

**PENGARUH AIR LAUT PADA PROSES *CURING* DAN *TREATMENT*
TERHADAP KEKUATAN BETON**

(Skripsi)

Oleh

RENDITYAS MAYANG SARI

1955011009



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

ABSTRACT

THE EFFECT OF SEAWATER ON THE CURING AND TREATMENT PROCESS ON THE STRENGTH OF CONCRETE

By

RENDITYAS MAYANG SARI

The construction of civil structures in coastal areas requires building materials that are resistant to seawater. However, seawater has a significant impact on the strength of concrete. This study aims to analyze the effect of seawater and the marine environment on the strength and depth of carbonation in concrete. Cube concrete samples with a size of 15x15x15 cm were cured using fresh water and seawater for 7, 14, 28, and 56 days. The results showed that concrete cured with seawater had lower compressive strength values than concrete cured with freshwater, with compressive strengths of 273,53 kg/cm², 302,23 kg/cm², 331,21 kg/cm², and 316,01 kg/cm², respectively. In addition, concrete exposed to the marine environment also experienced a decrease in compressive strength values at 28 and 56 days of age in each sample. Sample BAZ (426,63 kg/cm²); BTZ (384,09 kg/cm², 361,05 kg/cm²); BSZ (351,6 kg/cm², 342,2 kg/cm²). Carbonation tests obtained at 28 and 56 days of age on BUR and BAZ samples were 0 mm, BTZ 4,4 mm and 6,4 mm, and BSZ 7,4 mm and 11 mm. This indicates that the higher the depth of carbonation, the lower the compressive strength of concrete. These results confirm that seawater and the marine environment have a significant negative impact on the strength of concrete. Therefore, proper material selection and good maintenance are key to construction in coastal areas.

Keywords : Compressive strength, Curing, Sea water, Carbonation

ABSTRAK

PENGARUH AIR LAUT PADA PROSES CURING DAN *TREATMENT* TERHADAP KEKUATAN BETON

Oleh

RENDITYAS MAYANG SARI

Pembangunan konstruksi sipil di daerah pantai memerlukan bahan bangunan yang tahan terhadap air laut. Namun, air laut memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh air laut dan lingkungan laut terhadap kekuatan serta kedalaman karbonasi pada beton. Sampel beton berbentuk kubus dengan ukuran 15x15x15 cm dicuring menggunakan air tawar dan air laut selama 7, 14, 28, dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang dicuring dengan air laut memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang dicuring dengan air tawar, dengan kuat tekannya sebesar 273,53 kg/cm², 302,23 kg/cm², 331,21 kg/cm², dan 316,01 kg/cm². Selain itu, beton yang terpapar lingkungan laut juga mengalami penurunan nilai kuat tekan pada usia 28 dan 56 hari pada tiap sampel. Sampel BAZ (426,63 kg/cm²); BTZ (384,09 kg/cm², 361,05 kg/cm²); BSZ (351,6 kg/cm², 342,2 kg/cm²). Pengujian karbonasi yang didapatkan pada usia 28 dan 56 hari pada sampel BUR dan BAZ 0 mm, BTZ 4,4 mm dan 6,4 mm, BSZ 7,4 mm dan 11 mm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semakin tinggi kedalaman karbonasi, semakin turun kuat tekan beton. Hasil ini menegaskan bahwa air laut dan lingkungan laut memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap kekuatan beton. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat dan perawatan yang baik menjadi kunci dalam konstruksi di daerah pantai.

Kata Kunci : Air laut, *Curing*, *Treatment*, Kuat tekan, Karbonasi

**PENGARUH AIR LAUT PADA PROSES *CURING* DAN *TREATMENT*
TERHADAP KEKUATAN BETON**

Oleh

RENDITYAS MAYANG SARI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH AIR LAUT PADA PROSES
CURING DAN TREATMENT TERHADAP
KEKUATAN BETON**

Nama Mahasiswa : **Rendityas Mayang Sari**

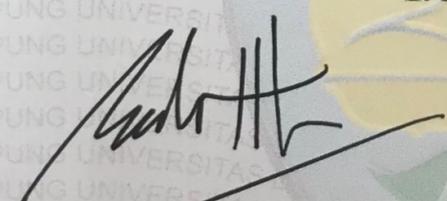
Nomor Pokok Mahasiswa : 1955011009

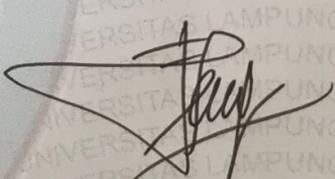
Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

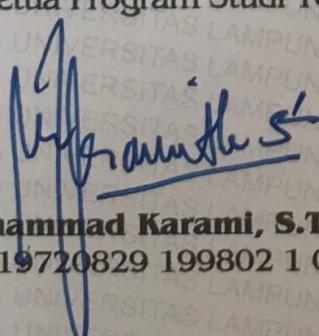
1. Komisi Pembimbing

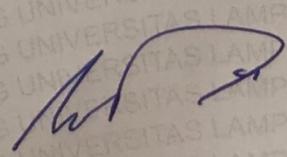

Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP 19700430 199703 1 003


Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004

2. Ketua Program Studi Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

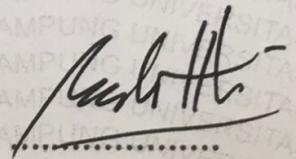

Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

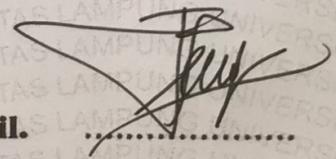
Ketua

: **Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**



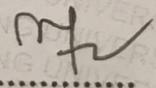
Sekretaris

: **Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **04 Oktober 2023**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **RENDITYAS MAYANG SARI**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1955011009**

Judul : Pengaruh Air Laut Pada Proses *Curing* dan
Treatment Terhadap Kekuatan Beton

Jurusan : **Teknik Sipil**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah karya penulisan ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 04 Oktober 2023
Penulis,



RENDITYAS MAYANG SARI
NPM: 1955011009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Barat pada tanggal 28 Juli 2001. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Buchori, S.P. dan Ibu Sukmawati S.Pd.SD. Penulis memiliki dua orang saudara yaitu kakak perempuan yang bernama Erica Mayang Sari dan adik laki-laki yang bernama M. Revandi.

Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 01 Trimulyo lulus pada tahun 2013 kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMP S Al Kautsar Bandar Lampung lulus pada tahun 2016. Setelah itu, melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas di SMA S Al Kautsar Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi dalam maupun luar kampus yakni: sebagai anggota Departemen Usaha dan Karya Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) pada tahun 2019 sampai 2020, sebagai sekretaris Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) pada tahun 2021 sampai 2022, dan mengikuti *volunteer* FIM Regional Bandar Lampung pada tahun 2021 sampai 2022. Pada tahun 2022 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di salah satu proyek yang dilakukan di Rumah Singgah dan *Community Space* Urip Sumohardjo dan melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukajaya, Kecamatan Pagar Dewa, Kabupaten Lampung Barat, Lampung.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten dosen praktikum mekanika fluida dan hidrolika pada tahun 2022 sampai 2023. Penulis mengambil tugas akhir berjudul “Pengaruh Air Laut Pada Proses *Curing* dan *Treatment* Terhadap Kekuatan Beton”.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkah, rahmat, dan karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ku persembahkan karya ku ini kepada :

Papa dan Mama ku tercinta yang selalu mendukung, membimbing, mendoakan, memberi semangat, memotivasi dan hal lainnya yang tak dapat kuungkapkan dengan kata-kata.

Kakak, Adik, dan Keponakan ku yang banyak menghibur, menemani, dan memotivasi agar aku bisa mencapai semua mimpi ku selama ini.

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa yang selalu membimbing dan mendidikku untuk segera menyelesaikan kewajibanku.

Tim penelitian skripsi ku yang selalu membantu dalam melakukan penelitian dan menemani dalam membuat skripsi.

Sahabat dan teman-temanku SOLID 19. Terima kasih karena selalu menemani, mendukung, dan memotivasiku selama ini untuk menjadi manusia terbaik dalam hidupku.

Almamaterku Universitas Lampung

KATA INSPIRASI

“Kau merasa tenang dalam pesawat, padahal kau tidak mengenal pilotnya. Kau merasa tenang di atas kapal laut, padahal kau tidak mengenal nahkodanya. Tapi mengapa kau tidak merasa tenang dalam hidupmu? Padahal kau tahu bahwa Allah yang mengatur alam semesta”
(Syekh Mutawalli asy-Sya’rawi)

“Keberhasilan adalah kemampuan untuk melewati dan mengatasi dari satu kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat”
(Winston Churchill)

“Lebih baik bertempur dan kalah daripada tidak pernah bertempur sama sekali”
(Arthur Hugh Clough)

“Kebahagiaan hidup yang sebenarnya adalah hidup dengan rendah hati”
(W.M. Thancheray)

“Dari semua hal, pengetahuan adalah yang paling baik, karena tidak kena tanggung jawab maupun tidak dapat dicuri, karena tidak dapat dibeli, dan tidak dapat dihancurkan”
(Hitopadesa)

“Pendidikan mempunyai akar yang pahit, tapi buahnya manis”
(Aristoteles)

“Setelah makan, pendidikan merupakan kebutuhan utama rakyat”
(Danton)

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia serta anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“PENGARUH AIR LAUT PADA PROSES *CURING* DAN *TREATMENT* TERHADAP KEKUATAN BETON”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S-1 Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku dosen Pembimbing Utama yang memberikan bimbingan, pengarahan dan saran kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Pembimbing Kedua yang memberikan motivasi saran dan membimbing penulisan skripsi.
6. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Pembahas atas kesediaannya memberikan kritik dan saran bagi perbaikan skripsi.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. C. Niken, DWSBU., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.

8. Serta seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil UNILA angkatan 2019 yang telah berjuang bersama, berbagi kenangan dan pengalaman yang tak terlupakan.
9. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri karena telah mampu berusaha dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah menyerah sesulit apapun prosesnya.

Penulis menyadari akan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki penulis sehingga masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak dan berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 04 Oktober 2023

Penulis,

Rendityas Mayang Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Beton	6
2.2. Bahan Pembentuk Beton	7
2.2.1. Air	7
2.2.2. Semen PCC (<i>Portland Composite Cement</i>)	8
2.2.3. Agregat	9
2.3. Perawatan (<i>Curing</i>) Beton	10
2.4. Pengaruh Air Laut	11
2.5. Tingkat Kerusakan Beton	12
2.6. Kuat Tekan Beton	13
2.7. Uji Karbonasi	14
2.8. Penelitian Sebelumnya	16
2.8.1. Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton	16
2.8.2. Pengaruh Air Laut dalam Campuran Beton	16
2.8.3. Pengaruh Perawatan Beton Menggunakan Air Laut	17
2.8.4. Pengaruh Lingkungan Laut Pada Kuat Tekan Beton	18
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Lokasi Penelitian	20
3.2. Prosedur Pelaksanaan	20
3.3. Persiapan Alat dan Bahan	22
3.3.1. Alat	22
3.3.2. Bahan	24
3.4. Pemeriksaan Material	25
3.5. Hasil pengujian <i>Properties</i> Material	25

3.6. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	26
3.7. Pembuatan Sampel Benda Uji	27
3.8. Pengujian <i>Workability</i> Beton Segar	28
3.9. Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	28
3.10. Pengujian Benda Uji	29
3.10.1. Uji Kuat Tekan	29
3.10.2. Uji Karbonasi	29
3.11. Analisis Hasil Penelitian	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Umum	31
4.2. Kelacakan Beton (<i>Wokrability</i>)	31
4.3. Peletakan Benda Uji	33
4.4. Pengamatan Visual	37
4.5. Pengujian Kuat Tekan Beton	40
4.6. Faktor Umur Terhadap Kelajuan Kuat Tekan.....	49
4.7. Pengujian Uji Karbonasi	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1. Kesimpulan.....	56
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema perusakan beton akibat air laut.....	13
2. Skema pengujian kuat tekan beton berbentuk kubus.....	14
3. Warna yang digunakan untuk menentukan nilai pH.....	15
4. Diagram alir penelitian.....	21
5. Pengujian <i>slump</i> sistem <i>treatment</i>	33
6. Pengujian <i>slump</i> sistem <i>curing</i>	33
7. Proses curing air tawar pada benda uji beton.....	34
8. Proses curing air laut pada benda uji beton.....	34
9. Peletakan sampel BSZ.....	35
10. Peletakan sampel BTZ.....	36
11. Posisi terendam seluruhnya sampel BTZ.....	36
12. Peletakan sampel BAZ.....	36
13. Peletakan sampel BUR.....	37
14. Kondisi benda uji BCT dan BCL.....	37
15. Efloresensi pada permukaan BCL.....	38
16. Sampel (a). BAZ, (b) BTZ, (c) BSZ.....	39
17. <i>Barnacle</i> pada permukaan beton.....	39
18. Sampel BUR.....	40
19. Kuat tekan pada beton dengan <i>curing</i> air tawar dan air laut.....	42
20. Grafik perbandingan kuat tekan beton curing air laut.....	43
21. Kuat tekan beton umur 28 hari dengan <i>curing</i> air tawar.....	46
22. Kuat tekan beton umur 56 hari dengan <i>curing</i> air tawar.....	47
23. Hasil pengujian kuat tekan beton <i>curing</i> air tawar.....	49
24. Hasil pengujian kuat tekan beton <i>curing</i> air laut.....	50
25. Perbandingan rasio kuat tekan BCT, BCL, dan PBI 1971.....	51
26. Penetrasi CO ₂ pada sampel (a) BUR, (b) BAZ, (c) BTZ.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Susunan Unsur Semen PCC	8
2. Ukuran Agregat Kasar	9
3. Batas Gradasi Agregat Halus	10
4. Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya	13
5. Hasil Pengujian Material Penyusun Beton.....	26
6. Komposisi Material Untuk K-350 Per 1 m ³	27
7. Data Jumlah Benda Uji Dengan Sistem <i>Curing</i>	27
8. Data Jumlah Benda Uji Dengan Sistem <i>Treatment</i>	27
9. Nilai <i>Slump</i> Beton	32
10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Akibat <i>Curing</i>	41
11. Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Akibat <i>Curing</i>	41
12. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Akibat <i>Treatment</i>	45
13. Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Akibat <i>Treatment</i>	45
14. Angka Korelasi Kekuatan Tekan Beton Dengan Berbagai Umur	49
15. Perbandingan Rasio Kuat Tekan Beton.....	50
16. Uji Karbonasi Pada Beton Sistem <i>Treatment</i>	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan konstruksi sipil di daerah pantai, memerlukan bahan bangunan yang tahan terhadap air laut, seperti beton. Beton merupakan bahan yang paling banyak dipakai dalam berbagai konstruksi teknik sipil, seperti jembatan, dermaga, pemecah gelombang (*break water*), *piers*, *jetty*, dan sebagainya (Khirunnisa, *et al.*, 2019).

Beton pracetak merupakan salah satu alternatif bentuk konstruksi yang dapat digunakan untuk bangunan tepi laut. Menurut SNI 7833-2012 “beton pracetak merupakan konstruksi yang komponen pembentuknya dicetak atau difabrikasi. Pengolahannya baik di lahan produksi ataupun di lapangan yang kemudian dipasang di lapangan, sehingga membentuk sebuah bangunan“ (p. 11). Pada prinsipnya, metode beton pracetak mengurangi kesulitan pekerjaan. Beton pracetak terdiri dari beton (campuran dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus) yang dicetak menjadi bentuk tertentu. Beton ini dibuat berdasarkan cetakan dan ukuran tertentu yang telah menyesuaikan dengan kebutuhan di lapangan. Namun demikian, kekuatan beton dipengaruhi air laut sehingga beton dapat mengalami kerusakan.

Air laut sendiri memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat mengurangi kekuatan dan keawetan beton. Umumnya air laut mengandung garam-garam laut $\pm 3.5\%$ dari beratnya. Konsentrasi ion Na^+ dan Cl^- sekitar 11000 dan 20000 mg/l, sedangkan ion Mg^{+2} dan SO_4^{-2} kurang lebih 1400 dan 2700 mg/l (Mehta, 2003). Air laut mempunyai pH 7.5-8.4. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang agresif yang masuk ke dalam beton dengan senyawa-senyawa di dalam beton yang

mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi kekuatan dan keawetan beton yang dihasilkan, salah satunya adalah proses perawatan atau *curing*. Perawatan beton biasanya dilakukan dengan air bersih tanpa bahan kimia, yang akan merusak kekuatan beton itu sendiri. Namun dalam proses pengolahan beton di daerah pesisir atau lepas pantai, tidak dapat dihindari adanya kontak dengan air laut. Kontak beton dengan air laut tentunya akan mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan (Uthaman, 2018).

Peneliti sebelumnya, Hunggurami, *et al.*, (2014), kuat tekan beton yang mengalami perawatan dengan air laut lebih tinggi dari pada beton yang mengalami perawatan dengan air tawar untuk masa perawatan 7 hari. Sementara untuk masa perawatan 14 hari dan 28 hari kuat tekan beton yang mengalami perawatan dengan air laut lebih rendah dari pada beton yang mengalami perawatan dengan air tawar. Hal ini menunjukkan bahwa beton yang mengalami perawatan dengan air laut memiliki kekuatan awal yang lebih tinggi dari pada beton yang mengalami perawatan dengan air tawar, namun setelah itu kekuatannya akan lebih rendah dan semakin tinggi mutu beton maka perbedaan kuat tekan antara beton yang mengalami perawatan dengan air laut dengan kuat tekan beton.

Sidiq dan Walujodjati (2021) menyatakan bahwa kuat tekan beton normal menggunakan perawatan air tawar dan setelah itu direndam di lingkungan air laut selama 7 hari mengalami peningkatan dan penurunan dengan rata-rata sebesar 12,26 MPa. Peningkatan hasil kuat tekan beton selama 7 hari perendaman pada lingkungan air laut terhadap beton normal yang direndam air tawar sebesar 4,84%. Pengujian kuat tekan beton normal yang terdapat dalam lingkungan air laut semasa 14 hari setelah perawatan beton dengan air tawar mengalami peningkatan dan penurunan dengan rata-rata sebesar 12,92 MPa. Peningkatan hasil kuat tekan beton selama 14 hari perendaman pada lingkungan air laut terhadap beton normal yang direndam air tawar sebesar 10,48%. Hasil persentase kuat tekan beton yang direndam

pada lingkungan air laut selama 7 hari dan 14 hari terhadap beton normal yang direndam selama 14 hari sebesar 7,66%.

Menurut Wora dan Segu (2014), sampel beton yang tidak direndam dengan air laut memperoleh hasil kuat tekan sebesar 25,75 MPa, sedangkan hasil sampel beton yang direndam dengan air laut sebagai berikut; umur 3 hari memperoleh hasil kuat tekan sebesar 24,40 MPa, umur 7 hari memperoleh hasil kuat tekan sebesar 23,96 MPa, umur 14 hari memperoleh hasil kuat tekan sebesar 23,47 MPa, umur 21 hari memperoleh hasil kuat tekan sebesar 22,39 MPa, umur 28 hari memperoleh hasil kuat tekan sebesar 21,32 MPa. Penurunan kuat tekan dari tanpa di rendam ke : 3 hari sebesar 5,24%, 7 hari sebesar 6,87%, 14 hari sebesar 8,85%, 21 hari sebesar 13,05%, 28 hari sebesar 17,20%. Berdasarkan hasil yang didiperoleh maka dapat disimpulkan bahwa beton yang terendam dalam air laut semakin lama direndam maka kualitasnya semakin menurun.

Kerusakan yang dialami beton akan mengakibatkan kerugian, terutama beton yang digunakan dalam infrastruktur laut misalnya pelabuhan. Kerusakan akan mengakibatkan turunnya kekuatan struktur dan memperpendek masa layan bangunan. Jika dibiarkan dan kerusakan yang terjadi semakin parah, maka bangunan tidak dapat dipergunakan kembali. Melihat pengaruh air laut yang signifikan pada beton, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh air laut terhadap beton dengan mempertimbangkan bidang kontak beton dengan air laut.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana dampak air laut terhadap laju kekuatan beton yang direndam di air tawar dan air laut?
2. Bagaimana pengaruh air laut pada kekuatan beton?
3. Bagaimana tingkat kedalaman karbonasi pada air laut terhadap kekuatan beton?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis dampak air laut pada laju kekuatan beton.
2. Menganalisis dampak air laut pada kekuatan beton (setelah beton berumur 28 hari) yang terkena udara ruangan, terendam di air laut, terendam pasang surut, dan terkena udara laut.
3. Menganalisis tingkat kedalaman karbonasi pada beton (setelah beton berumur 28 hari) yang terkena udara ruangan, terendam di air laut, terendam pasang surut, dan terkena udara laut.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Material yang digunakan antara lain semen PCC dengan merek Semen Padang dan air yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.
2. Mutu beton rencana K-350 dengan pengujian setelah umur 7, 14, 28, dan 56 hari.
3. Penelitian menggunakan benda uji jenis kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.
4. Air laut yang digunakan untuk *curing* beton berasal dari Pantai Mutun Lampung.
5. Perhitungan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode SNI 03 2834-2000.
6. Kekuatan beton yang diuji hanya terhadap kuat tekan beton kubus.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah :

1. Diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan mengenai pengaruh air laut terhadap kuat tekan beton.

2. Diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan mengenai karbonasi terhadap beton.
3. Diharapkan menjadi referensi untuk penelitian maupun pelaksanaan pekerjaan konstruksi tepi pantai.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun menggunakan sistematika penulisan yang baku agar memudahkan proses penyusunan. Adapun rincian sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir yang dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang landasan teori fundamental sebagai penunjang penelitian yang akan dilakukan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai gambaran umum dan metode yang akan digunakan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis serta pembahasan data berdasarkan teori yang ada.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir yang merupakan hasil dari pembahasan yang didapat dari pengolahan data dan saran dari hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton adalah jenis bahan bangunan buatan yang digunakan untuk konstruksi dan bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan perbandingan tertentu. Campuran bahan-bahan ini setelah dibentuk dan dicor atau dicetak, pada waktu tertentu akan mengeras yang berfungsi untuk menahan beban struktur (Wibowo, 2013). Biasanya orang mempercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan pengecoran, sebenarnya saat beton menjadi padat air tidak menguap, tetapi semen bereaksi terhadap air, merekatkan material lainnya bersama dan akhirnya membentuk seperti batu. Kelebihan dari beton adalah kuat tekan yang tinggi sedangkan kekurangannya adalah kuat tarik yang sangat rendah (Tjokrodinuljo, 1996).

Terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu sebagai berikut :

1. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
2. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah yang luas tulangan tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
3. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak ditempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.

4. Beton pratekan adalah beton dimana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan Tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
5. Beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar, ringan, dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural (Andika & Safarizki, 2019).

2.2. Bahan Pembentuk Beton

2.2.1. Air

Air adalah bahan dasar pembuat beton yang harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi persyaratan bahan bangunan, memenuhi syarat untuk bahan campuran beton. Air yang dapat dipakai untuk campuran beton adalah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih besar 90 persen kekuatan beton yang memakai air suling. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Pemakaian air untuk campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut (Tjokrodinuljo, 1992):

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya).
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

2.2.2. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Berdasarkan SNI-15-2049-2015 tentang spesifikasi semen *portland*, *Portland Composite Cement* (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama sama klinker semen *portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bahan organik lain. Bahan anorganik antara lain pozzolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen. Susunan unsur semen PCC (*Portland Composite Cement*) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Susunan Unsur Semen PCC

Oksida	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Soda / Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 - 1

(Sumber : Tjokrodimulyo, 1996).

Semen jenis PCC memiliki sifat tahan terhadap serangan sulfat, memiliki panas hidrasi yang rendah sampai sedang, dan kekuatan tekan awalnya kurang namun kekuatan tekan akhirnya lebih tinggi. Manfaat semen PCC ini adalah sebagai bahan pengikat untuk konstruksi beton umum, dam, atau komponen pondasi yang memiliki volume besar dan dengan kondisi air tanah yang korosif atau juga untuk bangunan sipil pada lingkungan yang agresif sulfat seperti dermaga dan bangunan-bangunan lain yang mengkondisikan panas hidrasi rendah dan tidak memerlukan kekuatan awal beton yang tinggi.

2.2.3. Agregat

Agregat menurut SNI 7656-2012, menyebutkan, agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah sebagai hasil disintegrasi alami yang dihasilkan dari industri pemecah batu yang mempunyai butir terbesar 0,5 mm untuk agregat halus. Sedangkan agregat kasar mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai dengan 40 mm.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil disintegrasi alami berasal dari jenis batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu.

Batas susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Ukuran Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan, besar Butir Maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : SNI 03-2847-2002).

Dalam penelitian kali ini digunakan agregat dengan ukuran maksimum 20 mm, karena semakin kecil ukuran maksimum agregat akan didapat kekuatan karakteristik beton yang lebih kuat.

b. Agregat Halus

Agregat halus (*Fine Aggregate*) adalah agregat yang berbutir kecil antara 0,15 mm dan 5 mm. Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat

menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Batas susunan butiran agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Batas Gradasi Agregat Halus

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

(Sumber : SNI 03-2847-2002).

Dalam Penelitian ini sesuai dengan karakteristik gradasi pasir yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam zona III.

2.3. Perawatan (*Curing*) Beton

Perawatan dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan tidak hanya dimaksud untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksud untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur. Perawatan beton ada 2 cara yaitu dengan cara penguapan dan pembasahan.

1. Perawatan beton dengan cara pembasahan yaitu :
 - a. Menaruh beton dalam ruangan lembab.
 - b. Menaruh beton dalam genangan air.
 - c. Menaruh beton dalam air.

- d. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
 - e. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
 - f. Menyirami permukaan beton secara kontinu.
2. Perawatan dengan uap yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. (Mulyono, 2004).

2.4. Pengaruh Air Laut

Air laut mengandung 3,5% garam-garaman yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium, dan florida (Hidayat, 2011). Kandungan klorida (Cl) yang begitu tinggi pada air laut merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang agresif yang terpenetrasi ke dalam beton dengan senyawa-senyawa di dalam beton. Garam sulfat pertama-tama akan bereaksi dengan kalsium hidroksida Ca(OH)_2 pada semen yang terhidrasi, sehingga membentuk kalsium sulfat (CaSO_4) dan kalsium aluminat hidrat ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) yang kemudian membentuk kalsium sulfoaluminat yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Hunggurami *et al.*, 2014).

Garam-garam Sodium yang terkandung dalam air laut dapat menjadi unsur yang berbahaya bila berkombinasi dengan agregat alkali yang reaktif, sama seperti dengan kombinasi dengan semen alkali. Karena itu air laut tidak boleh dipakai untuk beton yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar alkalinya rendah. Garam-garam seperti Kalsium Klorida dan Magnesium klorida akan bereaksi secara kimiawi dengan semen sehingga mengurangi *setting time*, kekuatan dini meningkat tetapi untuk kekuatan akhirnya menurun dan konsentrasi sulfat pada air laut juga bisa menyebabkan kerusakan pada pasta. Selain reaksi kimia,

kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam beton di atas permukaan air. Garam naik di dalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton (Nugraha & Antoni, 2007).

Maka dari itu biasanya untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan akibat pengaruh klorida dan sulfat pada beton ini, seringkali digunakan beton dengan mutu tinggi. Hal ini dimaksudkan agar penetrasi air laut ke dalam beton menjadi semakin sulit karena tingkat kepadatan beton yang tinggi. Sehingga kekuatan beton yang berada di lingkungan laut tidak mengalami perubahan.

2.5. Tingkat Kerusakan Beton

Tingkat kerusakan yang dialami beton berbeda-beda tergantung dari kondisi paparan atau bidang kontak beton dengan air laut. Tiga kondisi kerusakan beton akibat pengaruh air laut diilustrasikan pada Gambar 1.

1. *Submerged zone*

Submerged zone adalah bagian dari struktur yang selalu dan terus-menerus terendam air laut. Laju korosi karena kandungan klorida dalam air laut tergantung pada ketersediaan oksigen. Korosi tulangan jarang terjadi pada bagian ini karena kekurangan oksigen.

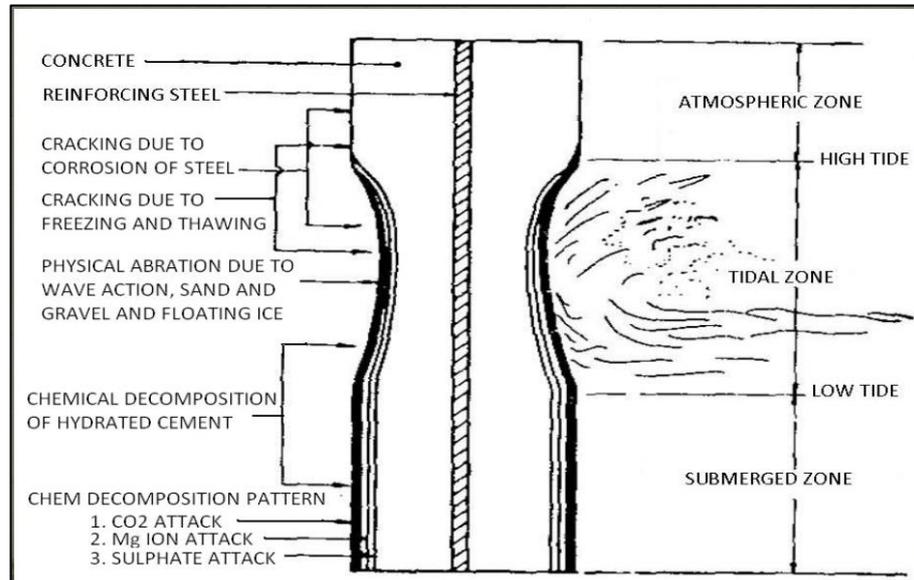
2. *Tidal zone*

Tidal zone adalah bagian dari struktur yang mengalami kondisi kering-basah berulang-ulang oleh air laut. Pada zona ini gelombang mencapai level air tertinggi dan terendah, beton mengalami semua jenis serangan baik fisik maupun kimia, dan tulangan rentan terhadap korosi karena adanya kombinasi antara kelembaban, garam, dan oksigen. Pada kondisi ini juga terjadi kerusakan karena kristalisasi garam.

3. *Atmospheric zone*

Atmospheric zone adalah bagian dari struktur yang berada di atas *tidal zone*. Kerusakan yang terjadi pada bagian ini menyerupai dengan

kerusakan yang terjadi pada tidal zone tetapi dalam tingkatan yang lebih rendah. Abrasi akibat gelombang dan benda mengambang tidak akan terjadi pada zona ini.



Gambar 1. Skema perusakan beton akibat air laut.
(Sumber : Mehta, 1980).

2.6. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji. Berdasarkan kuat tekan beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis yang dapat dilihat pada Tabel 4 .

Tabel 4. Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana	Sampai 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton Pra Tegang	30 – 40 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 – 80 MPa
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	>80 MPa

(Sumber : Tjokrodomuljo, 2007).

Menurut SNI 1974-2011, untuk menghitung kuat tekan beton dapat digunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan keterangan :

f'_c = Kuat tekan benda uji beton (MPa atau N/mm²)

P = Gaya tekan aksial atau Besar beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Untuk menghitung kuat tekan rata-rata benda uji dapat digunakan rumus :

$$f'_{cr} = \frac{\sum f'_c}{n} \dots\dots\dots (2)$$

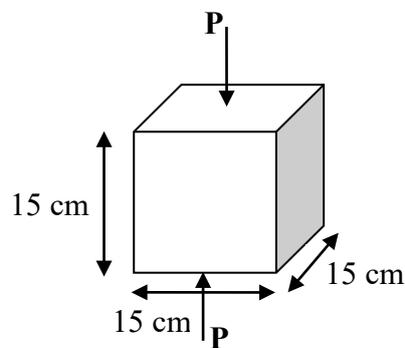
Dengan keterangan :

f'_c = Kuat tekan benda uji beton (kg/cm²)

f'_{cr} = Kuat tekan rata – rata dari jumlah benda uji (kg/cm²)

n = Jumlah benda uji

Hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan.



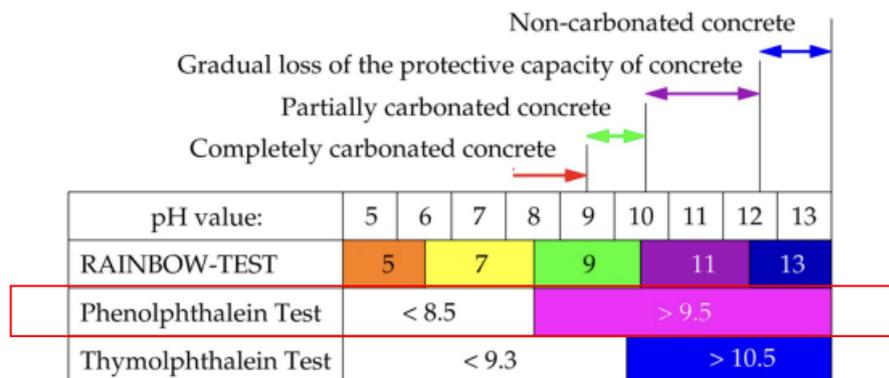
Gambar 2. Skema pengujian kuat tekan beton berbentuk kubus.

2.7. Uji Karbonasi

Metoda pengujian karbonasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kedalaman karbonasi beton terpasang. Karbonasi pada beton dapat terjadi

apabila gas CO_2 larut dalam air dan membentuk H_2CO_3 , kemudian bereaksi lagi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan hasil reaksi dari hidrasi semen dan membentuk CaCO_3 . Asam karbonik cair tersebut menyerang beton dan mengurangi alkalinitas beton. Dalam hal ini, derajat keasaman (pH) dari pori-pori air pada pasta semen keras akan menurun dan menyebabkan lapisan pelindung pada beton rusak (Bary, 2004).

Uji karbonasi untuk menentukan indikasi bahwa beton telah terkarbonasi dengan larutan *Phenophthalein* ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) sebagai indikator yang sesuai dengan standar PN-EN 14630:2007. Pengaruh karbonasi pada beton dapat diketahui dengan cara menyemprotkan larutan *phenophthalein* pada bagian dalam beton. Pengaruh *phenophthalein* pada beton adalah jika larutan *phenophthalein* pada beton berwarna ungu (inti pH beton $> 8,5$ maka beton bersifat basa) beton belum terkarbonasi. Sedangkan jika larutan *phenophthalein* pada beton tidak berwarna maka pH inti beton $< 8,5$ maka beton bersifat asam dan beton telah dalam kondisi terkarbonasi.



Gambar 3. Warna yang digunakan untuk menentukan nilai pH.
(Sumber : Hulimka & Kaluza, 2020).

Teknik pengujian ini berlandaskan seperti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bui, *et al* (2023) yang berjudul *Experimental Methods to Evaluate the Carbonation Degree in Concrete – State of the Art Review*. Pada penelitian tersebut, dilakukan pemotongan sampel menggunakan gerinda basah yang kemudian didiamkan hingga mengering. Lalu baru disemprotkan menggunakan cairan *phenophthalein*.

2.8. Penelitian Sebelumnya

2.8.1. Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton

Wibowo (2013) telah melakukan penelitian mengenai berapa besar pengaruh air laut pada kuat tekan beton normal dengan mutu K-175 yang dilakukan *curing* dengan menggunakan air laut yang selanjutnya dilakukan perbandingan dengan beton K-175 yang menggunakan air tawar. Penelitian ini menggunakan sampel beton berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.

Dari hasil penelitian, didapat bahwa beton normal K-175 yang dirawat menggunakan air laut mengalami penurunan kuat tekan sebesar 1,18 % pada usia 3 hari, 1,05% pada usia 7 hari, 1,24% pada usia 14 hari, dan 1,1% pada usia 28 hari. Beton yang menggunakan air laut sebagai campuran beton mengalami penurunan kuat tekan beton terhadap beton normal 8,1 % pada usia 3 hari dan 7,24 % pada usia 7 hari.

2.8.2. Pengaruh Air Laut dalam Campuran Beton

Mansyur (2013) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh kuat tekan dan elastisitas beton silinder yang dihasilkan dengan menggunakan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman. Sampel yang digunakan untuk uji kuat tekan sebanyak 3 sampel yang diuji pada umur 1, 3, 7, dan 28 hari.

Dari hasil pengujian kuat tekan pada umur 1, 3, 7, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan rencana 44 MPa, mampu dicapai oleh beton silinder pada umur 28 hari. Dari penelitian ini, menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang dicampur dengan menggunakan air laut tidak terjadi perbedaan kuat tekan yang signifikan dengan beton normal air tawar yang menggunakan faktor air-semen yang sama. Pada sampel beton air laut, peningkatan kuat tekan umur 1 hari sebesar 24,16%, umur 3 hari sebesar 39,92% dan umur 7 hari sebesar 67,44% dari rata-rata kuat tekan pada umur

28 hari yaitu 44,88 MPa. Sedangkan Pada sampel beton air tawar, peningkatan kuat tekan umur 1 hari sebesar 23,13%, umur 3 hari sebesar 39,83% dan umur 7 hari sebesar 67,88% dari rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 44,03 MPa.

2.8.3. Pengaruh Perawatan Beton Menggunakan Air Laut

Ahmad (2018) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh kuat tekan beton yang dicampur dengan air laut dan di rawat dengan air laut (BLL), beton yang dicampur air laut dan dirawat dengan air tawar (BLT), beton yang dicampur dengan air tawar dan dirawat dengan air tawar (BTT), dan beton yang dicampur dengan air tawar dan dirawat dengan air laut (BTL). Penelitian ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan dimensi 15 x 30 cm dan 10 x 20 cm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah perawatan beton selama 28 hari. Mutu beton rencana yang digunakan adalah $f'c$ 25 MPa dengan kandungan semen 450 kg/m³.

Dari hasil penelitian didapat bahwa kuat tekan beton yang dicampur dengan air laut (BLT dan BLL) mengalami peningkatan kuat tekan terhadap kuat tekan beton yang dicampur dengan air tawar (BTT dan BTL). Nilai kuat tekan beton yang dicampur air laut dan dirawat dengan air tawar BLT dan beton yang dirawat dengan air laut BLL adalah masing-masing sebesar 331,61 kg/cm² 352,29 kg/cm². Nilai ini lebih tinggi dari kuat tekan beton yang dicampur dengan air tawar dan dirawat dengan air tawar BTT dan beton yang dirawat dengan air laut BTL dengan kuat tekan beton masing-masing adalah 314,05 kg/cm² dan 297,80 kg/cm².

Rahman, *et al.*, (2019) juga telah melakukan penelitian mengenai perbandingan mutu beton yang perawatannya menggunakan air tawar dan air laut, pengaruh jenis air dalam perawatan *curing*, dan pengaruh *superplasticizer* dalam meningkatkan mutu beton yang menggunakan air laut sebagai proses *curing*. Sampel yang digunakan menggunakan mutu beton K-400 sebanyak 60 buah dengan cetakan kubus berukuran (15 cm x 15 cm x 15 cm) pada umur beton 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai kuat tekan tertinggi dicapai oleh Beton K-400 + SP 1% yang perawatannya menggunakan air tawar dengan nilai kuat tekan mencapai $423,9 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan Beton K-400 + SP 1% yang di *curing* dengan air laut mengalami penurunan dengan nilai kuat tekan beton mencapai $408,1 \text{ kg/cm}^2$ akan tetapi masih memenuhi syarat yang direncanakan. Maka dari itu, jenis air yang digunakan pada proses *curing* akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena visual pada benda uji yang di *curing* dengan air laut menyebabkan adanya pori-pori di sekitar permukaannya.

2.8.4. Pengaruh Lingkungan Laut Pada Kuat Tekan Beton

Khirunnisa, *et al.*, (2019) telah melakukan penelitian mengenai kuat tekan beton yang terpapar dengan air laut. Terdapat 3 kondisi kerusakan beton akibat pengaruh air laut yang ditinjau yaitu pada bagian dari struktur yang selalu dan terus-menerus terendam air laut (*Submerged zone*), bagian dari struktur yang mengalami kondisi kering-basah berulang-ulang oleh air laut (*Tidal zone*), dan bagian dari struktur yang berada di bagian paling atas atau hanya terkena udara laut saja (*Atmospheric zone*). Penelitian ini menggunakan benda uji yang dibuat adalah silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 38 sampel yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Pada penelitian ini, agar dapat diketahui pengaruh lingkungan laut tropis Banyuwangi pada beton, maka dibuat benda uji yang dirawat dengan cara *curing* air tawar (BAT) sebagai pembanding nilai kuat tekan. Benda uji BAZ (Beton diletakkan di *Atmospheric Zone*), BTZ (Beton diletakkan di *Tidal Zone*) dan BSZ (Beton diletakkan di *Submerged Zone*) di letakkan di area wisata Rumah Apung Bangsring Underwater yang mewakili laut sisi timur Kabupaten Banyuwangi.

Dari hasil penelitian, pada umur 7 hari benda uji yang telah berada selama 24 jam di lingkungan laut memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan benda uji *curing* air tawar. Dengan urutan kuat

tekan dari yang terbesar ke yang terkecil adalah benda uji BAT (25.84 MPa), benda uji BAZ (24.82 MPa), benda uji BTZ (23.01 MPa), dan yang terakhir benda uji BSZ (22.71 MPa). Benda uji BAZ memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji BTZ dan BSZ dan perbedaan hasil uji kuat tekan menunjukkan penurunan nilai kuat tekan yang signifikan. Pada pengujian umur 14 hari urutan kuat tekan dari yang terbesar ke yang terkecil adalah benda uji BAT (32.82 MPa), benda Uji BAZ (25.80 MPa), benda uji BSZ (24.97 MPa), dan yang terakhir benda uji BTZ (24.67 MPa). Pada pengujian umur 28 hari urutan kuat tekan dari yang terbesar ke yang terkecil adalah benda uji BAT (35.05 MPa), benda uji BAZ (32.22 MPa), benda uji BTZ (29.80 MPa), dan yang terakhir benda uji BSZ (27.16 MPa).

III. METODOLOGI PENELITIAN

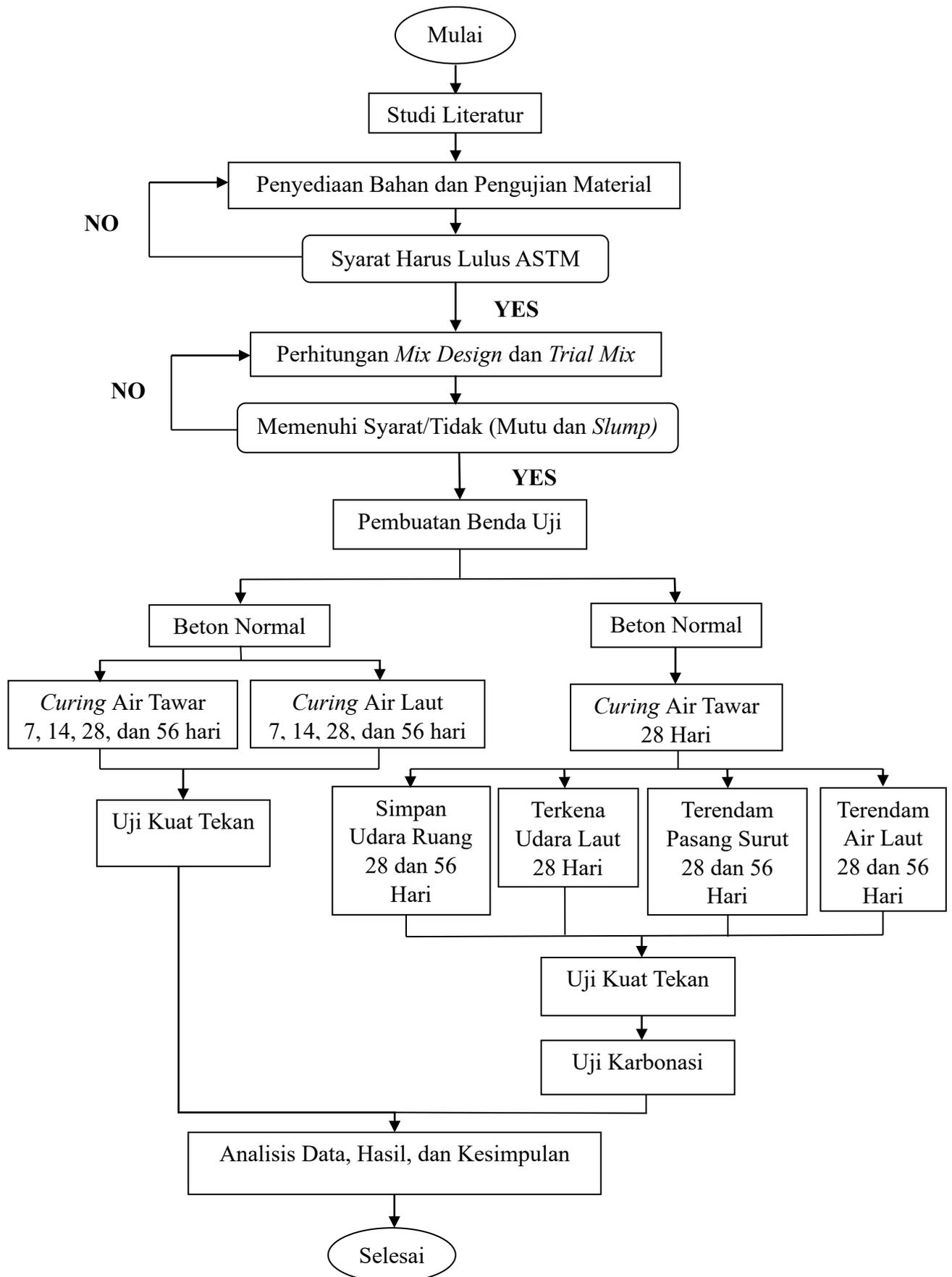
Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dimana dilakukan pengujian kuat tekan di laboratorium agar mendapatkan data dan hasil dari penelitian pada beton dengan melakukan *curing* menggunakan air tawar dan air laut lalu dilakukannya penelitian terhadap kuat tekan dan uji karbonasi beton yang berusia 28 hari disimpan di udara ruang, terendam air laut, terendam pasang surut, dan terkena udara laut. Penelitian ini dilakukan di dua tempat yaitu di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung dan Pantai Puri Gading Lampung. Pada penelitian ini menggunakan sampel berupa kubus dengan ukuran 15 x 15 x15 cm untuk pengujian kuat tekan yang akan di uji pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari.

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung dan di Pantai Puri Gading Lampung. Pengujian sampel beton yang teliti hanya dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

3.2. Prosedur Pelaksanaan

Pada tahap ini dibagi dalam beberapa bagian, yaitu pemeriksaan material, perencanaan *Mix Design* dan *Trial Mix*, pembuatan sampel benda uji, perawatan benda uji, dan kemudian pengujian sampel benda uji. Secara singkat diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Dalam melakukan penelitian ini, perlu dilakukan terlebih dahulu persiapan seluruh peralatan dan bahan yang akan digunakan. Pada penelitian ini, alat dan bahan yang dibutuhkan adalah :

3.3.1. Alat

a. Oven

Oven adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan bahan material yang akan di uji. Oven yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas suhu maksimum 110° C dan memiliki daya sebesar 2800 Watt.

b. Satu set saringan

Pada penelitian ini menggunakan satu set saringan dengan diameter saringan 37,5 mm; 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0,02 mm dan pan. Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat halus dan agregat kasar sesuai dengan gradasinya.

c. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat material yang akan digunakan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital elektrik yang memiliki kapasitas 30 kg dengan ketelitian 0,1.

d. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk menguji kandungan zat organik dan berat jenis agregat halus.

e. Gelas ukur 1000 cc

Gelas ukur 1000 cc merupakan wadah dan alat ukur yang digunakan untuk mengukur volume air sesuai dengan kebutuhan analisis kadar lumpur dan analisis berat jenis agregat halus (*Specific Gravity*).

- f. Cetakan kerucut pasir
Cetakan kerucut pasir adalah alat yang digunakan untuk melihat kondisi SSD dari pasir (*saturated surface dry*).
- g. Bejana silinder
Bejana silinder adalah alat yang digunakan untuk pengujian berat volume pada agregat halus dan kasar. Terdapat 2 bejana yang digunakan yaitu bejana yang berkapasitas 5 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat halus dan bejana yang berkapasitas 10 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat kasar.
- h. *Concrete mixer*
Concrete mixer adalah alat yang digunakan untuk mencampur semua material. Alat *concrete mixer* yang digunakan pada penelitian ini adalah molen mini yang memiliki kapasitas maksimal yaitu 0,125 m³ yang memiliki kecepatan 20-30 putaran permenit.
- i. Satu set alat *slump test*
Alat yang dipakai yaitu satu set kerucut abrams yang berdiameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm dan *base plate* memiliki tebal 3 mm dengan ukuran 900 x 900 mm. Alat ini digunakan untuk menguji *Workability* beton mutu tinggi yang telah memenuhi syarat *slump test*.
- j. Meteran
Alat meteran digunakan dalam mengukur tinggi *slump test* pada pengujian *slump test* beton mutu tinggi.
- k. Cetakan benda uji
Cetakan benda uji adalah alat yang digunakan untuk mencetak beton sesuai dengan bentuk dan kebutuhan. Cetakan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 dan tinggi 300 cm.
- l. Bak perendam
Bak perendam adalah alat yang digunakan pada saat proses perawatan beton. Hal ini dilakukan untuk menjaga kelembaban beton agar beton tidak cepat kehilangan air.

m. *Compression testing machine* (CTM)

Compression testing machine (CTM) adalah alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan beton. Alat *Compression testing machine* (CTM) yang digunakan memiliki kapasitas beban maksimal 3000 KN dengan merek CONTROLS.

n. Alat bantu

Alat bantu adalah alat yang digunakan untuk membantu dan memperlancar penelitian, seperti tongkat pemadat, kode warna, sekop, sendok semen, ember, container, *trolley*, *stopwatch*, gelas ukur, semprotan, dan alat tulis.

3.3.2. Bahan

a. Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah semen jenis PCC dengan merek Semen Padang. Semen ini diperoleh dari toko dengan keadaan tertutup dalam kemasan berukuran (zak) 50 kg.

b. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini harus bersih, tidak mengandung minyak, lumpur, garam dan barang yang dapat. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.

c. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir yang digunakan melalui beberapa tahap pengujian yang memenuhi standar ASTM. Pengujian yang dilakukan yaitu kadar air, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, gradasi agregat kasar, berat volume, kandungan zat organik dalam pasir.

d. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian sudah memenuhi standar ASTM dalam beberapa pengujian seperti kadar air, gradasi agregat kasar, berat jenis dan penyerapan, dan berat volume.

3.4. Pemeriksaan Material

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan material pada agregat kasar dan agregat halus. Data-data yang didapat kemudian disesuaikan dengan syarat ASTM yang ada. Kemudian, data yang didapat dari hasil pemeriksaan material tersebut digunakan untuk perhitungan *mix design* beton.

Pada agregat kasar dilakukan pengujian, antara lain :

1. Kadar air agregat kasar (ASTM C 556-78)
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127-88).
3. Gradasi agregat kasar (ASTM C 33-93)
4. Berat volume agregat kasar (ASTM C 29)

Pada agregat halus dilakukan pengujian, antara lain :

1. Kadar air agregat halus (ASTM C 566-78)
2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C128-98)
3. Kadar lumpur agregat halus (ASTM C 117-80)
4. Kandungan zat organis agregat halus (ASTM C 40-92)
5. Pengujian gradasi agregat halus (ASTM C 33-93)
6. Berat volume agregat halus (ASTM C 29)

3.5. Hasil pengujian *Properties Material*

Pengujian pada material bertujuan untuk mengetahui data fisik material yang akan digunakan untuk perhitungan *mix design*. Adapun pengujian material diantaranya kadar air, berat jenis, penyerapan, gradasi, berat volume, kadar lumpur, dan kandungan zat organis terhadap material penyusun beton. Adapun hasil pengujian material dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Material Penyusun Beton

Jenis pengujian	Material Yang Dipakai	Nilai Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar Air	Agregat Halus	0,59 %	0 – 1 %
	Agregat Kasar	2,09 %	0 – 3 %
Berat Jenis	Agregat Halus	2,5 %	2,0 – 2,9
	Agregat Kasar	2,62 %	2,5 – 2,9
Penyerapan	Agregat Halus	2,04 %	1 – 3 %
	Agregat Kasar	2 %	1 – 3 %
Modulus	Agregat Halus	2,728	2,3 – 3,1
Kehalusan	Agregat Kasar	7,3667	6 – 8
Berat Volume	Agregat Halus	1515 kg/m ³	-
	Agregat Kasar	1519,4 kg/m ³	-
Kadar Lumpur	Agregat Halus	2 %	< 5 %
Kandungan Zat Organik	Agregat Halus	Nomor warna 1	< Nomor warna 3

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5 di atas, maka dapat dikatakan bahwa material penyusun beton yang digunakan telah memenuhi standar ASTM sehingga dapat digunakan sebagai campuran beton.

3.6. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Pada perancangan campuran beton ini dilakukan dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 yang kemudian komposisinya disesuaikan dengan syarat yang sesuai dengan metode SNI. Pada hal ini dilakukan *trial mix* untuk beton yang menghasilkan nilai *slump* sebesar nilai standar 10 ± 2 cm. Dengan mengikuti prosedur pada metode tersebut maka akan diperoleh kebutuhan bahan-bahan susun beton untuk 1 m³. Seperti tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi Material Untuk K-350 Per 1 m³

Material	Beton
Semen	444,29 kg
Agregat Halus	560,90 kg
Agregat Kasar	1156,6 kg
Air	212,21 Liter

3.7. Pembuatan Sampel Benda Uji

Setelah melakukan perancangan campuran yang sesuai, maka selanjutnya adalah melakukan pembuatan sampel benda uji. Benda uji yang akan dibuat berupa kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm yang digunakan untuk uji kuat tekan. Terdiri dari 45 benda uji yang pengujiannya akan dilakukan pada umur beton 7, 14, 28, dan 56 hari. Data dari jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 7. Data Jumlah Benda Uji Dengan Sistem *Curing*

Kode Benda Uji	Jumlah Kuat Tekan Kubus				Jumlah
	Umur				
	7	14	28	56	
BCT	3	3	3	3	12
BCL	3	3	3	3	12
Total					24

Keterangan :

BCT = Beton *Curing* Air Tawar

BCL = Beton *Curing* Air Laut

Tabel 8. Data Jumlah Benda Uji Dengan Sistem *Treatment*

Kode Benda Uji	Jumlah Kuat Tekan Kubus		Jumlah
	Umur		
	28	56	
BUR	3	3	6
BAZ	3	-	3
BTZ	3	3	6
BSZ	3	3	6
Total			21

Keterangan :

- BUR = Beton (Berumur 28 Hari) Simpan Udara Ruang
 BAZ = Beton (Berumur 28 Hari) Terkena Udara Laut (Beton diletakkan di *Atmospheric Zone*)
 BTZ = Beton (Berumur 28 Hari) Terendam Pasang Surut (Beton diletakkan di *Tidal Zone*)
 BSZ = Beton (Berumur 28 Hari) Terendam Air Laut (Beton diletakkan di *Submerged Zone*)

3.8. Pengujian *Workability* Beton Segar

Pada saat beton dengan kondisi segar, maka benda uji beton diuji *workability* nya dengan menggunakan *slump test*. Menurut SK-SNI-M-12-1989-F, tahapan pelaksanaan pengujian nilai *slump test* sebagai berikut :

1. Kerucut abrams bagian dalam dan bagian luar dibersihkan dengan air.
2. Cetakan kerucut diletakkan di atas pelat baja.
3. Dengan memegang kaki kerucut kuat-kuat, adonan beton dimasukkan hingga $1/3$ tinggi kerucut kemudian dipadatkan dengan cara menumbuknya menggunakan tongkat besi ujung bulat sebanyak 25 kali.
4. Pengisian diselesaikan sampai dua lapis berikutnya dan dipadatkan dengan cara yang sama seperti sebelumnya sampai cetakan terisi penuh, selanjutnya pada bagian atas diratakan dengan sendok semen.
5. Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
6. Mengukur penurunannya dari tinggi mula-mula, besar penurunan ini disebut nilai *slump test*.

3.9. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Setelah benda uji dituang kedalam cetakan dan sudah didiamkan selama 24 jam, selanjutnya benda uji dibuka dan direndam di dalam bak air tawar dan air laut selama 7, 14, 28, dan 56 hari. Hal yang ini dilakukan untuk menjamin proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu betonnya dapat terjamin, serta dapat dilakukan pembanding

kuat tekan antara beton yang di rendam dengan air tawar dan air laut. Setelah benda uji diangkat dari bak yang berisi air, benda uji didiamkan selama 24 jam terlebih dahulu sebelum diuji kekuatannya.

3.10. Pengujian Benda Uji

3.10.1. Uji Kuat Tekan

Setelah beton selesai di *curing*, maka dilakukan pengetesan atau uji kuat tekan dengan benda uji berbentuk kubus. Benda uji kuat tekan beton dapat berupa kubus dan silinder. Pada pengujian kuat tekan pada penelitian menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) yang memiliki kapasitas 150 ton dengan kecepatan pembebanan sebesar 0,15 – 0,35 MPa/detik, yang sudah sesuai dengan SNI 1974:2011. Rumus kuat tekan beton adalah :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban tekan (KN)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.

3.10.2. Uji Karbonasi

Setelah dilakukan uji kuat tekan pada beton, beton akan dibagi menjadi dua bagian. Pada bagian dalam beton, nantinya akan disemprotkan cairan *Phenophthalein* (C₂₀H₁₄O₄) sebagai indikator. Hal ini dilakukan untuk memastikan apakah larutan *Phenophthalein* pada beton akan berubah warna menjadi ungu atau tidak mengalami perubahan warna.

Perlu diperhatikan bahwa penggunaan *Phenophthalein* sebagai indikator pada beton umumnya terkait dengan pengujian alkalinitas atau pH beton.

Phenophtalein, yang berubah warna menjadi ungu di lingkungan alkalis, digunakan untuk mendeteksi keberadaan alkalis bebas dalam beton. Jika *Phenophtalein* berubah warna menjadi ungu, ini menunjukkan adanya keberadaan alkalis yang dapat mempengaruhi beberapa sifat beton seperti korosi pada baja tulangan.

3.11. Analisis Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengujian, maka dapat dilakukan perhitungan dan analisis data sebagai berikut :

- Menghitung kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan umur beton 7, 14, 28, dan 56 hari dengan sistem *curing* dan beton umur 28 hari dengan sistem *treatment* disajikan dalam bentuk tabel.
- Membuat grafik perbandingan untuk membandingkan pengaruh beton yang di *curing* dengan air laut dan air tawar terhadap kuat tekan beton.
- Membuat grafik perbandingan untuk membandingkan pengaruh beton yang disimpan di udara ruang, terkena udara laut, terendam air laut, dan terendam pasang surut terhadap kuat tekan beton.
- Menyusun tabel hasil pengujian dan kedalaman karbonasi dari uji karbonasi pada beton yang disimpan di udara ruang, terkena udara laut, terendam air laut, dan terendam pasang surut.
- Melakukan analisis data yang meliputi interpretasi grafik dan tabel hasil pengujian dan menarik kesimpulan dari data yang diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai kuat tekan dan uji karbonasi beton, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Beton yang di rawat menggunakan air laut memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan dengan yang di rawat menggunakan air tawar. Kuat tekan beton *curing* dengan air laut mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton kecuali pada sampel beton *curing* air laut pada usia 56 hari mengalami penurunan yang signifikan.
2. Beton berusia 28 hari setelah di rawat menggunakan air tawar dan diberikan perlakuan di lingkungan laut kemudian di uji pada usia 28 hari dan 56 hari jika dibandingkan dengan sampel beton yang di letakan di udara ruang memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Kuat tekan yang paling rendah terjadi pada sampel beton yang diletakan di *Submerged zone* < *Tidal Zone* < *Atmospheric Zone*.
3. Nilai uji karbonasi pada sampel beton berusia 28 hari setelah di rawat menggunakan air tawar memiliki kedalaman yang berbeda, beda. Pada sampel BUR di usia 28 hari dan 56 hari setelah *curing* tidak mengalami karbonasi, pada sampel BAZ di usia 28 hari tidak mengalami karbonasi, pada sampel BTZ di usia 28 hari dan 56 hari setelah *curing* mengalami karbonasi sedalam 4,4 mm dan 6,4 mm, dan pada sampel BSZ di usia 28 hari dan 56 hari mengalami karbonasi sedalam 7,4 mm dan 11 mm.

5.2. Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini, maka perlu diadakan penelitian yang lebih lanjut untuk melengkapi dan mengembangkan tema penelitian ini.

Saran yang dapat penulis berikan adalah :

1. Sebaiknya dilakukan pembuatan sampel yang lebih banyak agar mendapatkan data yang lebih valid.
2. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut pada sampel yang diletakan di laut dengan gelombang yang besar.
3. Sebaiknya penelitian selanjutnya pada uji karbonasi menggunakan pedoman metode berdasarkan Permen PUPR Nomor 25/SE/M/2015.
4. Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh kedalaman karbonasi pada beton dengan waktu pengamatan lebih lama lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S. B. (2018). Investigasi Pengaruh Air Laut Sebagai Air Pencampuran Dan Perawatan Terhadap Sifat Beton. *Jurnal INTEK*. Vol. 5 (1), pp: 48 – 52. <http://dx.doi.org/10.31963/intek.v5i1.200>.
- Akinkulore, O. O., Jiang, C. & Shobola, O. M. (2007). The Influence of Salt Water on the Compressive Strength of Concrete. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 412-415, <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2007.412.415>
- Andika, R. & Safarizki, H. A. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah Dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (Modulus)*. Vol. 1 (1), pp: 1 – 6. <https://doi.org/10.32585/modulus.v1i1.374>
- Bary, B. (2004). *Coupled moisture–carbon dioxide–calcium transfer model for carbonation of concrete*, *Cement and Concrete Research* 34, pp 1859–1872. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.025>
- Bui, H., Delattre, F., & Levacher, D. (2023). Experimental Methods to Evaluate the Carbonation Degree in Concrete—State of the Art Review. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app13042533>
- Hamzah, A. F., Ibrahim, M. H. W., & Manan, E. A. (2020). Carbonation and strength of self-compacting concrete with coal bottom ash exposed to seawater by wetting-drying cycle. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 pp 6922-6927, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/476/1/012032/meta>
- Hidayat, R. R. (2011). Rancang Bangun Alat Pemisah Garam Dan Air Tawar Dengan Menggunakan Energi Matahari. Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hulimka, J., & Kaluza, M. (2020). Basic chemical tests of concrete during the assessment of structure suitability-discussion on selected industrial

structures. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1).
<https://doi.org/10.3390/app10010358>

- Hunggurami, E., Utomo, S., & Wadu, A. (2014). Pengaruh Masa Perawatan (*Curing*) Menggunakan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton. *Jurnal Teknik Sipil Nusa Cendana*, vol. 3, no. 2, pp. 103-110.
<https://www.neliti.com/id/publications/142719/>.
- Inam, I., Nasiry, M. K., Sediqmal, M., Wahdat, M. N., & Momand, I. (2021). A Study on the Carbonation Rate of Concrete Exposed in Different Climatic Conditions. *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*. 3(6), 128-136, <https://doi.org/10.34104/ajeit.021.01280136>
- Khirunnisa, S., Rifqi, M. G., & Amin, M. S. (2019). Kajian Kuat Tekan Beton di Lingkungan Laut Tropis Banyuwangi. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 21(2), 47-53. <https://doi.org/10.35313/potensi.v21i2.1583>
- Mansyur. (2013). “Perilaku Mekanik beton Yang Menggunakan Air Laut“. Tesis. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Mehta, P. K. (1980). *Performance of Concrete in Marine Environment*. ACI. Pub. SP.
- Mehta, P. K. (2003). *Concrete in the Marine Environment*, Oxfordshire: Taylor & Francis Books, Inc.
- Mikael Wora, Y. S. (2014). Pengaruh Waktu Perendaman Beton Dalam Air Laut Dapat Menurun Kualitas Beton. *Jurnal Teknik Universitas Flores*, 23-34.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*, CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- Neville, A.M. & Brooks, J.J. (1987). *Concrete Technology*. Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Limited.
- Nugraha, P. & Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Olutoge, F. A., & Amusan, G. M. (2014). The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete. *Journal of Engineering Science Invention*, 3(7), 2319-6734,
https://www.researchgate.net/publication/285356557_The_Effect_of_Sea_Water_on_Compressive_Strength_of_Concrete
- PBI 1971 N.I.-2. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Rimshin, V., & Truntov, P. (2019). Determination of carbonation degree of existing reinforced concrete structures and their restoration. *E3S Web of Conferences*, 135. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503015>

- Sidiq, F. A. & Walujodjati. E. (2021). Meninjau Kekuatan Beton Pada Lingkungan Air Laut Pameungpeuk Kabupaten Garut, *Jurnal Konstruksi*, vol. 19, no. 1, hlm. 43-51. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-1.892>
- SNI 03 – 2847. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Bton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974. (2011). *Metode Penguji Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7656. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, Dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7833. (2012). *Tata Cara Perancangan beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung*.
- Sulardi. (2017). Menentukan Kualitas Hasil Perbaikan Beton Bangunan Dermaga Dengan Metode Inspeksi Teknik. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 23-29.
- Tjokrodinuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Uthaman, S. (2018). Enhancement of strength and durability of fly ash concrete in seawater environments: Synergistic effect of nanoparticles. *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 187, 448–459 pp. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.214>.
- Wibowo, W. (2013). Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-175. [https://www.semanticscholar.org/paper/Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Wibowo](https://www.semanticscholar.org/paper/Pengaruh-Air-Laut-Terhadap-Kuat-Tekan-Beton-Mutu-Wibowo).
- Yulismawati, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2021). Durabilitas Beton Sekat Kanal Terpapar Air Gambut dan Air Laut. *Jurnal Teknik*, 15(2), pp. 137-147, <https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/7081>