai kuat tekan minimum berada pada variasi 8% bakteri sebagai pengganti sebagian semen dengan nilai 18,99 MPa.

5.2.5 Hasil kuat tekan beton setelah pemulihan retakan selama 28 hari

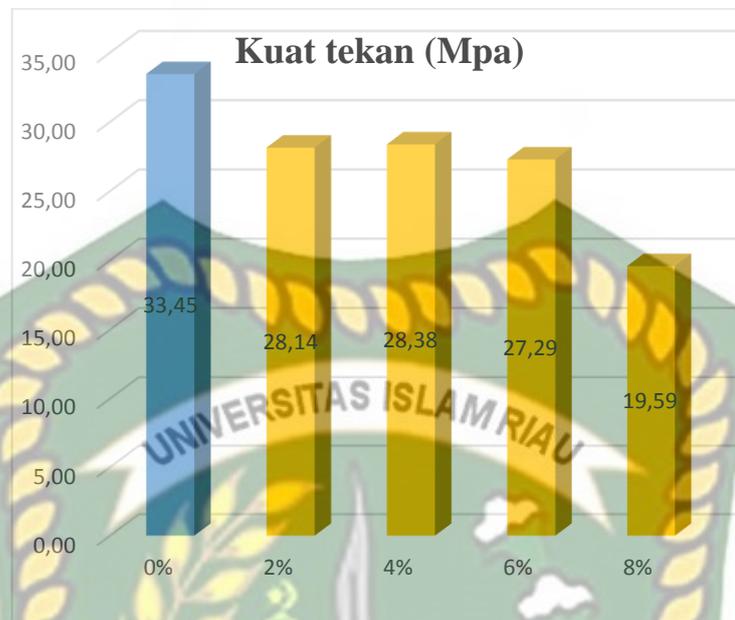
Analisa pengujian kuat tekan beton setelah pemulihan retakan selama 28 hari dapat dilihat pada lampiran A-13. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.11

Tabel 5.12 Hasil kuat Tekan Beton setelah pemulihan retakan 28 hari (Hasil Penelitian,2021

Variasi (%)	Umur (Hari)	Dimensi (mm)	Kuat Tekan beton (Kg/cm ³)	$f'c$ Rerata (MPa)	Kenaikan (%)
0%	28	150 × 150 x 150	402,983	33,45	-
2%	28	150 × 150 × 150	339,035	28,14	-18,870
4%	28	150 × 150 × 150	341,869	28,38	-17,865
6%	28	150 × 150 × 150	328,749	27,29	-22.572
8%	28	150 × 150 × 150	236,021	19,59	-70,750

Dari Tabel 5.12 dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan setelah pemulihan retakan 28 hari beton kubus. Pada beton dengan varian 2% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 28,14 MPa mengalami penurunan 18,870% dari beton normal. untuk beton dengan varian 4% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 28,38 MPa mengalami penurunan 17,865 % dari beton varian sebelumnya. untuk beton dengan varian 6% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 27,29 MPa mengalami penurunan 22,572 % dari beton varian sebelumnya. untuk beton dengan varian 8% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 19,59 MPa mengalami penurunan 70,750 % dari beton varian sebelumnya.

Dari data pada Tabel 5.11 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 5.5 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton 28 Hari Setelah Retakan (Hasil Penelitian, 2021)

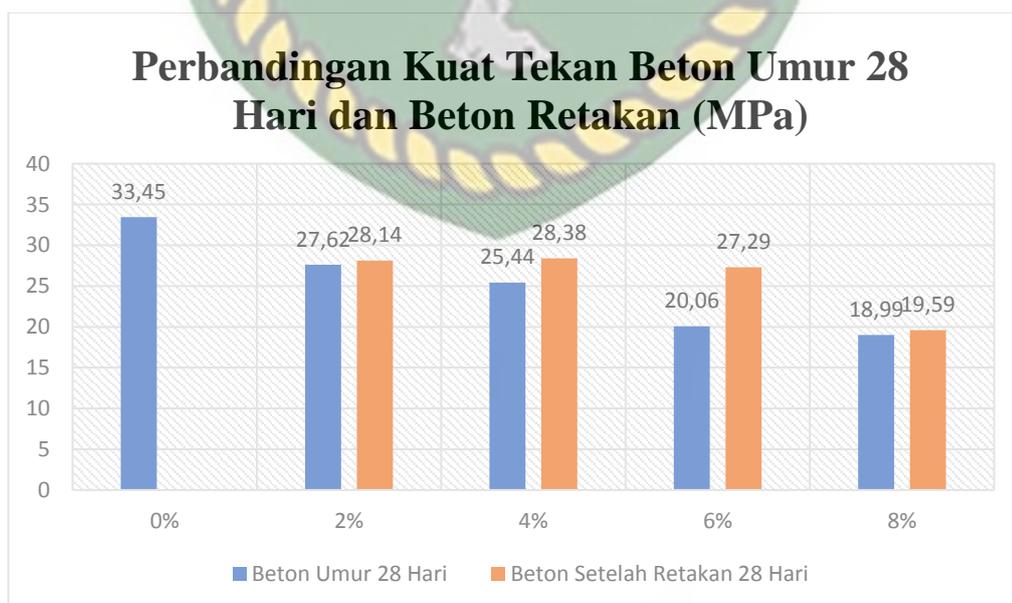
Berdasarkan gambar grafik 5.5 dapat dilihat bahwa hasil uji kuat tekan beton umur 28 hari kuat tekan maksimum berada di beton normal tanpa bakteri 0% dengan nilai 33,45 MPa. Nilai kuat tekan minimum berada pada variasi 8% bakteri sebagai pengganti sebagian semen dengan nilai 19,59 MPa.

Terdapat perbedaan pada hasil kuat tekan beton setelah perendaman umur 28 hari dan beton retakan, perbedaannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.13 Perbandingan Kuat Tekan Beton Perendaman 28 Hari dan Beton 28 Hari Setelah Retakan (Hasil Penelitian, 2021)

Variasi (%)	Dimensi (mm)	Beton 28 Hari (Mpa)	Beton Setelah Retakan 28 Hari (Mpa)	Kenaikan (%)
0	150 x 150 x 150	33,45	-	-
2	150 x 150 x 150	27,62	28,14	1,883
4	150 x 150 x 150	25,44	28,38	11,557
6	150 x 150 x 150	20,06	27,29	36,042
8	150 x 150 x 150	18,99	19,59	3,160

Dari tabel 5.13 dapat diketahui bahwa hasil perbandingan kuat tekan sebelum retakan 28 hari dengan setelah pemulihan retakan 28 hari beton kubus. Pada beton sebelum retakan 28 hari dengan varian 2% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat rata-rata 27,62 MPa dan pada beton setelah pemulihan retakan 28 hari rata-rata 28,14 MPa mengalami kenaikan 1,883% dari beton sebelum retakan 28 hari. Untuk beton dengan varian 4% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat pada beton sebelum retakan 28 hari rata-rata 25,44 MPa dan pada beton setelah pemulihan retakan 28 hari 28,38 MPa mengalami kenaikan 11,557 % dari beton sebelum retakan 28 hari. Untuk beton dengan varian 6% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat pada beton sebelum retakan 28 hari rata-rata 20,06 MPa dan pada beton setelah pemulihan retakan 56 hari rata-rata 27,29 Mpa mengalami kenaikan lebih tinggi 36,042 % dari beton varian sebelum retakan 28 hari. Untuk beton dengan varian 8% bakteri limbah sayuran nilai kuat tekan yang didapat pada beton sebelum retakan 28 hari rata-rata 18,99 MPa dan pada beton setelah pemulihan retakan 28 hari rata-rata 19,59 Mpa mengalami kenaikan 3,160 % dari beton varian sebelum 28 hari. Dari data pada Tabel 5.11 dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 5.6 Grafik perbandingan kuat tekan beton perendaman umur 28 hari dan beton retakan (Hasil Penelitian, 2021)

5.3 Hasil Analisa *Self Healing* Pada Beton

Kegiatan Analisa pemeriksaan pada *Self Healing Concrete* seperti hasil dari uji pulih retakan beton yang telah diretakkan dan hasil pengujian kuantifikasi kalsium karbonat (CaCO_3) yang terkandung pada beton.

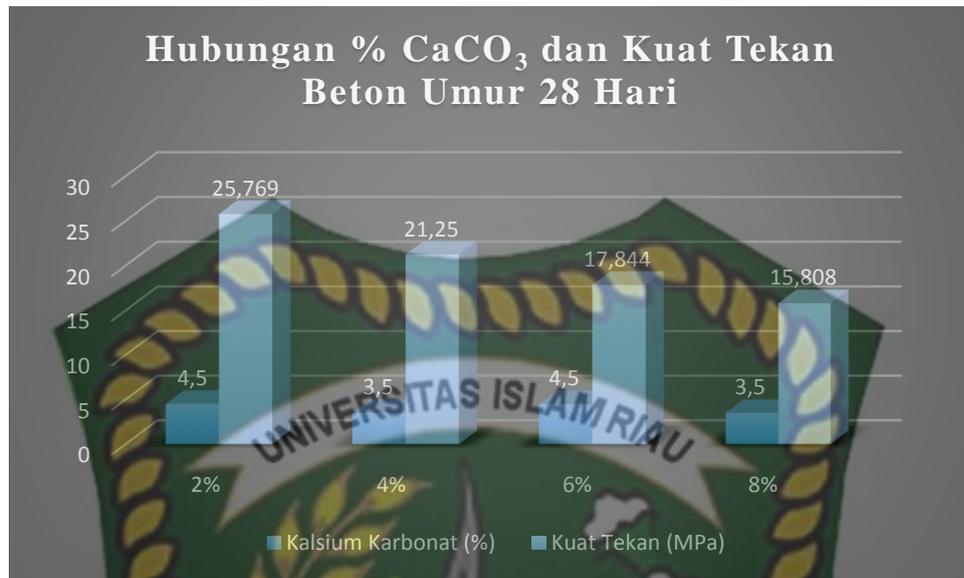
5.3.1 Hasil Pengujian Kuantifikasi Kalsium Karbonat

Pengujian Kuantifikasi karbonat dilakukan dengan cara mencampurkan Asam Klorida (HCL) dengan Beton *Self Healing* yang telah dihaluskan. Hasil dari reaksi yang hilang dari beton akan diasumsikan sebagai CaCO_3 pengujian kuantifikasi kalsium karbonat di uji menggunakan sampel beton yang telah mengalami keretakan dan pada sampel yang tidak diretakkan. Hasil dari pemeriksaan kadar CaCO_3 pada beton sebelum diretakkan dapat dilihat pada tabel 5.13 sebagai berikut :

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuantifikasi Kalsium Karbonat Sebelum Retakan (Hasil Penelitian, 2021)

Variasi Bakteri	2%	4%	6%	8%
Persentase CaCO_3	4,5%	3,5%	4,5%	3,5%
Kuat Tekan Beton	25,769	21,250	17,844	15,808

Dari Tabel 5.14 dapat diketahui bahwa kadar CaCO_3 pada variasi bakteri 2% memiliki persentase kadar CaCO_3 4,5%, pada variasi bakteri 4% memiliki kadar CaCO_3 sebesar 3,5%, pada variasi bakteri 6% memiliki kadar CaCO_3 sebesar 4,5% dan pada variasi bakteri 8% memiliki kadar CaCO_3 sebesar 3,5%. Dari tabel 5.13 kuantifikasi kalsium karbonat (CaCO_3) sebelum beton diretakan berbentuk grafik Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Kuantifikasi Kalsium Karbonat sebelum Beton Diredakkan (Hasil Penelitian, 2021)

Hasil uji kuantifikasi Kalsium Karbonat (CaCO₃) pada beton setelah diredakkan dapat dilihat pada tabel 5.14 sebagai berikut :

Tabel 5.15 Hasil Uji Kuantifikasi Kalsium Karbonat setelah retakkan (Hasil Penelitian, 2021)

Variasi Bakteri	2%	4%	6%	8%
Persentase CaCO ₃	3 %	2,5%	4,5%	4,5%
Kuat Tekan Beton	28,045	23,045	23,433	16,692

Dari tabel 5.15 diketahui nilai persentase kadar CaCO₃ Setelah beton diredakkan, pada variasi Bakteri 2% memiliki persentase kadar CaCO₃ 3%, pada variasi Bakteri 4% memiliki kadar CaCO₃ sebesar 2,5%, pada variasi Bakteri 6% memiliki kadar CaCO₃ sebesar 4,5% dan pada variasi Bakteri 8% memiliki kadar CaCO₃ sebesar 4,5%. Dari tabel 5.14 kadar kalsium karbonat (CaCO₃) setelah beton diredakkan berbentuk grafik Gambar 5.58 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Kuantifikasi Kalsium Karbonat Setelah Beton Diretakkan (Hasil Penelitian, 2021)

5.3.2 Hasil Penglihatan Secara Visual Penutupan Pada Retakan Beton

Uji Penglihatan Secara visual pemulihan retakan pada beton dengan cara melihat reaksi dari setiap persentase Bakteri dari ekstrak limbah Sayuran untuk memulihkan retakan yang terjadi pada beton. dari hasil retakan beton yang diamati dalam waktu 28 hari beton tersebut mengeluarkan zat kapur di permukaan beton dan memulihkan permukaan yang retak pada beton tersebut.

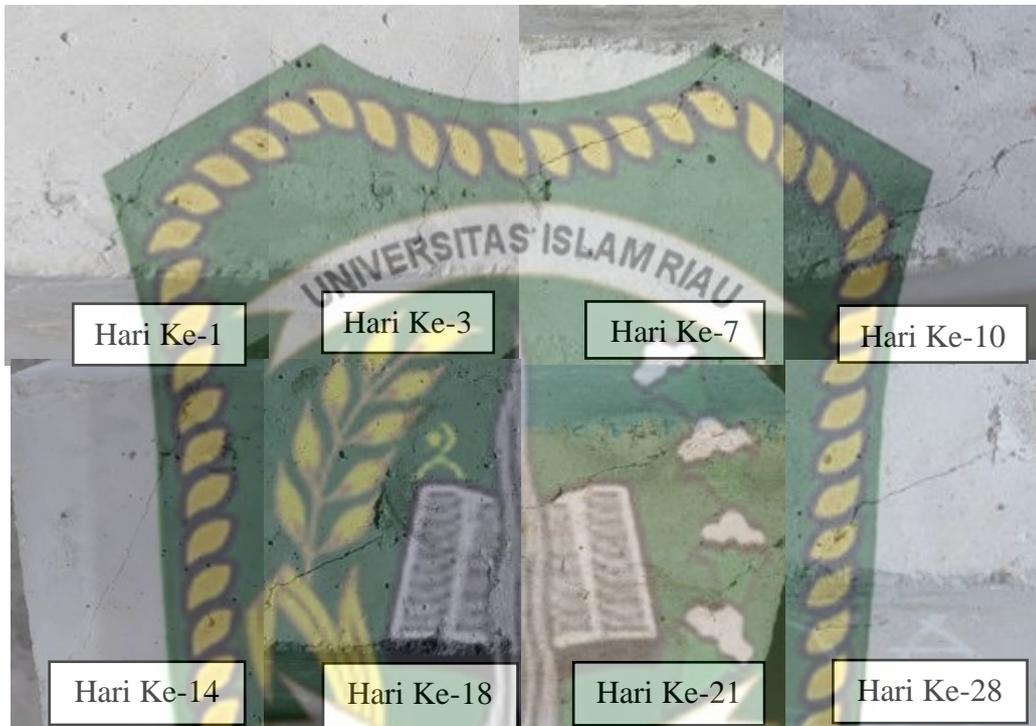
Hasil dari penglihatan secara visual pemulihan retakan pada beton yang telah ditutupi bakteri dari ekstrak limbah sayuran. Pemulihan retakan menggunakan 2% variasi bakteri dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut :



Gambar 5.9 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri dari Limbah Sayuran 2% (Hasil Penelitian, 2021)

Gambar 5.9 dapat dilihat hari ke-1 terjadinya awal peretakan. Pada hari ke-7 pemulihan retakan pada beton variasi 2% mengalami penutupan pada retakan beton. Pada hari ke-28 terlihat retakan hampir terisi penuh. Hal ini dikarenakan zat kapur yang dihasilkan dari ekstrak limbah sayuran dapat menutupi retakan namun ia belum dapat menutupi semua retakan pada beton.

Setelah itu, pemulihan retakan menggunakan 4% variasi Bakteri dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut :



Gambar 5.10 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 4% (Hasil Penelitian, 2021)

Dapat dilihat dari gambar 5.10 Pemulihan retakan pada beton variasi 4% mengalami penutupan pada beton hari ke-14 namun ia belum menutupi semua retakan. Pemulihan retakan hampir menutupi retakan pada waktu 28 hari.

Setelah itu, pemulihan retakan beton dengan menggunakan variasi bakteri sebanyak 6% dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 5.11 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 6% (hasil Penelitian, 2021)

Dapat dilihat dari gambar 5.11 pada hari ke-1 terjadinya awal peretakan. Pada hari ke-18 retakan hampir menutupi semua retakkan. Pemulihan retakan pada beton variasi 6% mengalami penutupan pada retakan beton hampir menutupi semua retakan pada hari ke-28.

Setelah itu, pemulihan retakan menggunakan 8% variasi Bakteri dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut :



Gambar 5.12 Pemulihan Retakan Variasi Bakteri Limbah Sayuran 8% (Hasil Penelitian, 2021)

Diketahui Gambar 5.12 Pemulihan retakan pada beton variasi 8% ekstrak limbah sayuran hampir pulih pada hari ke -28, hal ini dapat dilihat pada sifat fisik beton berubah warna kekuningan dan mengeluarkan zat kapur.

Dapat disimpulkan bahwa dari penutupan retakan pada beton dari setiap variasi persentase ekstrak limbah sayuran mengalami pemuilhan pada retakannya. Retakan yang terjadi pada beton secara perlahan-lahan tertutupi oleh zat kapur yang dihasilkan dari ekstrak limbah sayuran. Dan pada hari ke 28 pada setiap variasi persentase nya mengalami hamper pulih seutuhnya, dan sifat fisik beton berubah warna kekuningan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan tentang Pengaruh Limbah Sayuran dengan Faktor Air Semen 0,55 terhadap *Self Healing Concrete*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton pada perendaman umur 28 hari pada penelitian *self healing concrete* ini variasi 0% dengan nilai kuat tekan 33,45 MPa. Untuk variasi 2% bakteri dengan nilai kuat tekan 27,62 Mpa. Untuk variasi 4% bakteri dengan nilai kuat tekan 25,44 MPa. Untuk variasi 6% bakteri dengan nilai kuat tekan 20,06 MPa. Untuk variasi 8% bakteri dengan nilai kuat tekan 18,99 MPa. Kuat tekan beton setelah pemulihan retakan 28 hari dengan variasi 2% bakteri nilai kuat tekan 28,14 MPa. Untuk variasi 4% bakteri nilai kuat tekan 28,38 MPa. Untuk variasi 6% Bakteri nilai kuat tekan 27,29 MPa. Untuk variasi 8% bakteri nilai kuat tekan 19,59 MPa. Nilai kuat tekan beton pada perendaman 28 hari mengalami penurunan di bandingkan dengan beton variasi 0% bakteri dan pada beton setelah pemulihan retakan 28 hari mengalami penurunan kuat tekan pada persentase variasi 2%, 4%, 6%,8%. Namun tetapi pada perbandingan nilai kuat tekan beton setelah pemulihan retakan 28 hari mengalami kenaikan dibandingkan dengan beton perendaman umur 28 hari dengan variasi 2% nilai kenaikannya 1,883%, untuk variasi 4% nilai kenaikannya 11,557%, untuk variasi 6% nilai kenaikannya 36,042%, untuk variasi 8% nilai kenaikannya 3,160%.
2. Jumlah kadar kalsium karbonat (CaCO_3) dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan pada setiap variasi persentase 2%, 4%,6%,8% berbanding lurus. Semakin banyak kadar kalsium karbonat (CaCO_3) maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.
3. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *self healing concrete* dapat

menjadi alternatif yang kompeten dan zat yang digunakan untuk beton berkualitas tinggi yang ramah lingkungan, hemat biaya dan juga menghasilkan peningkatan daya tahan bahan bangunan.

4. Dapat dilihat secara visual retakan pada beton mengalami perubahan, tetapi tidak terlalu signifikan. Retakan pada beton perlahan menutup retakan beton seiring dengan waktu perawatannya. Pada permukaan beton terdapat zat kapur yang menempel di telapak tangan apabila di usap dan perubahan warna pada beton. Ini dapat menunjukkan zat kapur yang dihasilkan dapat menutupi retakan tetapi retakan-retakan yang berukuran kecil dengan ukuran sebesar helai rambut

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan peretakan beton dengan seragam menggunakan mesin uji kuat tekan
2. Mengetahui terlebih dahulu jenis bakteri yang dapat digunakan ke dalam campuran beton
3. Perlu adanya Memodifikasi atau menambah variasi konsentrasi bakteri dan metode yang digunakan
4. Perlu dilakukan *scanning electron microscope* terhadap beton untuk mengetahui perkembangan bakteri dalam mengisi ruang beton.
5. Melakukan pengukuran awal mula saat retakan beton dan melakukan pengukuran kembali pada saat penutupan retakan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrulloh, T., Riyanto, S., & Rochman, T. (2021). Pengaruh Limbah Abu Alumunium Sebagai Subtitusi Agregat Halus Dengan Faktor Air Semen Yang Berbeda Pada Beton Ringan Terhadap kuat Tekan Dan Absorpsi. *Online Skripsi*, 2, 97–103.
- Anonim. (1991). *TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG SK SNI T-15-1991-03*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Antoni, & Nugraha, P. (2007). *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset.
- Arizki, R., Sari, I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh Jumlah Semen Dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Yang Berasal Dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 68–76.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6798>
- Dick, J., De Windt, W., De Graef, B., Saveyn, H., Van Der Meeren, P., De Belie, N., & Verstraete, W. (2006). *Bio-deposition of a calcium carbonate layer on degraded limestone by Bacillus species*. *Biodegradation*, 17(4), 357–367.
<https://doi.org/10.1007/s10532-005-9006-x>
- Dispohusodo, I. (1993). *Struktur Beton Bertulang SK (Vol. 3). SNI T-15-1991*.
- Doloksaribu, B., & Nababan, D. S. (2018). Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*, 7(1), 1–11.
- Elisa, N., Djauhari, Z., & Yuniarto, E. (2018). Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri Bacillus Subtilis Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri. *Jurnal Online Mahasiswa FTeknik*, 5, 1–6.
- Ghodke, P., & Mote, S. (2018). *THE SELF-HEALING CONCRETE—A REVIEW*. *February*, 29–34.
- Herlambang, W., & Saraswati, A. (2017). *Bio Concrete : Self-Healing Concrete*, Aplikasi Mikroorganisme Sebagai Solusi Pemeliharaan Infrastruktur Rendah Biaya. *Simposium II – UNIID 2017, March*, 1–5.

- Indonesia, S. N. (1990). *Sni 03 – 1972 – 1990 Metode Pengujian Slump Beton* (pp. 1–12).
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (1974). *Metode pengujian kuat tekan beton*. 1–17.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal* (pp. 1–34).
- International, A. (1950). *ASTM C-150, 1950 Standard Specification for Portland Cement*.
- Mehta, P. K. (1999). *Advancements in Concrete Technology*. In *Canadian Journal of Civil Engineering* (Vol. 21, pp. 69–76). <https://doi.org/10.1139/l86-075>
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton* (Kedua). C.V Andi Offset.
- Nasional, bandar standarisasi. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI- 03-2847-2002*.
- Nawy, E. G. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* (Pertama). PT. Eresco.
- Ningsih, W. (2021). *Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Darah (ANADARA GRANOSA) SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA CAMPURAN BETON* (pp. 1–162). Universitas Islam Riau.
- Pandit, A., Shaikh, S., Mangalwedhekar, P., Jagtap, S., & Gorade, S. (2018). *A Review Paper on Bacterial Concrete*. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 5(5), 10–15. www.ijiere.com
- Pangeran, & Karolina, R. (2016). Tugas akhir. *PENGARUH KUAT TEKAN BETON DENGAN MENCAMPURKAN BAKTERI BASILUS SUBTILIS YANG DIKAPSULISASI DENGAN KALSIMUM LAKTAT*, 1–130. <https://doi.org/10.31227/osf.io/d9ut7>
- Pekerjaan Umum, D. (1971). *Peraturan Beton Bertulang indonesia 1971 N.I. -2* (pp. 1–130). Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik.
- Pertiwi, D., & Ananda, F. A. (2020). Pengaruh Faktor Air Semen Pada Beton yang Menggunakan Fly Ash dan Copper Slag. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 19–28. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2020.v1i1.896>

- Prasad, C. V. S. R., & Lakshmi, T. V. S. V. (2017). *Emerging Way to Enhance the Durability of Concrete Structures through Bacterial addition: Bacterial concrete*. *Indian Concrete Journal*, 58–61.
- Purwanto, H. (2018). *Pengaruh Penambahan Kawat Baja Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Tarik Belah*. Universitas Islam Riau.
- Ramadhan, M. R., & H, P. (2021). *Evaluation of carbonate precipitation methods for improving the strength of peat soil* *Evaluation of carbonate precipitation methods for improving the strength of peat soil*. 1–10.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012032>
- Rao, M. V. S., Reddy, V. S., Hafsa, M., Veena, P., & Anusha, P. (2013). *Bioengineered concrete - A sustainable self-healing construction material*. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(6), 45–51.
- Rochani, I., Prasetyo, A., & Kurniawan, A. (2016). *Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri (Bacillus Subtilis) Sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton*. 30, 49–57.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006><http://dx.doi.org/10.1016/j.neps.2015.06.001><https://www.abebooks.com/Trease-Evans-Pharmacnosy-13th-Edition-William/14174467122/bd>
- Teknik Sipil, L. (2017). *Panduan Praktikum Teknologi dan Bahan*. Universitas Islam Riau.
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset.
- Tjokrodimuljo, K. (1995). *Teknologi Beton. Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik*. Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro penerbit.
- Umum, D. P. (1991). SNI 03-2495-1991 Spesifikasi bahan tambahan untuk beton departemen pekerjaan umum. In *Sni 03-2495-1991*. Yayasan LPMB.
- Wang, J. Y., Van Tittelboom, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2010). *Potential of applying bacteria to heal cracks in concrete*. *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 1807–1818.